УДК 539.4:624.078.41 **DOI 10.33042/2522-1809-2020-4-157-12-17**

С.Є. Шехоркіна, М.В. Савицький, Т.А. Ковтун-Горбачова

Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна

КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВУЗЛІВ СПОЛУЧЕННЯ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВ'ЯНОЇ БАЛКИ ТА КОЛОНИ

Стаття присвячена питанням розробки конструктивного рішення вузлів сполучення елементів балки та колони з клеєної деревини для багатоповерхових каркасних будівель, які відповідають вимогам забезпечення несучої здатності та експлуатаційної придатності. Запропоновано два варіанта вузлів, в яких з'єднання виконується за допомогою металевих елементів (пластин та кутників) та болтів. Приводяться основні положення інженерної методики розрахунку запропонованих рішень з використанням чинних норм проектування.

Ключові слова: *вузол сполучення, клеєна деревина, балка, колона, несуча здатність.*

Постановка проблеми

Однією з сучасних тенденцій в будівельній галузі є мінімізація її впливу на навколишнє середовище шляхом застосування ресурсоефективних матеріалів та елементів [1]. Окремо слід виділити розробку та реалізацію проектів будівель гібридної системи висотою до 20 поверхів, в яких основним конструкційним матеріалом виступає клеєна деревина, а просторова незмінність забезпечується за рахунок залізобетонних діафрагм або ядра жорсткості [2, 3].

Вузли з'єднання дерев'яних несучих елементів є критичними точками каркасу багатоповерхових будівель для забезпечення несучої здатності та експлуатаційної придатності всієї системи. У зв'язку з цим, до сполучень висуваються вимоги щодо міцності, передачі зусиль між конструкціями та незмінності їх взаєморозташування. З'єднання повинні задовольняти вимогам щодо технологічності при виконанні монтажних робіт.

Для можливості реалізації багатоповерхових будівель з дерев'яними конструкціями каркасу необхідна розробка відповідних конструктивних рішень, спрямованих на забезпечення вищенаведених критеріїв. Окрім цього, з переходом національної будівельної галузі на європейські норми, виникають проблеми щодо їх впровадження у практику проектування. Тому необхідна розробка рекомендацій та методик розрахунку на основі гармонізованої з європейською системою фізико-механічних характеристик деревини та положень чинних стандартів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розробці та удосконаленню з'єднань дерев'яних конструкцій, а також дослідженням особливостей їх роботи під навантаженням присвячена велика кількість публікацій як вітчизняних, так і закордонних авторів.

Результати експериментальних досліджень та методику розрахунку нагельних з'єднань дерев'яних конструкцій приводять автори [4]. Конструктивне рішення з'єднання балок під прямим кутом в одному рівні за допомогою сталевих пластин-підвісів та результати порівняльного аналізу теоретичної несучої здатності та деформативності відповідно до національних та європейських норм приводяться в роботі [5]. В статті [6] на основі існуючих експериментальних даних запропоновано практичні рекомендації по розрахунку карнизних вузлів гнутоклеєних рам з врахуванням складного напруженого стану клеєної деревини. Автори [7] наводять результати порівняльного аналізу методів розрахунку дерев'яних конструкцій, що працюють на згин і на повздовжній стиск, згідно вітчизняних норм і стандартів США. Питанням дослідження напружено-деформованого стану великопрольотних рам з клеєної деревини, а також багатоповерхових панельних будівель з поперечно-клеєної деревини присвячена робота [8].

З огляду на впровадження європейських норм проектування цікавим є досвід закордонних авторів. В статті [9] проведено аналіз форм руйнування болтового з'єднання на металевих пластинах дерев'яних елементів та приведені розрахункові залежності для оцінки несучої здатності на зсув. Теоретико-експериментальне дослідження аналогічних з'єднань виконано в роботі [10]. Автори відзначають ефективність таких з'єднань, підвищення несучої здатності порівняно з типовими, а також достовірність розрахункових залежностей в нормах проектування. Закономірності крихкого руйнування болтових з'єднань із застосуванням сталевих пластин екс-

 © Шехоркіна С.Є., Савицький М.В., Ковтун-Горбачова Т.А.

периментальним шляхом досліджуються в статті [11]. Авторами встановлені основні геометричні параметри зразків, які обумовлюють виникнення різних форм руйнування. В роботі [12] методом скінченних елементів досліджується характер напружено-деформованого стану болтового з'єднання дерев'яних елементів при роботі на згинальний момент. Запропонована методика створення розрахункової моделі та приведені рекомендації по призначенню характеристик матеріалу та критерії руйнування.

Як показав проведений аналіз, існуючі публікації спрямовані на теоретико-експериментальну оцінку напружено-деформованого стану з'єднань, тоді як інформації щодо конструкцій вузлів для багатоповерхових будівель та рекомендацій по їх проектуванню вкрай недостатньо.

Мета статті

Розробити конструктивні рішення вузлів сполучення дерев'яних клеєних колони та балки для застосування в багатоповерхових каркасних будівлях та інженерну методику їх розрахунку з використанням положень чинних норм проектування, гармонізованих з європейськими стандартами.

Виклад основного матеріалу

Підвищення несучої здатності сполучення дерев'яних конструкцій можливе за рахунок використання з'єднання з механічними металевими зв'язками (болтами) та врізаної в масив деревини балки металевої пластини. Застосування врізаних сталевих пластин є ефективним рішенням і виконується шляхом попереднього прорізання роз'єму в елементі із заведенням в нього пластини на монтажі. Болти встановлюються в заздалегідь висвердлені отвори в пластині та деревині. Таке рішення дозволяє підвищити вогнестійкість вузла, оскільки металеві елементи, які мають низький опір впливу високих температур, приховані в тілі конструктивних елементів.

Для сполучення клеєної дерев'яної балки та колони в багатоповерхових каркасних будівлях запропоновано два варіанта вузлів: шарнірний, який сприймає та передає на колону опорну реакцію балки, та жорсткий, який окрім опорної реакції сприймає згинальний момент. Загальний вигляд конструкції вузлів приведено на рис. 1.

Інженерна методика розрахунку розроблена шляхом дискретизації вузла на окремі компоненти.

В шарнірному вузлі опорна реакція від балки на колону передається через болтове з'єднання та Т-подібний зварний металевий елемент. Несуча здатність з'єднання даного типу визначається: міцністю болтів в колоні на зріз; міцністю металу Т-подібної пластини на зминання в отворі; несучою здатністю болтового з'єднання в дерев'яному елементі на площину зрізу. Умова міцності для шарнірного вузла запишеться наступним чином:

$$V_d \le \min(F_{bs}; F_{bp}; F_{v,Rd}), \qquad (1)$$

де V_d – розрахункова опорна реакція від балки; F_{bs} – несуча здатність болтів на зріз; F_{bp} – несуча здатність пластини на зминання в отворах; $F_{v,Rd}$ – несуча здатність болтового з'єднання в дерев'яному елементі.

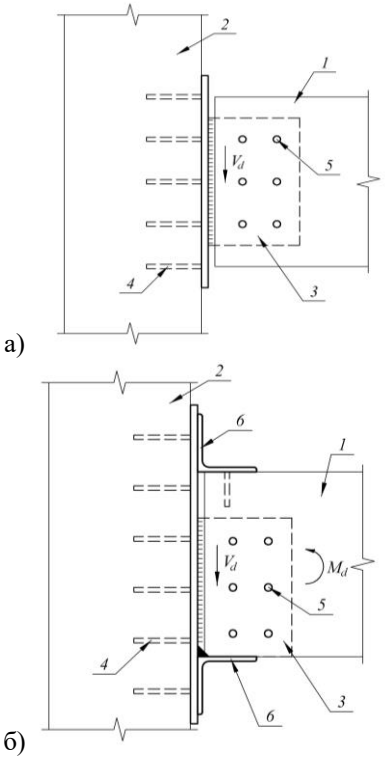

Рис. 1. Загальний вигляд конструкції вузлів сполучення клеєної дерев'яної балки та колони:
а) шарнірний; б) жорсткий; 1 – балка; 2 – колона; 3-Т-подібний зварний елемент; 4, 5 – болти; 6 - кутники

Жорсткий вузол з'єднання балки та колони, окрім опорної реакції, сприймає і передає на колону згинальний момент. В запропонованому конструктивному рішенні опорна реакція балки, передається на колону болтами через Т-подібний зварний елемент. Опорний момент сприймається двома кутниками, які закріплюються до балки та приварюються до вертикальної пластини. При визначенні несучої здатності жорсткого з'єднання окремо на дію опорної реакції за умовою (1) перевіряють кріплення вертикальної пластини Т-подібного елемента через болти до колони та балки, та на згинальний момент - кріплення кутників до балки та деревину в зоні болтового з'єднання за наступною формулою:

$$M_d \le \min(M_t; M_{sh}), \qquad (2)$$

де M_d – розрахунковий згинальний момент на опорі; M_t – згинальний момент, який може сприйняти болтове з'єднання в дерев'яному елементі; M_{sh} - згинальний момент, який може сприйняти деревина в зоні болтового з'єднання.

Основні розрахункові залежності для визначення несучої здатності елементів з'єднання можуть бути отримані з використанням положень чинних нормативних документів [13, 14].

Несуча здатність одного болта на зріз може бути визначена за формулою [14]:

$$N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c \gamma_n, \quad (3)$$

де R_{bs} – розрахунковий опір болта на зріз; A_b - площа поперечного перерізу стержня болта; n_s - кількість площин зрізу; γ_b, γ_c – коефіцієнти умов роботи; γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю.

Міцність пластини на зминання в отворі болта перевіряється за формулою [14]:

$$N_{bp} = R_{bp} d_b \sum t_{\min} \gamma_b \gamma_c \gamma_n, \quad (4)$$

де R_{bp} – розрахунковий опір зминанню; d_b – зовнішній діаметр стрижня болта; Σt_{min} – найменша сумарна товщина елементів з'єднання, що зминаються в одному напрямку; A_{bn} – площа поперечного перерізу болта «нетто».

Несуча здатність болтів на зріз та пластини на зминання в отворах становитиме:

$$F_{bs} = nN_{bs}, \quad (5)$$

$$F_{bp} = nN_{bp}, \quad (6)$$

де n – кількість болтів, що прикріпляють Т-подібний зварний елемент до колони.

Несуча здатність болтового з'єднання в дерев'яному елементі може бути визначена, виходячи з вимог до стале-дерев'яних з'єднань в залежності від можливої форми руйнування, які приведені на рис. 2, 3.

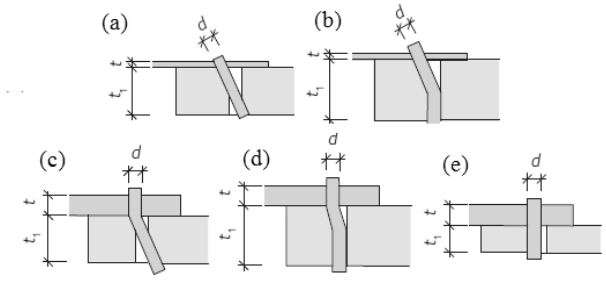

Рис. 2. Форми руйнування з'єднання сталевого кутника з балкою та пластини з колоною [15]

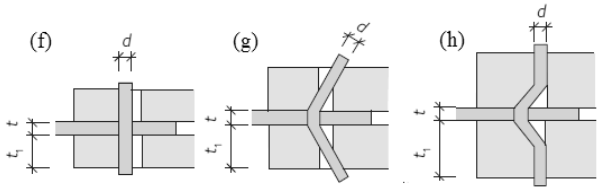

Рис. 3. Форми руйнування з'єднання врізаної сталевої пластини з балкою [15]

Несуча здатність для кожної форми руйнування визначається за формулами [13]:

$$F^{a}_{v,Rk} = 0.4 f_{h,k} t_1 d, \quad (7)$$

$$F^{b}_{v,Rk} = 1.15\sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, \quad (8)$$

$$F^{c}_{v,Rk} = F^{g}_{v,Rk} = f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} t_1^2 d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, \quad (9)$$

$$F^{d}_{v,Rk} = F^{h}_{v,Rk} = 2.3\sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, \quad (10)$$

$$F^{e}_{v,Rk} = F^{f}_{v,Rk} = f_{h,k} t_1 d, \quad (11)$$

$f_{h,k}$ – міцність деревини на вдавлювання:

$$f_{h,k} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k; \quad (12)$$

d – діаметр болта; ρ_k – характеристична густина деревини; $M_{y,Rk}$ – пластичний момент болта:

$$M_{y,Rk} = 0.3 f_{u,k} d^{2.6}, \quad (13)$$

$f_{u,k}$ – характеристична міцність металу болта на розтяг; $F_{ax,Rk}$ – характеристична несуча здатність болта на висмикування [16]:

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} R_{bt} A_{bn} \\ 3 f_{c,90,k} \dfrac{\pi}{4} (d_w - (d+1)) \end{cases}, \quad (14)$$

R_{bt} –розрахунковий опір болта на розтяг; $f_{c,90,k}$ – характеристична міцність деревини на стиск перпендикулярно волокнам; d_w – діаметр ділянки пластини, що впливає на опір висмикуванню болта:

$$d_w = \min \begin{cases} 12t \\ 4d \end{cases}, \quad (15)$$

t – товщина пластини.

Несуча здатність декількох болтів в одному ряду визначається наступним чином:

$$F_{v,Rk}^{i,ef} = n_{ef} F_{\mathrm{v,Rk}}^{i}, \qquad (16)$$

де $F_{\mathrm{v,Rk}}^{i}$ - несуча одного болта на одну площину зсуву (відповідно, $F_{\mathrm{v,Rk}}^{angle}$ - для з'єднання сталевого кутника з балкою; $F_{\mathrm{v,Rk}}^{plate}$ - з'єднання врізаної сталевої пластини з балкою), що визначається як мінімальне зі значень, отриманих для кожної форми руйнування:

$$F_{v,Rk}^{angle} = \min\left(F_{v,Rk}^{a}; F_{v,Rk}^{b}; F_{v,Rk}^{c}; F_{v,Rk}^{d}; F_{v,Rk}^{e}\right), \qquad (17)$$

$$F_{v,Rk}^{plate} = \min\left(F_{v,Rk}^{f}; F_{v,Rk}^{g}; F_{v,Rk}^{h}\right), \qquad (18)$$

n_{ef} – ефективна кількість болтів, яка приймається рівною

$$n_{ef} = \min\left(n; n^{0.9}\sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}}\right), \qquad (19)$$

де a_1 – крок розташування болтів; n – кількість болтів в ряду.

Розрахункова несуча здатність болтового з'єднання в деревині становить:

$$F_{v,Rd}^{i} = \frac{k_{\mathrm{mod}}}{\gamma_M} F_{v,Rk}^{i,ef}, \qquad (20)$$

де k_{mod} – коефіцієнт модифікації, що враховує тривалість навантаження та тип деревини; γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом.

З урахуванням вищенаведеного, згинальний момент, який може сприйняти болтове з'єднання в дерев'яному елементі:

$$M_t = h_b F_{v,Rd}^{angle}, \qquad (21)$$

де h_b – висота балки.

При закріпленні кутника до балки в зоні болтового з'єднання необхідно перевіряти міцність деревини на зсув волокон (рис. 3) [16].

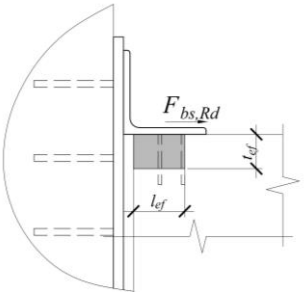

Рис. 3. Схема до перевірки міцності деревини болтового з'єднання на зсув

Несуча здатність визначатиметься за формулою:

$$F_{bs,Rk} = 2nl_{ef} t_{ef} f_{v,k}, \qquad (22)$$

де l_{ef} – відстань від торця дерев'яної балки до крайнього болта в кутнику; t_{ef} – ефективна глибина площини зсуву, що залежить від типу руйнування:

$$t_{ef} = \begin{cases} 0.4t_1 & \text{тип "a"} \\ 1.4\sqrt{\dfrac{M_{y,Rk}}{f_{h,0,k}d}} & \text{тип "b"} \\ 2\sqrt{\dfrac{M_{y,Rk}}{f_{h,0,k}d}} & \text{тип "e" або "h"} \\ t_1\left(\sqrt{2+\dfrac{M_{y,Rk}}{f_{h,0,k}dt_1^2}}-1\right) & \text{тип "d" або "g"} \end{cases}, \qquad (23)$$

$f_{v,k}$ – характеристична міцність деревини на сколювання.

Розрахункова несуча здатність деревини на зсув становить:

$$F_{bs,Rd} = \frac{k_{\mathrm{mod}}}{\gamma_M} F_{bs,Rk}. \qquad (24)$$

Тоді згинальний момент, який може сприйняти деревина в зоні болтового з'єднання:

$$M_{sh} = h_b F_{bs,Rd}. \qquad (25)$$

Висновки

Запропоновано конструктивні рішення та визначені критерії забезпечення несучої здатності вузлів сполучення дерев'яних клеєних колони та балки для застосування у багатоповерхових каркасних будівлях.

Шляхом дискретизації вузла на окремі компоненти запропонована інженерна методика розрахунку. Розрахунок шарнірного з'єднання виконується на дію опорної реакції від балки. Несуча здатність визначається як найменше зі значень міцності болтів в колоні на зріз, міцності металу Т-подібної пластини на зминання в отворі або несучої здатності болтового з'єднання в дерев'яному елементі. Перевірка несучої здатності жорсткого типу сполучення, окрім перевірок на опорну реакцію, передбачає визначення міцності кріплення кутників до балки та деревини на зсув в зоні болтового з'єднання.

Приведені критерії міцності та залежності для визначення розрахункових характеристик компонентів з'єднання основані на вимогах і положеннях чинних стандартів та дозволяють виконувати проек-

тування запропонованих вузлів сполучення балки та колони з клеєної деревини.

Перспективи подальших досліджень

Подальшими дослідженнями передбачено проведення випробувань зразків запропонованих конструктивних рішень для визначення фактичної міцності та деформативності. Цікавим є питання розробки тривимірної моделі для параметричного аналізу із застосуванням обчислювальних комплексів з метою оптимізації конструкції.

Література

1. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final (дата звернення: 14.07.2020). – Назва з екрана.

2. Malo, K.A. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building "Treet" in Norwa [Електронний ресурс] / K.A. Malo, R.B. Abrahamsen, M.A. Bjertnæs // European Journal of Wood and Wood Products. - 2016. - Vol. 74. - pp. 407–424. Режим доступу:: https://doi.org/10.1007/s00107-016-1022-5 (дата звернення: 14.07.2020).

3. Tannert, T. Structural Design, Approval, and Monitoring of a UBC Tall Wood Building [Електронний ресурс] / T. Tannert, M. Moudgil // Structures Congress 2017. - 2017. - pp. 541 – 547. Режим доступу: https://doi.org/10.1061/9780784480410.045 (дата звернення: 14.07.2020).

4. Гомон, С. С. Робота та розрахунок сталевих нагельних з'єднань дерев'яних конструкцій за повторних навантажень [Електронний ресурс] : монографія. / С. С. Гомон, В. І. Алексієвець. - Рівне, 2013. 111 с. Режим доступу: http://ep3.nuwm.edu.ua/1725/1/732819%20zah.pdf (дата звернення: 14.07.2020).

5. Була, С. Деформативність вузлів дерев'яних конструкцій на з'єднаннях типу "сталь-деревина". [Електронний ресурс] / С. Була // Вісник національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. – Львів : Видавництво Львівської політехніки. – 2017. – № 877. – С. 18–24. – Режим доступу : http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/44217 (дата звернення: 14.07.2020).

6. Михайловський, Д. В. Практичні рекомендації по розрахунку карнизних вузлів гнуто клеєних рам з клеєної деревини з врахуванням складного напруженого стану [Електронний ресурс] / Д. В. Михайловський, Д. М. Матющенко // Scientific Journal «ScienceRise». – 2018. – №12 (53). – с. 44 – 53. – Режим доступу : https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.153370 (дата звернення: 14.07.2020)ю

7. Кліменко, В. З. Порівняльний аналіз розрахунків дерев'яних конструкцій за вітчизняними нормами та стандартами США [Текст] : монографія / В. З. Кліменко, Д. В. Михайловський ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. − К. : Сталь, 2007. − 78 с.

8. Михайловський, Д. В. Врахування дійсного напружено-деформованого стану у вузлах та елементах конструкцій з клеєної деревини [Текст] : дис. ... доктора техн. наук / Д. В. Михайловський. − К., 2020. – 378 с.

9. Sawata, K., (2006). Estimation of shear strength of dowel-type timber connections with multiple slotted-in steel plates by European yield theory [Електронний ресурс] / K. Sawata, T. Sasaki, S. Kanetaka. // Journal of Wood Science. – 2006. – Vol. 52(6). – pp. 496–502. Режим доступу: doi:10.1007/s10086-006-0800-9 (дата звернення: 14.07.2020).

10. Fan, X. H. (2011). Load-Carrying Behaviour of Dowel-Type Timber Connections with Multiple Slotted-in Steel Plates [Електронний ресурс] / X. H. Fan, S. D. Zhang, W. J. Qu, // Applied Mechanics and Materials. – 2011. - Vol. 94-96. - pp. 43–47. Режим доступу : doi:10.4028/www.scientific.net/amm.94-96.43 (дата звернення: 14.07.2020).

11. Yurrita, M., Cabrero, J. M., & Quenneville, P.. Brittle failure in the parallel-to-grain direction of multiple shear softwood timber connections with slotted-in steel plates and dowel-type fasteners [Електронний ресурс] / M. Yurrita, J. M. Cabrero, P. Quenneville // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 216. – pp., 296–313. Режим доступу : doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.04.100 (дата звернення: 14.07.2020).

12. Guo, J. Theoretical Evaluation of Moment Resistance for Bolted Timber Connections [Електронний ресурс] / J. Guo, Z. Shu // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 303. - № 03003. Режим доступу : doi:10.1051/matecconf/201930303003 (дата звернення: 14.07.2020).

13. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення [Текст] . – Чинний від 2018-01-02. - Київ : Мінрегіон України, 2017. - 111 с.

14. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [Текст] . – Чинний від 01.01.2015. – Київ : Мнрегіонбуд України, 2014. – 205 с.

15. Porteous, J. Structural timber design to Eurocode [Текст] / J. Porteous, A. Kermani. - Blackwell Publishing ltd, 2007. –542 p.

16. ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010. Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1995-1-1:2004, IDT) [Текст] . – Чинний від 01.07.2013. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 147 с.

References

1. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy COM/2015/0614 final. (2016, June 16). Retrieved from https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final.

2. Malo, K. A., Abrahamsen, R. B., Bjertnæs, M. A. (2016). Some structural design issues of the 14-storey timber framed building "Treet" in Norway. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), 407-424. https://doi.org/10.1007/s00107-016-1022-5

3. Tannert T., Moudgil M. Structural Design, Approval, and Monitoring of a UBC Tall Wood Building. *Structures Congress 2017.* 2017. pp. 541 – 547. https://doi.org/10.1061/9780784480410.045

4. Homon, S. S., Aleksiievets, V.I. (2013) *Operation and calculation of steel nail joints of wooden structures under repeated loads.* Rivne : NUVHP. Retrieved from: http://ep3.nuwm.edu.ua/1725/1/732819%20zah.pdf.

5. Bula, S. (2017) Deflection of joints in steel-to-timber connections. *Visnyk natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Serie: Teoriia i praktyka budivnytstva*, 877, 18–24. Retrieved from: http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/44217.

6. Mykhailovskyi, D. V., Matiushchenko, D. M. (2018) Practical recommendations for the calculation of cornice units bent glued frames of glued wood, taking into account the complex stress state. *Scientific Journal «ScienceRise»*, 12 (53), 44 – 53. DOI: https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.153370
7. Klimenko, V. Z., Mykhailovskyi, D. V. (2007) *Comparative analysis of calculations of wooden structures according to domestic norms and US standards*. Kyiv : Stal.
8. Mykhailovskyi, D. V. (2020) *Considering the actual stress-strain state in knots and structural elements of glued laminated timber*. Doctor's thesis. Kyiv*:* Kyiv National University of Construction and Architecture.
9. Sawata, K., Sasaki, T., Kanetaka, S. (2006). Estimation of shear strength of dowel-type timber connections with multiple slotted-in steel plates by European yield theory. *Journal of Wood Science,* 52(6), 496–502. https://doi.org/10.1007/s10086-006-0800-9
10. Fan, X. H., Zhang, S. D., Qu, W. J. (2011). Load-Carrying Behaviour of Dowel-Type Timber Connections with Multiple Slotted-in Steel Plates. *Applied Mechanics and Materials*, 94–96, 43–47. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.94-96.43
11. Yurrita, M., Cabrero, J. M., Quenneville, P. (2019). Brittle failure in the parallel-to-grain direction of multiple shear softwood timber connections with slotted-in steel plates and dowel-type fasteners. *Construction and Building Materials*, 216, 296–313. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.100.
12. Guo, J., Shu, Z. (2019). Theoretical Evaluation of Moment Resistance for Bolted Timber Connections. *MATEC Web of Conferences*, 303, 03003. doi:10.1051/matecconf/201930303003
13. *Timber Structures. General Requirements*. (2018) DBN V.2.6-161:2017 from 01th February 2018. Kyiv : Minrehion Ukrainy.
14. *Steel Structures. Design Code*. (2014) DBN V.2.6-198:2014. from 01th January 2015. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy.
15. Porteous J., Kermani A. (2007) *Structural timber design to Eurocode,* Blackwell Publishing ltd.
16. *Eurocode 5: Design of timber structures -Part 1-1: General - Common rules and rules for buildinds (EN 1995-1-1:2004, IDT)* (2013) DSTU-N B EN 1995-1-1:2010 from 01th July 2013. Kyiv : Ministry of Regional Development, Construction and Housing of Ukraine.

Рецензент: д-р техн.. наук, проф. Т.Д. Нікіфорова, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна

Автор: ШЕХОРКІНА Світлана Євгеніївна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій
Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
E-mail - S_VT@ukr.net
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7799-2250

Автор: САВИЦЬКИЙ Микола Васильович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій
Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
E-mail - ms@pgasa.dp.ua
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4515-2457

Автор: КОВТУН-ГОРБАЧОВА Тетяна Анатоліївна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій
Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
E-mail - gorbacheva@mail.pgasa.dp.ua
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0948-1299

STRUCTURAL SOLUTION AND METHOD OF CALCULATION OF GLUED LAMINATED TIMBER BEAM AND COLUMN JOINTS

S. Shekhorkina, M. Savytskyi, T. Kovtun-Gorbachova
State Higher Educational Institution «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», Dnipro, Ukraine

The current trend in the construction industry is the development of projects of multi-storey buildings with a hybrid structural system using mainly timber load-bearing elements. The joints of load-bearing elements are critical points of the frame with glued timber structures in terms of ensuring the load-bearing capacity and serviceability of the entire system. Existing publications in this area are mainly aimed at theoretical and experimental assessment of the stress-strain state of joints, while information on the construction of components for multi-storey buildings and recommendations for their design is extremely insufficient. The article presents structural solutions of the joints of glued laminated timber columns and beams, namely, hinged, which takes and transmits to the column the support reaction of the beam, and rigid, which in addition to the support reaction takes the bending moment. The support reaction from the beam to the column is transferred through a bolted connection and a T-shaped welded metal element. The bending moment is taken by two angles, which are fixed to the beam and welded to a vertical plate. Criteria of conformity of the proposed joints to load-bearing capacity requirements are proposed. The load-bearing capacity of the joint under the action of the support shear force is determined by the shear strength of the bolts in the column; the embedment strength of the metal of the T-shaped plate in the hole and bearing capacity of the bolted connection in the timber element. The action of the support bending moment requires the strength of the angles fastening to the beam and wood in the area of the bolts installation. A detailed algorithm for calculating the proposed design solutions in accordance with the requirements of the design standards has been developed.

Keywords: *joint, glued laminated timber, beam, column, bearing capacity.*