

ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ВУЗЛІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА З'ЄДНАННЯХ ТИПУ “СТАЛЬ-ДЕРЕВИНА”

© Була С. С., 2017

Проектування будинків і споруд із деревини в теперішній час набуло значних масштабів. Це пов'язано із поширенням еко-технологій, ефективних енергозберігальних будинків, швидкості та модульності будівництва, бюджетних рішень та надання значної уваги питанням утилізації будівель після закінчення строку експлуатації. З'єднання дерев'яних конструкцій є не менш важливим елементом, що впливає на технологічність зведення таких конструкцій. Простота та надійність з'єднань є одним із важливих факторів. Одним із найпоширеніших видів з'єднань у вузлах дерев'яних конструкцій є перфоровані оцинковані сталеві пластини для кріплення за допомогою цвяхів. Як правило, виробники вказують характеристичні та розрахункові навантаження у технічних каталогах, проте питання деформативності з'єднань типу “сталь-деревина” вимагає детального вивчення. У статті описано дослідження деформативності з'єднання типу “сталь-деревина” та проведено порівняльний аналіз відповідно до національних та європейських норм. Для досліджуваних з'єднань були отримані залежності “навантаження-миттєва деформація”, що дають задовільну збіжність із експериментальними даними.

Ключові слова: дерев'яні конструкції, з'єднання “сталь-деревина”, цвяхи, поперечне навантаження, миттєва деформація, пластини-підвіси

S. Bula

Lviv Polytechnic National University,
Department of building construction and bridges

DEFLECTION OF JOINTS IN STEEL-TO-TIMBER CONNECTIONS

© Bula S., 2017

Nowadays design of timber buildings and constructions growth up. It is connected with the dissemination of eco-technologies, efficient energy-saving buildings, rapid constructing, inexpensive solutions and addicting to smart utilization after the expiration of exploitation period. Timber connections are the very important factor, that influence on technological aspects while construction. Just simplicity and reliability of timber joints makes this choice reasonable and justified. One of the most shared timber joints is “steel-to-timber” connections using metal dowel fasteners (e.g nails). As a rule, manufacturers of steel plates indicate design and characteristic loads in their product catalog, but the lateral stiffness of these connections at serviceability and ultimate limit states needs to be discussed. The article describes research of slip in “steel-to-timber” connection and gives comparative analysis due to domestic and European standards. The “load-slip” dependences with satisfied correlation for investigated connections were obtained. It is shown that experimental instantaneous slip in our case is lower than theoretical values and has sufficient reserve comparing with theoretical data. Additional investigations are going to be provided to develop this research.

Key words: timber structures, “steel-to-timber” connections, nails, lateral load, instantaneous slip, joist hangers.

Вступ. З'єднання елементів дерев'яних конструкцій за допомогою сталевих пластин (“*steel-to-timber*” joints) на цвяхах є дуже популярним і широко розповсюдженим у будівельній практиці. Хоча, технічний прогрес сприяє розвитку нових методів з'єднання, заснованих на адгезійних властивостях сучасних клеючих матеріалів, спосіб з'єднання за допомогою з'єднувальних пластин (кронштейнів, кутників, з'єднувачів, пластин тощо) залишається актуальним. Це пов'язано із простотою монтажу, широким вибором матеріалів, бюджетністю та надійністю. Відповідно, питання роботи таких з'єднань та їх розрахунку за граничними станами є дуже актуальним.

Огляд наукових джерел і публікацій. Як правило, у каталогах виробників з'єднувальних пластин (ТМ Тесо Building Products [1], Simpson Strong-Tie [2], Koelner [3]) вказуються характеристичні та розрахункові значення навантажень на з'єднання. Проте, бувають випадки, коли виробники не надають таких даних або необхідно запроєктувати з'єднання з іншим типом нагелів (наприклад, шурупи замість цвяхів), постає необхідність самостійно запроєктувати такий вид з'єднання.

Розвиваючи попередні (1950-ті роки), розрахункові підходи щодо проектування нагельних з'єднань, у 80-х роках минулого століття у цьому напрямку дослідження проводили Дмитрієв П. А. [4], Максименко Л. А. [5], Слицкоухов Ю. В. [6], Сипаренко В.Г і Шапошников В. Н. [7] та ін. Сучасні українські науковці теж присвячують значну увагу розрахунку з'єднань дерев'яних конструкцій: Демчина Б. Г. [8], Гомон С. С. [9], Фурсов В. В. [10] та інші. Серед іноземних науковців до розвитку теорії роботи нагельних з'єднань долучилися К. Йохансен (K. Johansen) [11], Т. Маклейн (T. McLain) [12], Б.Хілсон (B. Nilson) [13], Г. Ларсен (H. Larsen) [14] та ін. Результати досліджень, що були проведені цими та іншими науковцями були покладені в основу нормативних документів з проектування дерев'яних конструкцій, що були чинними в Україні у різний період, а саме: СНиП II-25-80 [15] (1991 р. – 2011 р.), ДБН В.2.6-2010 [16] (з 2011 р. – дотепер), ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010 [17] (діє паралельно з ДБН із 2013 р. – дотепер).

Сьогодні основними національними нормативними документами з проектування дерев'яних конструкцій та їх вузлів є ДБН В.2.6-161:2010 (надалі ДБН) та ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010. Ці документи гармонізовані із відповідним Eurocode 5 [18] та містять основні положення розрахунку. Проте, в ході практичних інженерних розрахунків виникають труднощі, пов'язані із визначенням допустимої деформації таких з'єднань. Річ у тім, що відповідно до філософії розрахунку, викладеної у Eurocode 5, гранично допустима деформація з'єднання не лімітується. При цьому розуміється, що проєктант самостійно визначає, які переміщення для цього типу з'єднання будуть граничними з точки зору експлуатаційної придатності (*serviceability limit state*). Окрім цього, обчислені деформації з'єднання повинні враховуватися при визначенні повного та миттєвого переміщення (деформації) всієї конструкції. Слід зауважити, що у попередніх нормах проектування СНиП II-25-80 обмеження щодо деформативності нагельних з'єднань були регламентованими і складали 2 мм.

Враховуючи це, було вирішено виконати аналіз деформативності вузлів дерев'яних конструкцій на з'єднаннях нагельного типу “сталь-деревина” шляхом проведення експерименту та порівняти отримані результати з розрахунковими величинами відповідно до нормативних документів.

Мета та завдання дослідження полягає у аналізі деформативності з'єднань вузлів дерев'яних конструкцій типу “сталь-деревина” та порівнянні експериментальних даних із розрахунковими. Дослідження проводилися на досить поширених у дерев'яних конструкціях вузлах – з'єднання балок під прямим кутом в одному рівні (рис. 1) за допомогою сталевих пластин-підвісів на цвяхах (joist hangers).

Експериментальні дослідження. Для дослідження роботи такого з'єднання було виготовлено 2 серії зразків (кожна по 6 з'єднань-близнюків), що імітували приєднання другорядної балки до головної під прямим кутом в одному рівні (рис. 2). Випробування зразків проводили при вологості деревини сосни $W \sim 20\%$. При проведенні експериментальних досліджень фіксувалася

величина деформативності з'єднання при поступовому збільшенні навантаження до руйнівного. Приєднання головної балки до другорядної було виконане за допомогою 4 цвяхів (серія № 1) та 6 цвяхів (серія № 2) довжиною 80 мм, діаметром 3 мм. Характеристична густина деревини складала 355 кг/м^3 . Клас деревини С24.

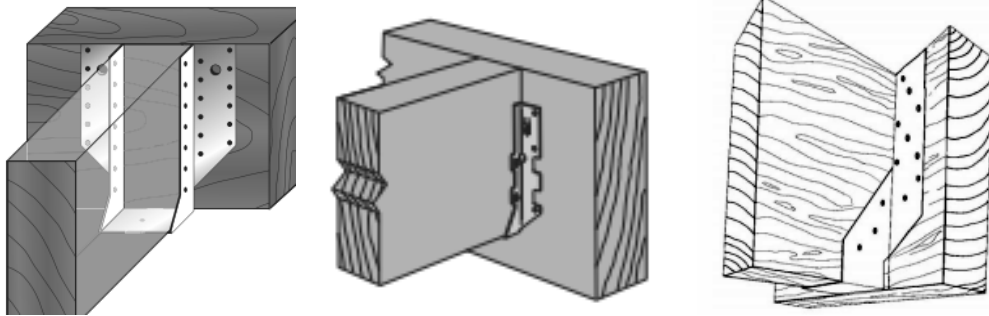


Рис. 1. Загальний вигляд сталевих пластин-підвісів провідних світових брендів [1, 2, 3]

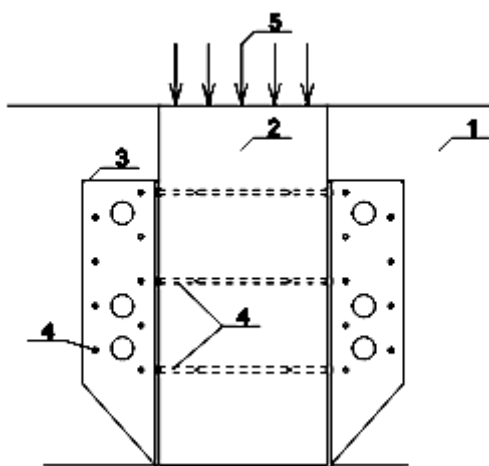


Рис. 2. Загальна схема випробувань: 1 – головна балка, 2 – другорядна балка, 3 – пластина-підвіс, 4 – нагелі, 5 – місце прикладення навантаження

Навантаження зразків виконувалося за допомогою гідравлічного домкрата з витримкою навантаження на кожному ступені. На кожному ступені навантаження величиною в 1кН фіксувалося переміщення другорядної балки відповідно до головної за допомогою індикатора годинникового типу ИЧ-10 з ціною поділки 0.01 мм (рис. 3). Завантаження проводилось доти, доки деформації зсуву з'єднання досягали критичного стану і з'єднання руйнувалось. Для упору вимірювальних приладів використовувались накладні пристосування – накладки, які пригвинчувались до деревини.

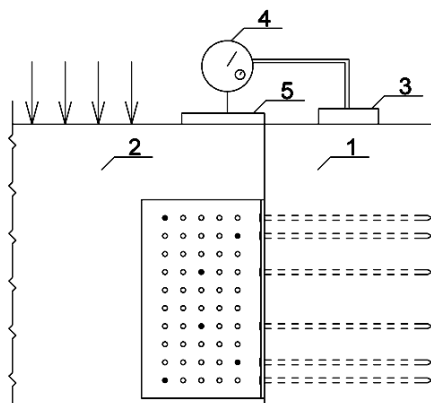


Рис. 3. Схема розміщення приладів: 1 – головна балка, 2 – другорядна балка, 3, 5 – гладка накладка, 4 – індикатор годинникового типу ИЧ-10

У результаті проведених досліджень було отримано графіки залежності переміщень (рис. 4) досліджуваного з'єднання залежно від поперечного навантаження. Зовнішній вигляд з'єднання під час експерименту подано на рис. 5.

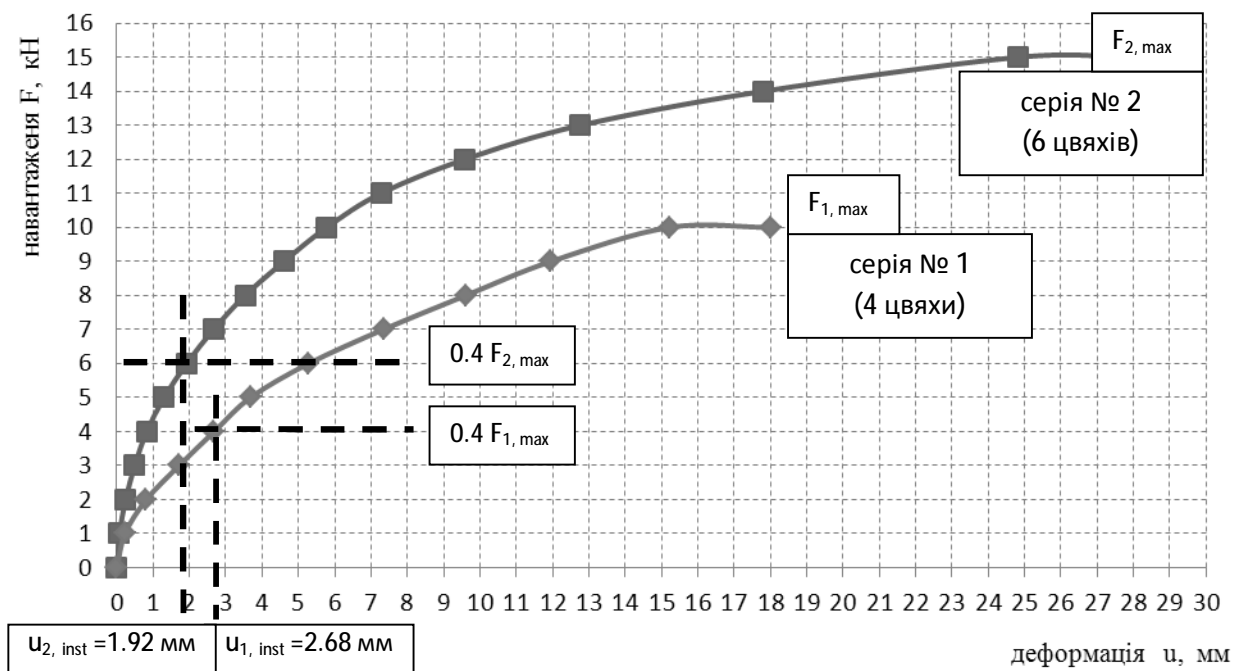


Рис. 4. Графік залежності деформацій від навантаження на досліджувані з'єднання

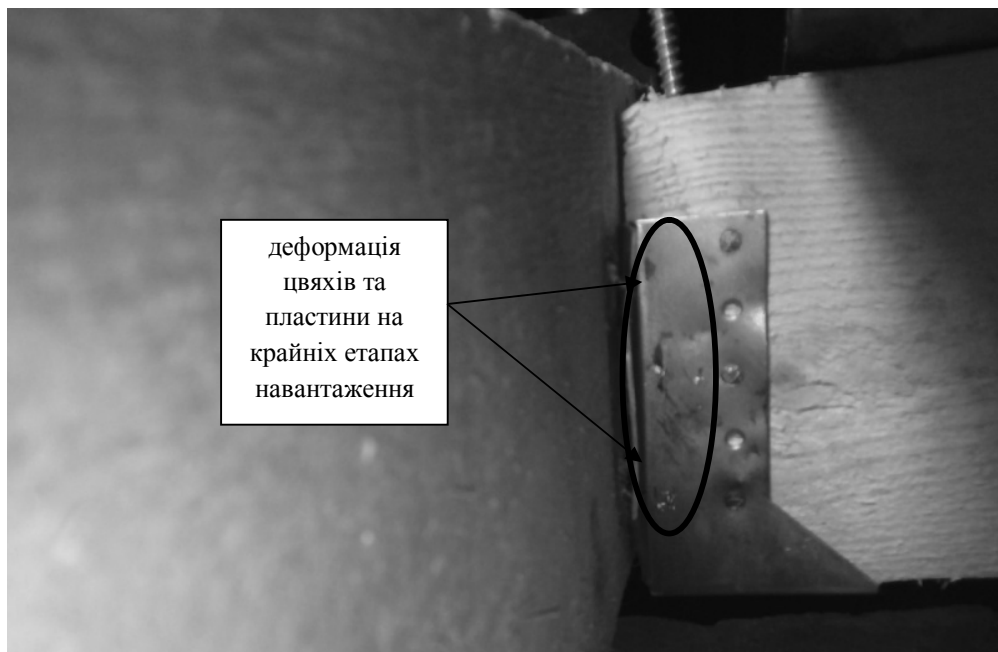


Рис. 5. Деформації з'єднання в процесі навантаження

Отримані експериментальні дані були зіставлені із основними положеннями теорії нагельних з'єднань типу “сталь-деревина” на цвяхах, що наведена у праці Д. Портоуса та А. Кермані (J. Portous, A. Kermani) [19] і є по суті деталізацією методик, наведених у Eurocode 5. Відповідно до них типова залежність “навантаження-деформації” у з'єднанні на цвяхах виглядає, як показано на рис. 6. Для визначення деформацій u використовують коефіцієнти K_{ser} та K_u для розрахунків за другою (SLS) та першою (ULS) групою станів відповідно. Процедура визначення коефіцієнта K_{ser} визначена у п. 12.1 ДБН та п. 7.1 ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010. Хоча жодної процедури щодо

подальшого його застосування у Eurocode 5 та ДБН не наведено, із графіка на рис. 6, а видно, що для визначення миттєвої деформації u_{inst} необхідно значення навантаження, що діє на з'єднання поділити на коефіцієнт K_{ser} . Очевидно, це виходить із допущення апроксимації криволінійної залежності прямолінійною до рівня $0,4F_{max}$, де F_{max} – максимальне зусилля, що витримує з'єднання.

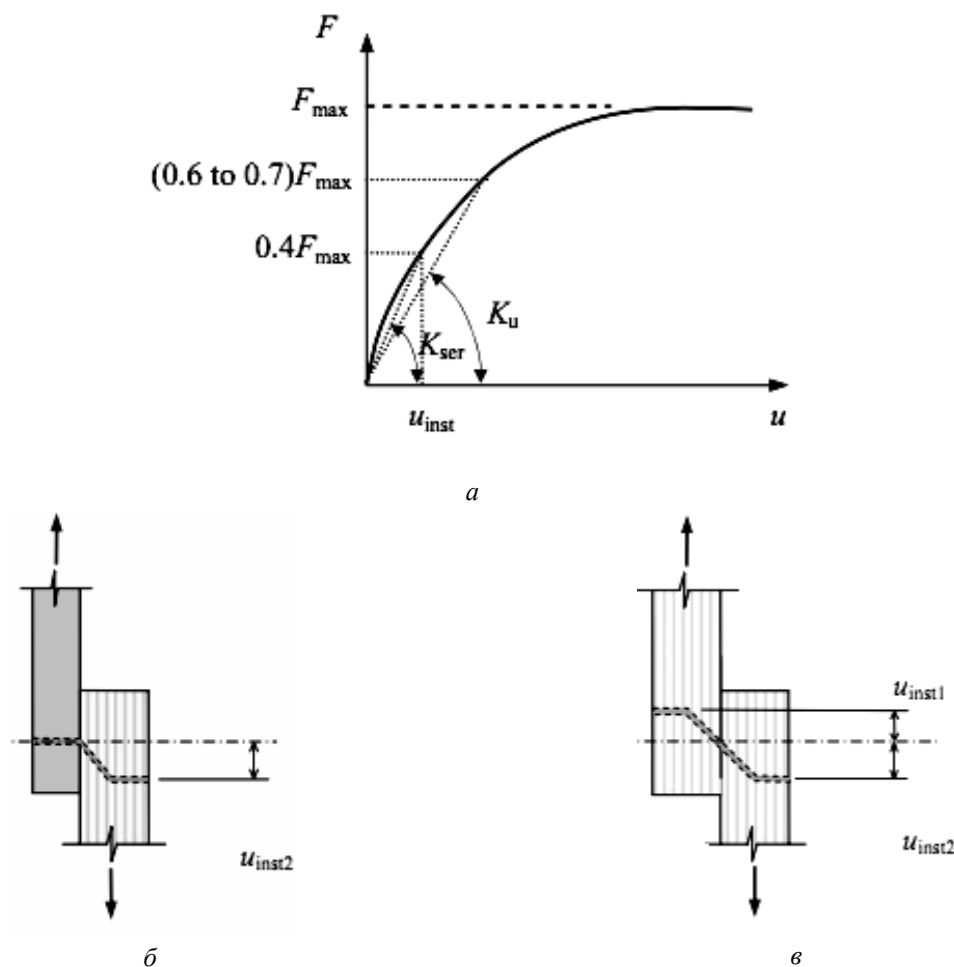


Рис. 6. Залежність “навантаження-деформації” (а), миттєва деформація у з’єднанні “сталь-деревина” (б) та у з’єднанні “деревина-деревина” (в) відповідно до [19]

Величини K_{ser} , що представлені (табл. 12.1 ДБН) для з’єднань типу “деревина-деревина” і “панель-деревина”, залежать від діаметра цвяха та густини деревини. Для з’єднань типу “сталь-деревина” вказано, що K_{ser} “...може бути збільшений у два рази” (п. 12.1.3 ДБН), очевидно виходячи з цього, що деформації нагеля в сталі (рис. 6б) відсутні, порівняно із деформацією в деревині (рис. 6, в). Такий підхід є дещо спрощеним, оскільки не враховує таких факторів як точність отвору та діаметру нагеля, поворот нагеля у сталевій пластині та пластичні деформації сталевій пластині, що дійсно мають місце при роботі нагелів у з’єднанні (див. рис. 5). Незважаючи на це, він дозволяє отримувати результати з достатньою для інженерних розрахунків точністю, хоча і призводить до певної переоцінки жорсткості з’єднання. Подібна методика (замість K_{ser} використовувався дотичний модуль податливості з’єднання E) була запропонована та апробована із задовільною збіжністю у дослідженнях сталевих нагельних з’єднань дерев’яних конструкцій за повторних навантажень (С. Гомон і В. Алексієвець [9]).

Відповідно до наведених вище методик, викладених у [18] та [19], було визначено теоретичні значення характеристичного значення несучої здатності з’єднання та миттєвої деформації у з’єднанні та проведено порівняння з експериментальними даними.

Як видно з таблиці, деформативність з’єднань u_{inst} , що були обчислені за методикою [19], за дії навантажень, величина яких відповідає другій групі граничних станів, дають значний запас

порівняно із експериментальними величинами. Це пов'язано із дещо спрощеним (однак, як видно з результатів, достатньо надійним) підходом до визначення K_{ser} для нагельних з'єднань типу “сталь-деревина”, що очевидно має бути об'єктом майбутніх досліджень.

Порівняння експериментальних та теоретичних значень

№ серії	$F_{v,Rk}^{exp}$ (експеримент), кН	$F_{v,Rk}^{teor}$, кН (ДБН-Eurocode5)	$\Delta, \%$	u_{inst}^{exp} , мм (експеримент), кН	u_{inst}^{teor} , мм (J. Portous, A. Kermani)	$\Delta, \%$
1	4,0	3,87	3,3	1,92	2,52	+31,2
2	6,0	5,8	3,4	2,68	3,78	+41,0

Висновки. Проведені дослідження підтвердили прийнятність методики розрахунку, описаної у [18], [19] та підходів до визначення деформації досліджуваних з'єднань з використанням коефіцієнта K_{ser} . Методика визначення коефіцієнта K_{ser} для з'єднань типу “деревина-сталь”, зважаючи на значний запас, потребує обґрунтованих додатковими дослідженнями уточнень. У ДБН недостатньо детально і повно описано процедуру визначення деформацій таких з'єднань, що має бути враховано у наступних редакціях.

1. *Teco Face Fix Hangers*. URL: <http://www.tecoproducts.co.uk/joist-hangers/mini-joist-hangers> (дата звернення 05.10.2017). 2. *Wood Constructions Connectors 2017-2018 C-C-2017 Simpson Strong-Tie Company Inc*. URL: <http://embed.widencdn.net/pdf/plus/ssstoolbox/3uemgjfckh/C-C-2017-p120.pdf> (дата звернення 05.10.2017). 3. *Koelner Product Katalogue*. URL: <http://www.h-t-i.ro/Koelner/KoelnerCatalogue.pdf> (дата звернення 05.10.2017). 4. Максименко Л. А. Исследование работы гвоздевых соединений фанерных и деревянных элементов при кратковременном действии нагрузки / Л. А. Максименко // *Строительство и архитектура*. – № 12. – 1991. – С. 8–11. 5. Дмитриев П. А. К расчету нагельных соединений деревянных элементов со стальными накладками и прокладками // *Строительство и архитектура*. – № 2. – 1990. – С. 9–12. 6. Слишкоухов Ю. В. Расчет нагельных соединений с применением нелинейных зависимостей / Ю. В. Слишкоухов, Е. В. Буров, А. В. Зворугин // *Строительство и архитектура*. – № 5. – 1986. – С. 18–21. 7. Сипаренко В. Г. Распределение усилий в многорядовых центрально нагруженных нагельных соединениях / В. Г. Сипаренко, В. Н. Шапошников, В. И. Ушаков // *Строительство и архитектура*. – № 10. – 1989. – С. 12–16. 8. Демчина Б. Г. Дослідження міцності та деформативності дощатих арок на металозубчатих пластинах / Б. Г. Демчина, Я. М. Шидловський // *Містобудування та територіальне планування*. – 2016. – Вип. 61. – С. 164–172. 9. Гомон С. С., Алексісець В. І. Робота та розрахунок сталевих нагельних з'єднань дерев'яних конструкцій за повторних навантажень: моногр. – Рівне, 2013. – 111 с. 10. Фурсов В. В. Работоспособность деревянных конструкций при различных нагружениях и эксплуатационных воздействиях: дис. д-ра техн. наук: 05.23.01 / В. В. Фурсов. – Харьковський гос. технічний університет будівництва та архітектури. – Х., 1996. – 438 с. 11. Johansen K. W. *Theory of Timber Connections*, IABSE, Publications No 9, Bern, Switzerland, 1949, pp. 249–262. 12. McLain T. E. *Connections and fasteners: research needs and goals*. In: Fridley, K. J.(ed), *Wood Engineering in 21st Century; Research Needs and Goals*. ASCE, Reston, VA, 1998, pp.56–69. 13. Hilson B. O., *Joints with dowel-type fasteners-theory*. In: Blass, H. J. Aune, P. Choo, B. S.et.al.(eds), *Timber Engineering STEP 1, 1st edn*. Centrum Hout, Almere, 1995. 14. Ehlbeck, J., Larsen, H.J., *EC5-design of timber structures:joints*. In: *Proceedings of International Workshop on Wood Connectors*, No.7361, Forest Product Society, Madison, WI, 1993, pp. 9–23. 15. СНиП II-25-80 *Деревянные конструкции. Нормы проектирования* / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 66 с. 16. ДБН В.2.6-161:2010 *Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення* / Мінрегіонбуд України, – К., 2011. – 102 с. 17. 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)* / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К., 2013. – 147 с.

18. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1 General rules and rules for buildings. – 1995. – 124 p.
19. Porteous J., Kermani A. Structural timber design to Eurocode, Blackwell Publishing ltd, 2007. – P. 542.

References

1. Teco Face Fix Hangers. URL: <http://www.tecoproducts.co.uk/joist-hangers/mini-joist-hangers> (accessed 05.10.2017). 2. Wood Constructions Connectors 2017-2018 C-C-2017 Simpson Strong-Tie Company Inc. URL: <http://embed.widencdn.net/pdf/plus/ssstoolbox/3uemgjkch/C-C-2017-p120.pdf> (accessed 05.10.2017). 3. Koelner Product Catalogue. URL: <http://www.h-t-i.ro/Koelner/KoelnerCatalogue.pdf> (accessed 05.10.2017). 4. Maksimenko L. A. Issledovanie raboty gvozdevykh soedineniy fanernykh i derevyannykh elementov pri kratkovremennom deystvii nagruzki / L. A. Maksimenko // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. – No. 12. – 1991. – S. 8–11. 5. Dmitriev P. A. K raschetu nagel'nykh soedineniy derevyannykh elementov so stal'nymi nakladkami i prokladkami // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. – No. 2. – 1990. – S. 9–12. 6. Slitskoukhov Yu. V. Raschet nagel'nykh soedineniy s primeneniem nelineynykh zavisimostey / Yu. V. Slitskoukhov, E. V. Burov, A. V. Zvorugin // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. – No. 5. – 1986. – S. 18–21. 7. Siparenko V. G. Raspredelenie usily v mnogoryadovykh tsentral'no nagruzhenykh nagel'nykh soedineniyakh / V. G. Siparenko, V. N. Shaposhnikov, V. I. Ushakov // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. – No. 10. – 1989. – S. 12–16. 8. Demchyna B. G. Doslidzhennja micnosti ta deformatyvnosti doshatykh arok na metalozubchatykh plastynah / B. G. Demchyna, Ja. M. Shydlovs'kyj // Mistobuduvannja ta terytorial'ne planuvannja. – 2016. – Vyp. 61. – S. 164–172. 9. Gomon S. S., Aleksijevic' V. I. Robota ta rozrahunok stalevykh nagel'nykh z'jednan' derev'janykh konstrukcij za povtornykh navantazhen'. Monografija. Rivne 2013. – 111 s. 10. Fursov V. V. Rabotospasobnost' derevjannykh konstrukcij pri razlichnykh zagruzenijah i jekspluacionnykh vozdeystvijah: dis. d-ra tehn. nauk: 05.23.01 / V. V. Fursov.-Har'kovskij gos. tehničeskij universitet stroitel'stva i arhitektury. – H., 1996. – 438 s. 11. Johansen K. W., Theory of Timber Connections, IABSE, Publications No 9, Bern, Switzerland, 1949, pp. 249–262. 12. McLain T. E. Connections and fasteners: research needs and goals. In: Fridley, K. J. (ed), Wood Engineering in 21st Century; Research Needs and Goals. ASCE, Reston, VA, 1998, pp.56-69. 13. Hilson B. O., Joints with dowel-type fasteners-theory. In: Blass, H. J., Aune, P., Choo, B. S. et. al.(eds), Timber Engineering STEP 1, 1st edn. Centrum Hout, Almere, 1995. 14. Ehlbeck, J., Larsen, H. J., EC5-design of timber structures: joints. In: Proceedings of International Workshop on Wood Connectors, No. 7361, Forest Product Society, Madison, WI, 1993, pp. 9–23. 15. SNiP II-25-80 Derevjannye konstrukcii. Normy proektirovanija / Gosstroj SSSR-M.: Strojizdat, 1982. – 66 s. 16. DBN V.2.6-161:2010 Konstrukcii' budynkiv i sporud. Derev'jani konstrukcii'. Osnovni polozhennja /Minregionbud Ukrainy. – Kyi'v, 2011. – 102 s. 17. DSTU-N B EN 1995-1-1: 2010 Jevrokod 5. Proektuvannja derev'janykh konstrukcij. Chastyňa 1-1. Zagal'ni pravyla i pravyla dlja sporud (EN 1995-1-1:2004, IDT)/ Ministerstvo regional'nogo rozvytku, budivnyctva ta zhytlovo-komunal'nogo gospodarstva Ukrainy. – Kyi'v, 2013. – 147 s. 18. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1 General rules and rules for buildings. – 1995. – 124 p. 19. Porteous J., Kermani A. Structural timber design to Eurocode, Blackwell Publishing ltd, 2007, p. 542.