DOI: 10.32347/2522-4182.11.2022.94-103
УДК624.016

СИНЕРГІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ ТА ДЕРЕВИНИ В КОНСТУКЦІЯХ МЕТАЛОДЕРЕВ'ЯНИХ ДВОТАВРІВ З ГОФРОВАНОЮ СТІНКОЮ

Ігор СКЛЯРОВ[1], Тетяна СКЛЯРОВА[2]

[1,2] Київський національний університет будівництва і архітектури,
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037
[1]skliarov.io@knuba.edu.ua, http://orcid.org/0000-0002-6150-5518
[2]skliarova.ts@knuba.edu.ua, http://orcid.org/0000-0001-9162-3999

Анотація. В сучасних несучих конструкціях каркасів широко застосовуються тонкостінні сталеві профілі та конструкції з клеєної деревини. Кожен з цих матеріалів має свої переваги та недоліки у питаннях несучої здатності, жорсткості, теплотехнічних та інших фізичних характеристик. Для подальшого вдосконалення ефективності несучих каркасів будівель доцільно розглянути можливість поєднання позитивних властивостей деревини та металу за рахунок їх оптимального конструктивного комбінування.

Мета проведення досліджень полягає у визначенні ефективноті та доцільності використання металодерев'яних двотаврових профілів при зведенні каркасів будівель. Унікальність цієї конструкції полягає у синтезі властивостей роботи гофрованої металевої стінки, яка добре сприймає поперечні зусилля у балках, та поясів з цільної чи клеєної деревини, які здатні сприймати значні нормальні напруження вздовж волокон та за рахунок масивності сприяють забезпеченню згинально-крутної стійкості балок.

Для надійного поєднання сталевого профільованого листа та дерев'яних поясів можна використовувати механічне задавлю-вання жорсткої гофрованої сталевої стінки у пояси з деревини, або з'єднання за допомогою двокомпонентного епоксидного клею, що має добру адгезію як з металевими, так і з дерев'яними поверхнями. Внаслідок застосування металевої профільованої стінки у дерев'яних двотаврових балках відбувається підвищення несучої здатності, жорсткості профілю, зменшується необхідна висота перерізу та власна вага балок. Все це суттєво збільшує діапазон використання двотаврових балок з поясами з деревини та підвищує їх ефективність.

Для забезпечення високої корозійної стійкості використовуються оцинкований металевий лист . За рахунок застосування деревини та тонкої гофрованої стінки, власна вага комбінованих балок у 2-3 рази менша за аналогічні металеві та суцільні деревяні балки прямокутного перерізу, що знижує витрати на зведення будівель. Застосування комбінованих металодерев'яних балок є перспективним напрямом подальшого підвищення ефектив-ності конструкцій несучих каркасів будівель, поєднуючи у собі позитивні властивості двох матеріалів.

Ключові слова. Металодерев'яна балка; композитна балка; HTS балка; комбіновані конструкції; тонкостінні двотаври.

Ігор СКЛЯРОВ
доцент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій
к.т.н., доцент

Тетяна СКЛЯРОВА
асистент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій

© І. СКЛЯРОВ, Т. СКЛЯРОВА, 2022

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасний стан будівельного ринку в умовах пошкодження та руйнування виробничої, логістичної інфраструктури поставляє вимоги до розвитку нових ефективних конструктивних форм, які будуть мати меншу залежність від виробничих баз, дадуть змогу застосовувати місцеві відновлювані матеріали, забезпечать швидкість та легкість зведення будівель при збереженні надійної та безпечної експлуатації впродовж встановленого терміну.

Одним із найбільш доступних у цьому контексті матеріалів завжди була деревина [7, 8, 9]. В усьому світі з стародавніх часів за допомогою дерев'яних конструкцій зводилися храми, замки, будинки, мости та інші споруди [5]. Велика кількість будівель і споруд з деревини успішно функціонують вже 300 - 400 років і служать яскравими прикладами довговічності цих конструкцій [1].

Сучасні технолоігчні можливості дозволяють отримувати більш масивні зрощені перерізи дерев'яних конструкцій: конструкції з клеєної деревини (ККД) , конструкції з поперечно-клеєної деревини CLT (cross laminated timber), які складаються з непарної кількості шарів дошок зі взаємно перпендикулярним їх розташуванням у суміжних шарах. З CLT виготовляються панелі які використовуються в панельному та панельно-каркасному будівництві споруд різної складності архітектурної форми та поверховості [11, 12].

В окремих випадках для підвищення несучої здатності та/або жорсткості прольотних конструкцій з деревини можливе застосування вклеєних армуючих елементів в слабких зонах масиву або підсилення наклеюванням композитних матеріалів (зовнішнє армування) [5].

При цьому стоїть задача подальшого зниження власної ваги конструкцій при збільшенні вільного прольоту, покращення звукопоглинання міжоверхових перекрит-тів, теплоізоляції конструкцій покриття. Такий ефект досягається при заміні масиву деревини на композитний двотавровий переріз із тонкою сталевою гофрованою стінкою та поличками з цільної або клеєної деревини.

Тому подальше дослідження ефективності та надійності цього класу комбінованих композитних конструкцій є актуальними та обгрунтованим.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За останні кілька років спостерігається постійне зростання використання деревини як будівельного матеріалу в Європі, Китаї та Північній Америці [10]. Багатогранні властивості деревини викликають ентузіазм архітекторів та інженерів використовувати цей матеріал у своїх проектах – крім естетичних якостей, деревина вважається екологічно чистим матеріалом, видобува-ється з відновлюваних ресурсів зі швидкістю відновлення протягом кількох десятиліть. Крім того, будівельна деревина має ряд переваг при аналізі впливу на навколишнє середовище завдяки своїм властивостям поглинання вуглецю та кліматичним перевагам, пов'язаним зі сталим управлінням та відновленням лісів. Екосистемний вплив варіюється від регулюючих функцій, таких як регулювання якості води та забезпечення захисту від природних небезпек, таких як повені та ерозія ґрунту, до культурних послуг, таких як відпочинок і духовне задоволення, і до допоміжних послуг, таких як ґрунтоутворення, кругообіг поживних речовин і формування середовища проживання біологічних видів.

З огляду на поширення будівництва швидкомонтованих будинків з клеєного бруса, в роботі [2] запропоновано рішення задачі розрахунку поперечно-клеєних дерев'яних елементів методом скінченних елементів із застосуванням знижених механічних характеристик матеріалу. Наведено уточнені формули для визначення приведених геометричних і механічних характеристик різних типів клеєних дерев'яних плит, у тому числі виготовлених із комбінованої клеєної деревини. Наведено алгоритм розрахунку поперечно-клеєних дерев'яних панелей методом скінченних елементів.

При цьому також вирішено задачі вогнезахисту конструкцій з деревини [3, 4]. Створення екологічно безпечних вогнезахисних матеріалів для дерев'яних будівельних конструкцій дозволяє впливати на процеси термостійкості та фізико-хімічні властивості захисного покриття протягом терміну його служби.

Доведено, що процес температурного гальмування полягає в утворенні сажеподібних продуктів, які ізолюють дерев'яну конструкцію. Це дало змогу визначити умови вогнезахисту деревини, формування бар'єру теплопровідності за допомогою вогнезахисної тканини. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що зразок деревини з вогнезахисною тканиною витримує температурний вплив, а саме під впливом теплового потоку покриття набухає, і теплоізоляція зберігається до температури 900 °С.

У роботі [6] авторами проведено дослідження напружено-деформованого стану сталевих елементів каркасу будівлі з урахуванням термічного впливу. Проведено аналіз динамічної задачі теплопровідності поперечного перерізу балки. Наведено основні рівняння для розв'язування крайової задачі нестаціонарної теплопровідності. Також наведено алгоритм реалізації аналізу температурних деформацій на перерізі сталевої балки методом скінченних елементів. Розглянуто процес побудови аналітичної моделі елементів конструкції та аналізу напружено-деформованого стану при зміні робочої температури. Для металодерев'яних конструкцій вирішення цієї задачі залишається відкритим.

В роботі [5] наведено аналіз досліджень в сфері армування конструкцій з клеєної деревини, інших конструкцій підсилених новітніми композитними матеріалами та невеликий досвід підсилення композитними матеріалами конструкцій з клеєної дере-вини. Доведено можливість використання композитних матеріалів для покращення несучої здатності не тільки ККД прямокутного перерізу, як балки, а і інших розповсюджених конструкцій (рам, арок тощо) та панелей з CLT. Враховуючи, що в вітчизняних нормах відсутні розрахунки та вказівки по використанню, будь яких конструкцій з клеєної та поперечно-клеєної деревини армованих композитними матеріалами, це питання заслуговує на увагу. Слід зазначити, що в нормативних документах Sika, різних країн є технічні рекомендації, по використанню армування композитними матеріалами, але питання розробки інженерної методики розрахунку та практичних рекомендацій по використанню композитних матеріалів з КД та ПКД є відкритим для подальшої реалізації.

Авторами [12] проведено дослідження варіантів комбінування дерев'яних та скляних елементів у несучому каркасі таким чином, щоб подолати недоліки та використати корисні механічні властивості гартованого скла у якості стінки балок.

У той же час, до використання деревини у масовому будівництві необхідно підходити зважено. У роботі [10] проведено дослідження ризиків у системі будівельних виробів з деревини за допомогою системи оцінки критичності. Втрата лісового покриву внаслідок інтенсивного видобутку деревини та інші загрози можуть у перспективі перешкоджати постачанню певних порід деревини, що значно вплине на економічний сектор. Ризик втрати пропозиції в галузі природних ресурсів інтенсивно досліджувався, внаслідок якого було сформовано концепцію критичності, яка оцінює ризики постачання та основні наслідки обмеженої доступності ресурсу. У випадку біотичних, відновлюваних ресурсів відсутність сталого управління може призвести до швидкого вичерпання наявного ресурсу та дефіциту пропозиції.

Жорстка конкуренція за доступні землі призводить до вирубки лісів з метою використання простору для іншої економіч-ної діяльності, наприклад сільського господарства, плантацій біопалива або розширення міст. Інтенсивна заготівля та видобуток інших продуктів з деревини (твердого палива, деревного вугілля), а також інші види порушень, включаючи пожежі, несприятливі погодні умови та атаку патогенів, погіршують якість пиломатеріалів. Вплив вищезазначених факторів посилюється відсутністю системного управління в контексті збереження

лісів та незаконною торгівлею деревною продукцією.

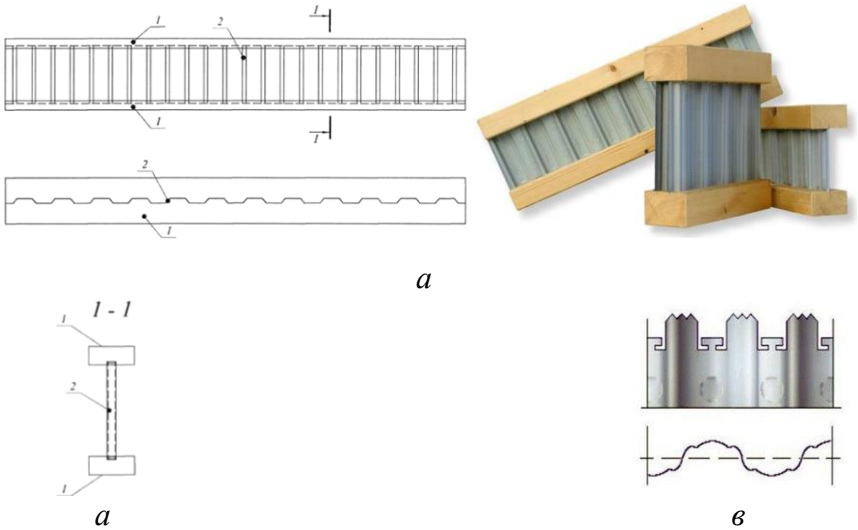
Тому, незважаючи на те, що деревина вважається відновлюваним ресурсом – тривалі терміни відновлення потребують системного підходу до збереження цього цінного ресурсу на рівні державного регулювання.

Таким чином, з літературних джерел встановлено, що використання конструкцій з деревини є перспективним, сучасним напрямком розвитку будівельної галузі, забезпечуючи високий рівень екологічності, зниження вартості зведення будівель внас-лідок невеликої власної ваги та високої технологічності. У той же час, враховуючи досить тривалі терміни відновлення ресурсу, при проектуванні будівель з деревини необхідно максимально ефективно використовувати цей матеріал, втілюючи у проектах найбільш сучасні конструктивні форми. Для подальшого вдосконалення ефективності несучих каркасів будівель доцільно розглянути можливість поєднання позитивних властивостей деревини та металу за рахунок їх оптимального конструктивного комбінування.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета проведення досліджень полягає синтезі властивостей роботи гофрованої металевої стінки, яка добре сприймає поперечні зусилля у балках, та поясів з цільної чи клеєної деревини, які здатні сприймати значні нормальні напруження вздовж волокон та за рахунок масивності сприяють забезпеченню згинально-крутної стійкості балок. (рис. 1).

Задача вирішується тим, що у поясах з дерев'яного бруса 1 (рис. 1) фрезерується поздовжній паз, у який вклеюється або запресовується сталевий профільований лист 2 (рис. 1) [14]. Ширина паза дорівнює висоті гофри профільованого листа. Товщину стінки, висоту гофри сталевого листа та габарити дерев'яного бруса поясів слід визначати за розрахунком. Для надійного склеювання сталевого профільо-ваного листа та дерев'яних поясів можна використати двокомпонентний епоксидний клей, що має добру адгезію як з металевими, так і з дерев'яними поверхнями.



а *а* *в*

Рис.1. Конструкція металодерев'яного двотавра:
а – загальний вигляд;
б – поперечний розріз;
в – форма зубців гофрованої стінки для запресовування у пояс із деревини.

Fig.1. Construction of metal-and-timber I-beam:
a – general appearance;;
b –cross-section;
c – shape of the corrugated wall teeth for pressing into the wood belt.

Збірка, опресування чи склеювання відбувається на спеціальних технологічних лініях, протяжність яких можна варіювати залежно від необхідної довжини елементів (рис. 2). При цьому можуть виготовлятись як елементи постійного перерізу, так і конструкції зі змінною висотою стінки [13].

Рис.2. Технологічна лінія зєднання сталевої стіки з поясами з деревини
Fig.2. The technological line for connecting steel joints with timber belts

Внаслідок застосування металевої профільованої стінки у дерев'яних двотаврових балках [15] відбувається підвищення несучої здатності, жорсткості профілю, зменшується необхідна висота перерізу та власна вага балок. Для забезпечення високої корозійної стійкості, використовуються оцинковані металеві стінки зі сталі S550 GD + Z згідно DIN EN 10147. За рахунок меншої густини деревини та застосуванню тонкої гофрованої стінки, власна вага комбінованих балок у 2-3 рази менша за аналогічну металеву, що знижує витрати на зведення будівель. На даний момент у Європі з металодерев’яних конструкцій досить часто зводяться каркаси складських та виробничих приміщень (рис. 3).

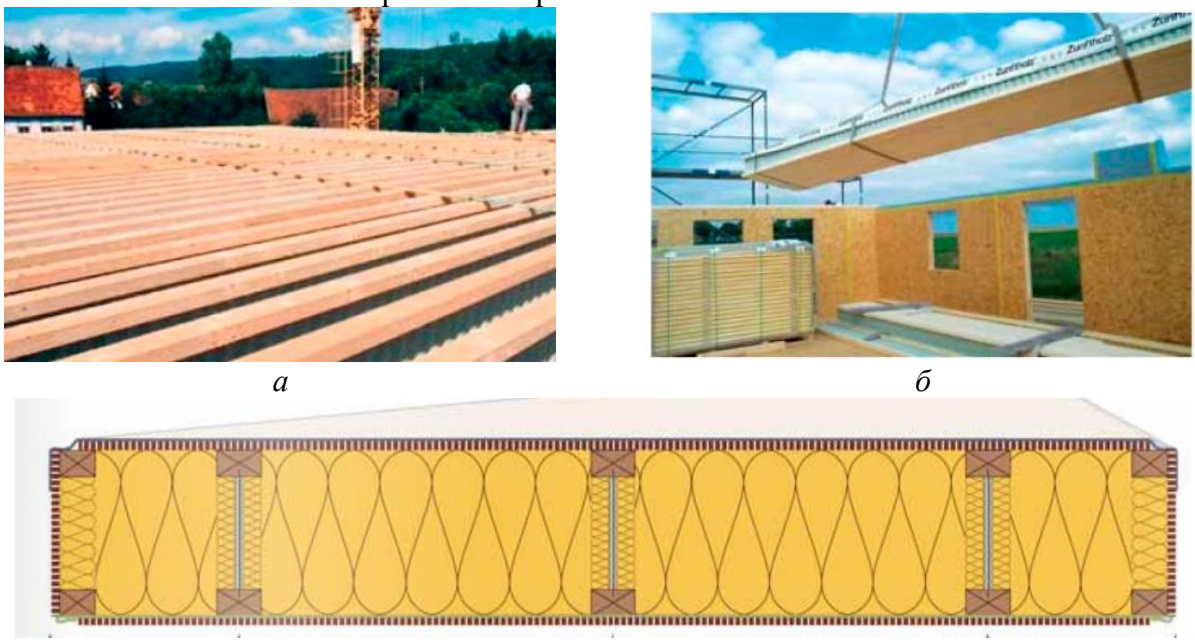
Рис.3. Каркаси складських приміщень з металодерев’яних двотаврів
Fig.3. Frames of warehouses made of metal-and-timber I-beams

Значного економічного ефекту можливо досягти при застосуванні металодеревяних балок у якості окремих балок перекриття (рис. 4,*а*) або збірних панелей з балок, скріплених OSB плитою (рис. 4,*б*). Використання зблокованих панелей забезпечує швидкий та ефективний монтаж конструкцій, який значно прискорює зведення будівель.

Крім цього, легке сталеве полотно забезпечує такі несучі системи зниженням передачі вібраційних коливань, що позитивно впливає на звукопоглинання при використанні в якості міжповерхових перекриттів. Так само, зниження власної ваги каркасу та використання гнучкої гофрованої стінки у комбінації з характеристиками деревини забезпечують каркаси будівель з металодерев'яних профілів підвищеною сейсмостійкістю.

Завдяки індивідуальному виготовленню конструкцій, досягається безвідходність виробництва. Таким чином при розробці проекту із сотень можливих варінтів реалізується оптимальне економічне рішення. При цьому в конструкціях зберігається можливість використовувати прості вузли, як і в конструкціях з цільної чи клеєної деревини. Технологічність металедерев'яних балок також є значною перевагою – адже для обробки таких комбінованих профілів достатньо використовувати традиційний ручний будівельний інструмент – деревина дозволяє можливість простої обробки сама по собі, а сталь, яка використовується у стінці, має товщину 0,5-0,8 мм і може оброблятись ручними дисковими різаками.

Стінка виготовляється з вуглецевої сталі, оцинкованого гарячим способом, найчастіше марки S550 GD+Z, з шаром цинку не менше 275 г/м2 (приблизно 40 мкм). За умов експлуатації з високою вологістю і середнім ступенем агресивності повітря (наприклад промислова або міська атмосфера або прибережний клімат з низьким вмістом хлоридів), очікуваний термін служби захисного цинкового покриття складає 20-30 років.



а *б*

в

Рис.4. Металодеревяні балки в каркасах багатоповерхових будівель:
а – у вигляді окремих елементів;
б – у складі збірних панелей;
в – конструкція покрівельної панелі.

Fig.4. Metal-and-timber beams in the frameworks of multi-story buildings:
a – in the form of separate elements;
b– in the composition of prefabricated panels;
c – roof panel construction.

При експлуатації всередині приміщень можна очікувати довговічність від 50 до 100 років. У порівнянні з фарбованими покриттями гаряче цинкування має значно краща стійкість до механічних впливів завдяки ефекту катодного захисту навіть при незначних пошкодженнях поверхні.

Дуже тонке сталеве полотно (0,5 мм) надає металодерев'яним балкам відмінні властивості при виготовленні теплоізоляційних будівельних елементів (рис. 5). Ізоляційні властивості є значно кращими, ніж при використанні балок з масиву або ламінованої деревини, у випадку якщо не допускається утворення теплового містка. Якщо ізоляцію встановлено правильно, конденсат у зоні полотна не буде утворюватись. Додаткову надійність можна забезпечити шляхом захисту від корозії на перетині поясів зі сталевою стінкою при використання в агресивних умовах екслуатації.

Рис.5. Теплоізоляція панелей з металодерев'яними балками
Fig.5. Thermal insulation of panels with metal-and-timber beams

На видимі нижні полиці в елементах перекриття чи нижньої частини конструкцій покрівлі одноповерхових будівель може наноситися прозоре покриття із збереженням текстури, що перетворює їх на яскравий характерний елемент інтер'єру.

З чисто статичної точки зору використання металодерев'яних балок має сенс при прольотах 7-24м, де як правило вже не можна використовувати поперечний переріз із цільної деревини.

Для порівняння, виконаємо розрахунок балки прольотом 14,00 м при розрахунковому навантаженні 3,00 кН/кв.м (середнє навантаження на легке перекриття чи покрівлю). При відстані між балками 40 см отримуємо необхідний переріз металодерев'яної балки зі сталевою стінкою 510 мм та поясами 80х140 мм, вага на м.п. 12,30 кг. Поточна розпродажна ціна такої балки від виробника Gebruder MEISER GmbH становить близько 28,00 євро/м.

При тих же навантаженнях і габаритних розмірах необхідний переріз клеєного дерев'яного бруса складає 140х420 мм.

Його вартість складає близько 26,00 євро/м. Відповідно до DIN 1055 ця балка з клеєного бруса важить 0,28 кН/м, що відповідає розподіленому навантаженню 0,70 кН/кв.м.

Для порівняння, металодерев'яна балка 510/80/140 має вагу 0,117 кН/м/м – це відповідає навантаженню від власної ваги 0,25 кН/м².

Тобто при незначній різниці у вартості, ми можемо отримати значно меншу вагу каркасу і отримати економію на фундаментах, вартості монтажу конструкцій.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті проведених досліджень визначено ряд переваг конструкцій металодеревяних балок у порівнянні з традиційними конструктивними рішеннями: підвищена жорсткість та низька власна вага за рахунок раціонального розподілу матеріалу по висоті перерізу, високі показники вібро- та шумопоглинання, стійкість до сейсмічних

та інших динамічних впливів, технологічність та простота обробки, низька теплопровідність та висока корозійна стійкість. Ну і на додачу – естетичність природного матеріалу, який може стати органічною частиною внутрішнього інтер'єру. Таких властивостей вдається досягти завдяки гармонійному поєднанню переваг тонкої сталевої гофрованої стінки з масивною деревиною. Конструкції металодеревяних двотаврів беззаперечно заслуговують на увагу як інженерів – проектувальників, так і архітекторів при реалізації сучасних економічних та енергоефективних будівель.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Ivashko Y.** Influence of structural schemes on the shaping of historical wooden buildings: On the examples of traditional chinese pavilions, pavilions of the chinoiserie style and ukrainian wooden churches / *Ivashko Y., Chang P., Dmytrenko A., Kozlowski T., Mykhailovskyi D. (2021) Wiadomosci Konserwatorskie, 2021 (67) , pp. 49-60.*
http://doi.org/10.48234/WK67INFLUENCE
2. **Mykhailovskyi D.** Method of calculation of panel buildings from cross-laminated timber / D. Mykhailovskyi // *Strength of Materials and Theory of Structures-opir Materialiv I Teoria Sporud. - 2021. -№ 107.,pp. 75—78.*
http://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.75-88
3. **Tsapko Yu.** Determination of the laws of thermal resistance of wood in application of fire-retardant fabric coatings. /Tsapko A., Bondarenko O. *//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 2. No 10 (104). pp. 13-18.*
http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200467.
4. **Tsapko Yu.** Modeling of thermal conductivity of reed products. /Tsapko A., Bondarenko O. *//IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 907. 012057. 9 p.*
http://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012057
5. **Михайловський Д.** Армування конструкцій з деревини композитними матеріалами, стан і перспективи/ Михайловський Д., Комар М. // *Зб. наук. праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика», 2021.-Вип.09, с.72-80.*
http://doi.org/ 10.32347/2522-4182.9.2021.72-80
6. **Bilyk S.** Determination of changes inthermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software / S. Bilyk, O. Bashynska, O. Bashynskyi // *Strength of Materials and Theory of Structures-opir Materialiv I Teoria Sporud. — 2022. — № 108. — pp. 189-202.*
https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.189-202
7. **Göswein V.** Land availability in Europe for a radical shift toward bio-based construction / Verena Göswein, Jana Reichmann, Guillaume Habert, Francesco Pittau // *Sustainable Cities and Society – 2021 - №70(3):102929*
https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102929
8. **Kremer, P. D.** Mass timber construction as an alternative to concrete and steel in the Australia building industry: A PESTEL evaluation of the potential / Kremer, P. D., Symmons, M. A. *// International Wood Products Journal – 2015 – №6(3), pp. 138–147.*
https://doi.org/10.1179/2042645315Y.0000000010
9. **Jones, D., & Brischke**, C. (2017). Performance of Bio-based Building Materials.
https://doi.org/10.1016/C2015-0-04364-7
10. **Ioannidou D.** Evaluating the risks in the construction wood product system through a criticality assessment framework / Ioannidou, D., Pommier, R., Habert, G., & Sonnemann, G. // *Resources, Conservation, and Recycling - 2019– №146, pp. 68–76.*
https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.03.021
11. **Михайловський Д.** Світовий досвід і перспективи розвитку багатоповерхового будівництва з деревини/ДВ Михайловський //*Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.-2016.-Вип. 61.-С. 270-277*
12. **Михайловський Д.** Розрахунок панельних будинків з поперечно-клеєної деревини: *//Монографія Уклад.: Д.В. Михайловський – К: КНУБА, 2022 – 220 с.*
ISBN 978-966-8019-52-4
13. **Blyberg L.** Timber/Glass adhesively bonded i-beams / Blyberg L., Serrano E. *//Linnæus University, School of engineering. 2011, pp. 451-456*
14. **Скляров І.** Патент на корисну модель № 131782 Україна, МПК E04C 3/00 (2018.01). Рама змінного перерізу з метало-дерев'яних двотаврів / Скляров І. О.; заявники і власники Скляров І.О., *Київський національний університет будівництва і архітектури; – № u201808996; заяв. 29.08.2018 ; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.*
15. **Скляров І.** Патент на корисну модель № 131636 Україна, МПК E04C 3/04 (2006.01). Спосіб з'єднання поясів та стінки металоде-

рев'яних двотаврова балок / Скляров І. О.; заявники і власники Скляров І.О., *Київський національний університет будівництва і архітектури; – № u201807806; заяв. 12.07.2018 ; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.*

16. **Скляров І.** Патент на корисну модель № 130893 Україна, МПК E04C 3/07 (2006.01). Комбінована металодерев'яна двотаврова балка з поясами із деревини та стінкою з профільованого металевого листа / Скляров І. О.; заявники і власники Скляров І.О., *Київський національний університет будівництва і архітектури; – № u201807815; заяв. 12.07.2018 ; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24*.

REFERENCES

1. **Ivashko Y.** Influence of structural schemes on the shaping of historical wooden buildings: On the examples of traditional chinese pavilions, pavilions of the chinoiserie style and ukrainian wooden churches / *Ivashko Y., Chang P., Dmytrenko A., Kozlowski T., Mykhailovskyi D. (2021) Wiadomosci Konserwatorskie, 2021 (67) , pp. 49-60.*
http://doi.org/10.48234/WK67INFLUENCE

2. **Mykhailovskyi D.** Method of calculation of panel buildings from cross-laminated timber / D. Mykhailovskyi // *Strength of Materials and Theory of Structures-opir Materialiv I Teoria Sporud. — 2021. — № 107. — pp. 75—78.*
http://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.75-88

3. **Tsapko Yu.** Determination of the laws of thermal resistance of wood in application of fire-retardant fabric coatings. /Tsapko A., Bondarenko O. *//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 2. No 10 (104). pp. 13-18.*
http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200467.

4. **Tsapko Yu.** Modeling of thermal conductivity of reed products. /Tsapko A., Bondarenko O. *//IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 907. 012057. 9 p.*
http://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012057

5. **Mykhailovskyi D.** Armuvannia konstruktsii z derevyny kompozytnymy materialamy, stan i perspektyvy/ Mykhailovskyi D., Komar M. // *Zb. nayk. pratc "Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka", 2021.- Vyp.09, pp. 72-80.*
http://doi.org/ 10.32347/2522-4182.9.2021.72-80

6. **Bilyk S.** Determination of changes inthermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software / S. Bilyk, O. Bashynska, O. Bashynskyi // *Strength of Materials and Theory of Structures-opir Materialiv I Teoria Sporud. — 2022. — № 108. — pp. 189-202.*
https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.189-202

7. **Göswein V.** Land availability in Europe for a radical shift toward bio-based construction / Verena Göswein, Jana Reichmann, Guillaume Habert, Francesco Pittau // *Sustainable Cities and Society – 2021 - №70(3):102929*
https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102929

8. **Kremer, P. D.** Mass timber construction as an alternative to concrete and steel in the Australia building industry: A PESTEL evaluation of the potential / Kremer, P. D., Symmons, M. A. // *International Wood Products Journal – 2015 – №6(3), pp. 138–147.*
https://doi.org/10.1179/2042645315Y.0000000010

9. **Jones, D., & Brischke, C**. (2017). Performance of Bio-based Building Materials.
https://doi.org/10.1016/C2015-0-04364-7

10. **Ioannidou D.** Evaluating the risks in the construction wood product system through a criticality assessment framework / Ioannidou, D., Pommier, R., Habert, G., & Sonnemann, G. // *Resources, Conservation, and Recycling - 2019– №146, pp. 68–76.*
https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.03.021

11. **Mykhailovskyi D.** Svitovyi dosvid i perspektyvy rozvytku bahatopoverkhovoho budivnytstva z derevyny/DV Mykhailovskyi//*Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury.-2016.-Vyp. 61.-S. 270-277*

12. **Mykhailovskyi D.** Rozrakhunok panelnykh budynkiv z poperechno-kleienoi derevyny: *//Monohrafiia Uklad.: D.V. Mykhailovskyi – K: KNUBA, 2022 – 220 p.*
ISBN 978-966-8019-52-4

13. **Blyberg L.** Timber/Glass adhesively bonded i-beams / Blyberg L., Serrano E.//*Linnaæus University, School of engineering. 2011, pp. 451-456*

14. **Skliarov I.** Patent na korysnu model № 131782 Ukraina, MPK E04S 3/00 (2018.01). Rama zminnoho pererizu z metalo-derev'ianykh dvotavriv / Skliarov I. O.; zaiavnyky i vlasny-ky Skliarov I.O., Kyivskyi natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury; – № u201808996; zaiav. 29.08.2018 ; opubl. 25.01.2019, Biul. № 2.

15. **Skliarov I.** Patent na korysnu model № 131636 Ukraina, MPK E04S 3/04 (2006.01). Sposib z'iednannia poiasiv ta stinky metaloderev'ianykh dvotavrova balok / Skliarov I. O.; zaiavnyky i vlasnyky Skliarov I.O., *Kyivskyi natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury; – №*

u201807806; zaiav. 12.07.2018 ; opubl. 25.01.2019, Biul. № 2.

16. **Skliarov I.** Patent na korysnu model № 130893 Ukraina, MPK E04S 3/07 (2006.01). Kombinovana metaloderev'iana dvotavrova balka z poiasamy iz derevyny ta stinkoiu z profilovanoho metalevoho lysta / Skliarov I. O.; zaiavnyky i vlasnyky Skliarov I.O., *Kyivskyi natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury; – № u201807815; zaiav. 12.07.2018 ; opubl. 26.12.2018, Biul. № 24.*

THE PROPERTIES SYNERGY OF STEEL AND WOOD IN THE CONSTRUCTIONS OF METAL-AND-TIMBER I-BEAMS WITH A CORRUGATED WALL

Ihor SKLIAROV,
Tetiana SKLIAROVA

Summary. In modern bearing structures of frame widely used thin-wall steel profiles and constructions from glued timber. Each of these materials has its own advantages and disadvantages in the issues of bearing capacity, rigidity, heat engineering and other physical characteristics. For further improvement of the efficiency of bearing frame buildings it is expedient to consider possibility of combination of positive properties of timber and metal due to their optimal constructive combination.

The purpose of the research is to determine the effectiveness and expediency of using metal-and-timber I-beam profiles in the construction of building frames. The uniqueness of this construction lies in to synthesize the properties of corrugated metal wall, which is well perceived transverse forces in beams, and belts from mass or glued timber, which are able to perceive significant normal stress along fibers and at the expense of the intensity contribute to the guarantee of bending-steep stability of beams.

For a reliable combination of steel profiled sheet and timber belts it is possible to use mechanical suppression of rigid corrugated steel wall in timber belts, or connection with two-component epoxy adhesive, which has good adhesion both with metal and timber surfaces. As a result of the use of metal profiled walls in timber double-walled beams there is an increase in bearing capacity, rigidity of profile, the necessary height of cut and own weight of beams is reduced. All this significantly increases the range of use of double-branch beams with belts from timber and increases their efficiency.

To ensure high corrosion resistance, a galvanized metal sheet is used. Due to the use of timber and thin corrugated wall, the own weight of combined beams is 2-3 times less than the same metal and solid timber beams of rectangular cut, which reduces the cost of building construction. Application of combined metal-and-timber beams is a promising direction of further increase of efficiency of constructions of bearing frame of buildings, combining positive properties of two materials.

Keywords. Metal-and-timber beam; composite beam, HTS beam; combined structures; thin-wall I-beam.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2022