

ВІДГУК

офіційного опонента

На дисертаційну роботу **КОМАРА МИКОЛИ АНТОНОВИЧА**
«КОНСТРУКЦІЇ З КЛЕЄНОЇ ТА ПЕРЕХРЕСНО-КЛЕЄНОЇ
ДЕРЕВИНИ ПІДСИЛЕНІ КОМПОЗИТНИМИ СТРІЧКАМИ»

Представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань
19 – Архітектура та будівництво, спеціальності 192 – Будівництво та
цивільна інженерія

Детальний аналіз дисертаційної роботи Комара Миколи Антоновича «Конструкції з клеєної та перехресно-клеєної деревини підсилені композитними стрічками» та наукових публікацій дозволяє сформулювати наступні висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, рекомендацій, наукової новизни та достовірності висновків, практичного значення, а також надати загальну оцінку дослідження.

Актуальність теми. Клеєна деревина та панелі з перехресно-клеєної деревини не втрачають свою актуальність та популярність у сучасному будівництві житлових та офісних будівель різної поверховості. Не зважаючи на те, що деревина є легко перероблювальним і відновлювальним матеріалом, тенденція щодо дослідницьких робіт по підсиленню та підвищенню її ефективності у будівельних конструкціях за рахунок використання композитних матеріалів постійно зростає. Досить ефективно такі підсилення працюють у конструкціях мостів в країнах Західної Європи особливо при підсиленні вузлових з'єднань. Ціла низка таких публікацій і напрацювань було виконано в рамках наукового міжнародного дослідницького проекту COST Action FP1101 - Assessment, Reinforcement and Monitoring of Timber Structures (2011-2015) та FP1004 - Enhance mechanical properties of timber, engineered wood products and timber structures (2011-2015). Актуальність такого напрямку дослідів дуже вагомий для галузі дерев'яних конструкцій України та відкриває новий напрям у методах підсилення згинальних елементів каркасів будівель які потребують подовження терміну їх експлуатації і мають значну історичну цінність.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації підтверджуються точністю та достовірністю вихідних даних,

застосуванням фізико-механічних моделей, методів моделювання та аналізу отриманих результатів деформування і розподілу напружень підсилених армованих композитними стрічками балок, врахуванням неоднорідностей та природної ортотропії деревини як будівельного матеріалу.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційного дослідження автора є аргументованими та змістовними і свідчать про високий рівень наукової підготовки дисертанта.

Достовірність основних положень роботи забезпечена шляхом використання теоретично-аналітичних методів будівельної механіки, виконання аналізу даних отриманих при натурних випробуваннях та чисельних дослідженнях з використанням вітчизняних обчислювальних програмних комплексів.

Достовірність наукових положень, висновків та результатів дисертаційної роботи доведено позитивною оцінкою отриманих результатів на науково-технічних конференціях та в рецензованих наукових фахових виданнях України і європейських виданнях, а також апробацію при проектуванні конструкцій поперечних рам прольотом 12 м пансіонату сімейного типу з об'єктами стаціонарної рекреації по вул. 11-та лінія, м. Ірпінь в Київській області

Враховуючи всі вище наведені аргументи можна зробити позитивний висновок щодо наукової обґрунтованості і достовірності отриманих основних положень дисертаційної роботи та їх відповідності заявленим меті та задачам дослідження.

Науковою новизною одержаних результатів слід вважати наступне:

- 1) отримані узагальнені аналітичні положення та рекомендації і методика розрахунку елементів конструкцій з клеєної деревини підсиленої композитними стрічками;
- 2) проведено аналіз та виявлено нові закономірності зміни напружено-деформованого стану балочних та рамних конструкцій з клеєної деревини підсилених композитними стрічками

Удосконалено:

- 3) послідовність виконання підсилення конструкцій з застосування композитних стрічок на основі вуглецевих волокон виробництва компанії Sika;

4) методику створення розрахункових моделей методом скінчених елементів в програмному комплексі ЛІРА-САПР конструкцій з клеєної та перехресно-клеєної деревини підсилених композитними стрічками, що працюють за балочною схемою.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що розроблена методика розрахунку елементів конструкцій з клеєної деревини підсиленої композитними стрічками, і розроблено методику створення розрахункової моделі конструкцій з клеєної деревини та панелей з ПКД підсилених композитними стрічками у програмному комплексі ЛІРА-САПР, а також розроблено послідовність проведення підсилення конструкцій з клеєної деревини композитними стрічкам.

Оцінка наукових публікацій

За результатами досліджень опубліковано 6 наукових праць, у тому числі: 5 статей у наукових фахових виданнях України категорії «Б»; 2 – у наукових фахових виданнях України категорії «А», яке цитується у реферативній базі Web of Science; 4 тези наукових доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій; отримано 3 патенти на корисну модель за темою дисертаційної роботи.

Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення

Дисертація складається зі переліку прийнятих скорочень та позначень вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 188 сторінок, у тому числі основна частина складає 149 сторінки, список використаних джерел – 12 сторінок, додатки – 10 сторінок. Основна частина, крім тексту, включає таблиці, рисунки та формули.

Дисертаційна робота написана українською мовою з використанням технічно грамотної сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу дисертації є логічним, а також відповідає вимогам до наукових праць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні завдання, предмет та об'єкт дослідження, відображено наукову новизну й практичне значення одержаних результатів.

У **першому розділі** представлений огляд сучасного стану досліджень армованих дерев'яних конструкцій. З наведеного огляду існуючих публікацій було зроблено висновок, що питання несучої здатності та деформативності дерев'яних балочних елементів, підсилених композитним зовнішнім

армуванням, вивчено недостатньо, що зумовлює необхідність даного дослідження і розробки та впровадження практичної інженерної методики їх розрахунку.

У другому розділі наведено порівняльний аналіз чисельних досліджень напружено-деформованого стану в програмному комплексі (ПК) ЛІРА-САПР методом скінченних елементів (СЕ) для конструкцій з клеєної та перехресно-клеєної деревини підсилених композитними стрічками. Визначено відсоткові співвідношення по деформативності та зміні величин нормальних напружень для підсилених та не підсилених балок композитними стрічками, а також зміна деформативності розтягнутої зони рам з клеєної деревини та відповідна зміна нормальних напружень. Аналіз деформативності плити з перехресно-клеєної деревини (ПКД) підсилених композитними стрічками показав, що вертикальні деформації в середньому на 20% менші та на 32% менші нормальні напруження від аналогічних плит з ПКД не підсилених композитними стрічками. Важливо зазначено, що потребує окремого вивчення підбір універсального методу чисельного моделювання конструкцій з клеєної та перехресно-клеєної деревини у вітчизняних програмних комплексах.

У третьому розділі наведені експериментальні дослідження зразків балок з клеєної деревини підсилених композитними стрічками з використанням електротензометрії та наведено алгоритм проведення експериментальних досліджень таких балок. Визначено послідовність виконання підсилення балок з клеєної деревини композитними стрічками Sika CarboDur S512. Встановлено, що підсилення експериментального зразка шляхом наклеювання на розтягнуту зону композитних стрічок, зменшує вертикальні деформації на величину до 13%, а руйнування зразка підсиленого композитними стрічками відбулось при значенні, яке є на 63% більшим за граничне максимальне розрахункове навантаження. В балках з клеєної деревини та в балках з клеєної деревини підсилених композитними стрічками встановлено, що максимальні повздовжні напруження в підсилених балках зменшились до 42%, максимальні дотичні напруження збільшились в підсилених балках до 57%, а дотичні напруження збільшились в деяких перерізах до 79%.

У четвертому розділі наведені результати проведеного аналізу чисельного моделювання, з метою визначення напружень в перерізах, визначенні вертикальних деформацій та порівняння отриманих результатів, з натурними експериментальними статичними випробуваннями у лабораторії.

За результатами моделювання експериментального зразка в середовищі ПК ЛПА-САПР вертикальні деформації в зразках підсилених композитними стрічками зменшились на величину до 17%, а результати підсилення експериментального зразка показують, що вертикальні деформації зменшуються на величину до 13%. Таке незначне відхилення чисельних даних від експериментальних дає змогу використовувати застосовані передумови моделей для інших балок підсилених композитними стрічками у розтягнутій зоні. Відмінності в кількісних значеннях поперечних та дотичних напружень пояснюються особливостями будови деревини та наявністю факторів, які можуть суттєво впливати на її напружено-деформований стан і як наслідок міцність в цілому. Руйнування експериментального зразка підсиленого композитними стрічками, відбулось в зоні концентрації нормальних напружень вздовж волокон, поперек волокон та дотичних напружень, що доводить необхідність проведення додаткових розрахунків за умовами міцності при складному напруженому стані.

Проведені дослідження дозволили автору дисертації розробити інженерну методику розрахунку елементів з клеєної деревини, підсилених (армованих) композитними стрічками. Загальні формули для розрахунку елементів дерев'яних конструкцій за граничними станами несучої здатності, які містяться в ДБН В.2.6-161:2017 можуть використовуватись з приведеними характеристиками до зовнішніх дошок елементів, та перевірок зон концентрації комбінації нормальних вздовж волокон та дотичних напружень за умовами міцності при складному напруженому стані (СНС).

До основних здобутків слід віднести:

- проведено аналіз існуючих методик розрахунку елементів конструкцій з клеєної та перехресно-клеєної деревини підсилених композитними матеріалами;
- досліджено дійсний напружено–деформований стан конструкцій з клеєної та перехресно-клеєної деревини підсилених композитними стрічками за допомогою комп'ютерного моделювання з застосуванням методу скінчених елементів в програмному комплексі;
- проведено експериментальне дослідження напружено-деформованого стану балок з клеєної деревини підсилених композитними стрічками;
- удосконалено методики розрахунку елементів з клеєної деревини та перехресно-клеєної деревини підсилених композитними стрічками;

- надано рекомендації, щодо алгоритмів виробництва конструкцій з клеєної та перехресно-клеєної деревини композитними стрічками;

ЗАУВАЖЕННЯ ПО РОБОТІ

1. Перший розділ дисертації має огляд сучасного стану питання щодо підсилень балок композитними стрічками, але бажано було б зробити класифікацію підсилень (підсилення вузлів, елементів конструкцій, опорних зон, перфорацій і т.д.) для підвищення значущості композитних стрічок у галузі дерев'яних конструкцій і що дослідження автора закриває існуючу прогалину чи уточнює дані або параметри яких бракує.
2. У другому розділі при моделюванні підсилених балок композитна стрічка *Sika CarboDur S1012* змодельована плоскими СЕ №44, а при моделюванні підсилень карнизних вузлів рам моделювались стержневими скінченними елементами СЕ №10 композитними стрічками *Sika CarboDur S1512*, а при моделюванні. У моделях підсилених ПКД панелей композитна стрічка *Sika CarboDur S1012* змодельована взагалі об'ємними СЕ №36. Не зрозуміло чим обґрунтовано такий вибір моделювання стрічок при тому що вони мають різне маркування від виробника але однаковий модуль пружності вздовж волокон $E_1 = E_{0,mean} = 170\ 000\ \text{МПа}$?
3. На рис. 2.26 показано влаштування підсилення з наклеюванням на верхню та нижню грані композитних стрічок *Sika CarboDur*, але розтяг при рівномірно навантаженій рамі виникає лише на зовнішній розтягнутій грані. Навіщо виконувалось армування нижньої грані та як це вплинуло на отримані результати?
4. З тексту дисертації та рис. 2.33 і 2.36 відсутня інформація щодо довжини підсилених композитних стрічок вздовж ригеля та стійки відносно карнизного вузла рами по зовнішній грані.
5. При моделюванні плит з ПКД різних товщин та з різною кількістю шарів дошок, які були підсилені композитними стрічками, при аналізі деформацій не враховані деформації зсуву поперечних шарів дошок, яка є складовою вертикальної деформації особливо для панелей спертих на дві опори.
6. У розділі 3 вказано про покроковий характер навантаження зразків при згині і відсутнє обґрунтування такого підходу, хоча згідно до стандарту ДСТУ EN408:2007 «Визначення деяких фізичних та механічних властивостей» важливий час від початку навантаження до руйнування зразка який має бути в інтервалі від $300 \pm 120\ \text{с}$.
7. Вираз (3.3) дозволяє визначити міцність зразка при згині і є не характеристичним значенням міцності, а міцністю при короткочасних

- статичних випробовуваннях або тимчасова міцність. Для переходу від отриманих експериментальних даних до характеристичної міцності слід використовувати формули надані у стандарті ДСТУ EN14358:2022 «Розрахунок та перевірка характеристичних значень», де враховується кількість зразків, середнє значення вибірки, стандартне відхилення, і т.д.
8. Значна розбіжність між експериментальними та теоретичними даними у таблиці 3.3 обумовлена співставленням тимчасової міцності та характеристичної.
 9. Відсутні фотографії та схеми зруйнованих зразків балок підсиленних композитними стрічками, їх кількість та інформація щодо характеру руйнування балок. Не зрозуміло, чи відбувався розрив стрічок або їх відклеювання хоча б в деяких балках?
 10. Влаштування біля опорних зон балок підсилень по контуру балки (рис. 3.23) є досить складним з практичної сторони при реконструкціях бо необхідно звільнення балки від суміжних конструктивних елементів каркасу будівлі. Якщо можливо балку відокремити, простіше виконати її заміну ніж підсилення стрічками. Чи вірно таке припущення?
 11. Не зрозуміло яким чином та де виникають напруження розтягу поперек волокон у прямолінійному згинальному елементі, які враховуються при розгляді складного напруженого стану? Як правило розтяг поперек волокон виникає у загнутих криволінійних елементах чи при наявності послаблень перерізу у вигляді підрізків на опорах або перфорація балок.

Проте, зазначені зауваження не зменшують загального позитивного враження від представленої дисертації, вони мають переважно філософський та дискусійний характер. Отримані здобувачем результати не викликають сумніву, є науково обґрунтованими, мають наукову новизну і практичне значення. В цілому робота заслуговує позитивної оцінки.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії....»

Дисертація Комара Миколи Антоновича «Конструкції з клеєної та перехресно-клеєної деревини підсилені композитними стрічками» відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», зокрема пп. 5,6,7,8,9. Дисертація виконана з дотриманням правил академічної доброчесності. Є самостійно, завершеною науковою роботою. Отримані результати свідчать про значний внесок автора у науку.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Дисертаційне дослідження Комара Миколи Антоновича «Конструкції з клеєної та перехресно-клеєної деревини підсилені композитними стрічками», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, є завершеною, самостійно виконаною науковою працею, яка повністю відображає основні теоретичні та практичні положення роботи, а також відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженому постановою Кабінетів Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44, та напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КНУБА з вищезазначеної спеціальності, а її автор Комар Микола Антонович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, доцент
кафедри будівельного проєктування
Харківського національного університету
міського господарства ім. О.М. Бекетова



Андрій БІДАКОВ