

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Распопов Євгеній Анатолійович

на тему: «Міцність та деформативність вузлового з'єднання на вклеєних стержнях в елементах із бруса з клеєного шпону»

представленої до спеціалізованої вченої ради Д 44.052.02

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність теми дисертації. Будівельні конструкції з матеріалів на основі деревини, в тому числі і клеєного шпону, набувають все більшого розповсюдження в усьому світі. Світовий досвід проектування та експлуатації конструкцій з цих матеріалів різноманітного функціонального призначення підтверджує доцільність їх використання. Брус із клеєного шпону (БКШ) відомий досить давно в усьому світі під назвою LVL (англ. Laminated Veneer Lumber). Завдяки своїм якостям, зокрема високим показникам міцності та модулів пружності, брус із клеєного шпону набуває все більшої популярності при зведенні прольотних та каркасних будинків.

Здебільшого, для конструкцій з БКШ застосовують традиційні види нагельних з'єднань, у тому числі і за допомогою спеціальних деталей. Питання ж впровадження для з'єднання конструкцій з БКШ вклеєних стержнів досі залишається відкритим і фактично не дослідженим.

Ця дисертація як раз і присвячена вивченню роботи вклеєних стрижнів у з'єднаннях елементів з брусів із клеєного шпону. Питання пружних характеристик і міцності БКШ розглядаються в даній роботі разом з аналізом міцності з'єднань на вклеєних стрижнях, що робить отримані результати вкрай актуальними і необхідними при проектуванні унікальних будівель і споруд, які потребують детального аналізу міцності і деформативності елементів конструкцій з БКШ.

Слід відмітити слова професора В. Єрмоліна, який вважає, що за показником споживання продукції з деревини на душу населення можна судити про рівень цивілізованості країни.

Таким чином тема дисертаційної роботи, націлена на розв'язання відмічених задач та проблем, є надзвичайно актуальною і дозволить зробити ще один суттєвий крок до масового впровадження в Україні будівництва споруд різноманітного призначення з застосуванням бруса з клеєного шпону.

Структура і зміст роботи. Дисертація складається із анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і двох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 160 сторінок, у тому числі 140 сторінок основного тексту, 63 рисунки, 7 таблиць, 15 сторінок списку використаних джерел з 136 найменувань та 5 сторінок додатків.

Публікації. Результати отриманих досліджень опубліковані у 16 наукових працях, серед них: 8 наукових публікацій у фахових виданнях, включених до переліку МОН України, 4 публікації в іноземних виданнях та виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз, 4 публікації в інших виданнях.

Щодо основного змісту роботи.

У вступі обґрунтована актуальність роботи, викладені наукова новизна, практична цінність та сформульовано мету і задачі дослідження, наведені основні отримані наукові результати та показане їх практичне значення.

В першому розділі зроблено огляд літературних джерел щодо сучасного стану питання дерев'яних конструкцій на основі шпону та з'єднань на клеєних стержнях. Розглянуто особливості проектування та розрахунку з'єднань на клеєних стержнях з урахуванням багаторічної практики їх використання у різних країнах в елементах конструкцій з цільної та клеєної деревини, а також проведено огляд та аналіз існуючих методів випробувань клеєних стержнів на висмикування.

За проведеним аналізом робіт присвячених вивченню впровадження в будівництво конструкцій з брусів із клеєного шпону та з'єднань на клеєних стержнях, виявлено задачі, які потребують подальшого дослідження та вирішення, а саме: експериментальне дослідження одиночних клеєних стержнів у бруси з клеєного шпону при осьовому висмикуванні при різному розміщенні стержнів у поперечному перерізі та розробка методики їх розрахунку; на підставі аналізу експериментальних даних та чисельних досліджень розробити рекомендації щодо конструювання з'єднань брусу з клеєного шпону на клеєних стержнях.

У **другому розділі** розглядаються теоретичні передумови розрахункових моделей бруса з клеєного шпону. Наведено загальні положення анізотропних властивостей деревини і шаруватих матеріалів на її основі. Обґрунтовано, що брус з клеєного шпону, завдяки тому, що волокна в суміжних шарах шпону мають паралельне або ортогональне розташування, може бути віднесений до ортотропних матеріалів.

Доведена справедливність розробленої проф. Е. Серрано нової моделі щодо аналізу клейового з'єднання як контакту, яка об'єднана з моделлю пластичності для матеріалу клею і є актуальною для врахування особливостей роботи клейового шару в з'єднаннях на вклеєних стержнях. Роботу клейового шва для вклеєних стержнів, де товщина клейового шару сягає 3 мм, слід розглядати з урахуванням теорії пластичності малих деформацій з розподілом загальної деформації на пружну та пластичну.

Третій розділ роботи присвячений експериментальним випробуванням зразків бруса з клеєного шпону і вклеєних стержнів та обробці результатів. В ньому викладена методика проведення експериментальних досліджень зразків бруса з клеєного шпону та вклеєних стержнів на висмикування. Описані проведені експериментальні дослідження міцності бруса з клеєного шпону виробництва Ultralam на стиск під різними кутами та на сколювання, представлено результати та їх аналіз. Наведено результати та проведено їх аналіз експериментальних випробувань балок з клеєного шпону із з'єднанням на вклеєних стержнях.

Для виконання випробувань бруса з клеєного шпону на стиск під різними кутами були обрані зразки кубічної форми розміром 75x75x75мм. Слід особливо відмітити, що при випробуваннях односпрямованого бруса з клеєного шпону при стисненні під кутами спостерігалось зниження показників міцності під кутом 30° у порівнянні з міцністю під кутом 45°, що не характерно для клеєної і цільної деревини.

Випробування на висмикування вклеєних стержнів виконувалися із зразків бруса з односпрямованим шпоном марки Ultralam типу R. Переріз зразків становив 75×75 мм, а довжина 500 мм. Глибина клейки стержнів прийнята 180 мм з величиною отворів 18 мм. Діаметр одиночних вклеєних стержнів прийнято 14 мм, а діаметр стержнів, встановлених попарно в кожному торці, - 16 мм. Клас міцності сталі сталевих шпильок 5.8. Для

вклейки стержнів використовувався двокомпонентний епоксидний клей на базі смоли ЕД-20.

У рамках випробувань також проводилися випробування на сколювання зразків торгівельної марки Ultralam тип R з односпрямованим розташуванням шпону деревини хвойних порід, що обумовлено механізмом руйнування з'єднань на клеєних стержнях, а саме висмикуванням стержнів внаслідок сколювання деревини навколо стержня.

Також проведено випробування вузлового з'єднання на клеєних стержнях з металевою вставкою, встановленого в середині балки з бруса із клеєного шпону.

За результатами проведених досліджень встановлено, що міцність на сколювання по грані вздовж волокон (поперек шарів шпону) більше, ніж по пласті, приблизно на 30%, і, відповідно, лінія руйнування вздовж шпонових шарів у поперечному перерізі бруса більш розвинена й утворює витягнуту частину овалу області сколювання деревини. Цей ефект дозволяє знизити відстань між стержнями в напрямку, поперечному розташуванню шарів шпону поперечного перерізу бруса, що дозволить збільшити несучу здатність вузлового з'єднання.

У четвертому розділі для порівняльної оцінки отриманих експериментальним шляхом показників міцності з'єднання і результатів розрахунку використовувався метод скінчених елементів, реалізований в програмному комплексі ANSYS. Для моделювання були прийняті фізико-механічні характеристики, ідентичні випробувальним зразкам. За результатами комп'ютерного моделювання одержані результати, які мають розбіжність з експериментальними даними, близько 30%.

П'ятий розділ присвячено розробці практичної методики розрахунку міцності клеєних стержнів на висмикування при осьовому навантаженні вздовж волокон, що встановлюються в брус із клеєного шпону, та розробці практичних рекомендацій щодо конструювання вузлів конструкцій з клеєного шпону на клеєних стержнях.

Також у п'ятому розділі запропоноване конструктивне підсилення з'єднання на клеєних стержнях поперечно вкрученими гвинтами. Такий конструктивний прийом дозволить уникнути розколювання торців, яке спостерігається при роботі клеєних стержнів на висмикування. Встановлені

гвинти збільшують показники міцності з'єднань на вклеєних стержнях і дозволяють досягти в'язкого характеру руйнування.

Встановлено, що: мінімальні відстані між осями вклеєних стержнів вздовж волокон мають бути не менше 4d і поперек волокон не менше 3d.

У загальних висновках сформульовано основні результати, отримані при вирішенні наукових задач даної дисертаційної роботи.

Список використаних джерел включає 136 позицій, у тому числі 86 робіт іноземних авторів.

В додатках наведено: підтвердження про використання ліцензійного розрахункового комплексу ANSYS, акти впровадження; список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів.

Зауваження по роботі:

1. Незрозуміло, чим пояснюється обраний для експериментальних досліджень на стиск під різними кутами розмір зразків брусу з клеєного шпону. Він відрізняється від запропонованих розмірів стандартних зразків за вітчизняними й іноземними нормативними документами.
2. У розділі 3 одним з етапів статичного випробування зразків визначено «пробне випробування З доведенням до руйнування з метою оцінки їх несучої здатності ...». В контексті проведених досліджень застосовувати поняття «несучої здатності» не зовсім коректно.
3. З тексту третього розділу, в частині опису експериментальних даних відсутня інформація щодо вологості зразків та вологісного і температурного режиму, при якому проводились дослідження, що є дуже важливим фактором.
4. У формулі 3.1 наведено поправочний коефіцієнт для переходу до показників при вологості в 12%, прийнятий однаковим як для цільної деревини сосни. Даний коефіцієнт потребує уточнення для клеєного шпону.
5. Опис проведених досліджень слід доповнити інформацією, під якими саме кутами до напрямку волокон проводились дослідження. Проведені дослідження було б непогано доповнити даними щодо кутів в 15 і 75 градусів.

6. Третій розділ дисертації бажано доповнити результатами всіх проведених випробувань, хоча б у вигляді таблиць чи графіків, більш детальні результати було б гарно висвітлити в додатку до дисертації.
7. З тексту третього розділу не зрозуміло, чи відбувалась витримка зразків під навантаженням і на який час, через необхідність врахування реологічних властивостей і релаксацію напружень.
8. Випробування вклеєних стержнів стосувались стержнів лише класу міцності 5.8. З тексту дисертації не розуміло, чим обумовлено вибір саме такого класу міцності і чи можна в якості вклеєних стержнів застосовувати гладку сталь чи арматурний прокат.
9. Експериментальні дослідження вклеєних стержнів на висмикування стосувалися здебільшого одиночних стержнів: при практичному застосуванні скоріше за все будуть застосовуватися з'єднання з більшою кількістю вклеєних стержнів, що може суттєво впливати на роботу з'єднання.
10. У четвертому розділі містяться результати чисельного моделювання експериментальних зразків. Представлені результати деформацій в абсолютних величинах: більш коректним було б порівняння відносних деформацій.
11. Четвертий розділ було б цікаво доповнити аналізом напруженого стану.
12. Експериментально досліджувались вклеєні стержні середніх діаметрів (10-14 мм). Таким чином, наведені висновки потребують уточнення в діапазоні застосування діаметрів вклеєних стержнів.
13. Розроблена методика розрахунку міцності вклеєних стержнів на висмикування при осьовому навантаженні у поперечному перерізі бруса з клеєного шпону потребує уточнення при застосуванні групи стержнів, переході на інші діаметри та класи міцності стержнів, а також класи міцності самого бруса з клеєного шпону.
14. Наведені мінімальні відстані між вклеєними стержнями для конструювання в з'єднанні потребують додаткового обґрунтування і досліджень.
15. Дисертацію бажано було б доповнити порівнянням одержаних результатів з результатами, одержаними іншими дослідниками (Alam, P., M. Ansell, and D. Smedley, Ali Abdul Jabbar Karim, Johan Lessner, Mehrdad Moridnejad), на які є посилання в роботі, для інших виробників бруса з клеєного шпону, таких як Kerto, CHH hySPAN, Nelson Pine тощо.

16. Загальні висновки і висновки по розділам потребують більшої конкретизації згідно з проведеними науковими дослідженнями.

17. Також є ряд зауважень редакційного та методологічного характеру, про що було вказано автору при особистій зустрічі.

Висловлені зауваження відносяться до окремих фрагментів досліджень і не є принциповими, тому не знижують як теоретичного, так і практичного значення роботи і в цілому позитивної оцінки дисертаційної роботи Распопова Є.А.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації. В роботі виконано значний обсяг експериментальних досліджень зразків вклеєних стержнів в брус з клеєного шпону. В експериментальних дослідженнях використані традиційні методи дослідження напружено-деформованого стану з використанням індикаторів, прогиномірів, тензодатчиків в атестованій науково-дослідній лабораторії. Для чисельних досліджень застосовано метод скінчених елементів, реалізований в програмному комплексі «ANSYS». Порівняння теоретичних результатів розрахунків, виконаних за методиками автора дисертації та чисельних досліджень методом скінчених елементів, з експериментальними даними свідчить про їх гарну збіжність.

Основні наукові положення і висновки дисертації апробовані і пройшли обговорення на п'яти міжнародних наукових конференціях.

Наукову новизну в роботі становлять:

- експериментально отримані дані пружних і міцнісних характеристик бруса з клеєного шпону при стиску під різними кутами до волокон;
- експериментально отримані результати про зміну величини міцності при сколюванні в залежності від розмірів зразків бруса з клеєного шпону деревини хвойних порід;
- експериментально отримані дані про роботу вклеєних стрижнів, що встановлені в брус з клеєного шпону вздовж волокон;
- експериментально отримані нові дані про роботу з'єднань бруса з клеєного шпону на вклеєних стрижнях з металевою вставкою;
- розроблені рекомендації проектних гвинтових підсилень у поперечному напрямку відносно осі вклеєного стержня;

– удосконалено методика розрахунку міцності вклеєних стержнів на висмикування з урахуванням особливостей структури та міцності бруса з клеєного шпону.

Практичне та наукове значення роботи.

Основні наукові результати роботи: Визначені пружні характеристики, що отримані при випробуваннях зразків бруса з клеєного шпону при стиску під різними кутами, дозволяють точно визначити анізотропні властивості матеріалу, що необхідні при моделюванні і розрахунку вузлових з'єднань. Розроблено технічні рекомендації щодо розрахунку та конструювання з'єднань брусів з клеєного шпону на вклеєних стержнях, встановлених вздовж волокон, з урахуванням міцності на сколювання зразків різних розмірів і запропоновано методи виконання проектних гвинтових підсилень таких з'єднань. Розроблено та запропоновано універсальне вузлове з'єднання брусів з клеєного шпону на вклеєних стрижнях з металевою вставкою.

На основі виконаних досліджень вузлового з'єднання на вклеєних стержнях в елементах із бруса з клеєного шпону при експериментальних випробуваннях та при аналітичних чисельних розрахунках, виведені формули розрахунку несучої здатності, сформульовані конструктивні вимоги конструювання геометрії вузла, які можуть використовуватись при проектуванні будівельних конструкцій.

Результати дисертаційної роботи впроваджено компанією ТОВ «KAPSTORY Group» (м. Харків) та Державним науково-дослідним та проектно-вишукувальним інститутом «НДІПРОЕКТРЕКОНСТРУКЦІЯ», Рівненська філія та використовуються в навчальному процесі Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова при викладанні курсу «Дерев'яні конструкції», а також при підготовці здобувачів освітніх рівнів бакалавра та магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» при викладанні спеціальних курсів «Конструкції з дерева та пластмас» та «Сучасні архітектурно-конструктивні рішення будівель і споруд».

Отримані автором наукові та практичні результати досліджень рекомендовано використовувати: науково-дослідними проектними інститутами та спеціалізованими організаціями при розробці проектів будівель різноманітного призначення із застосуванням бруса з клеєного шпону; вищими навчальними закладами будівельного напрямку при впровадженні у навчальний процес спецкурсів зі спеціальних будівельних

конструкцій та споруд для студентів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Особистий внесок здобувача. В дисертаційній роботі результати наукових досліджень, аналітичні залежності та чисельні моделі, результати експериментальних досліджень і практичні результати отримані автором самостійно та виносяться до захисту вперше. Здобувачеві належить: програма, конструкція та методики проведення експериментальних досліджень роботи вклеєних стержнів у брусі з клеєного шпону; розроблена методика розрахунку міцності вклеєних стержнів у брусі з клеєного шпону встановлених вздовж волокон; розроблена методика підвищення міцності вклеєних стержнів у брусі з клеєного шпону шляхом установки гвинтів; розроблені рекомендації щодо правил конструювання вузлів на вклеєних стержнях у балках з клеєного шпону на основі аналізу характеру руйнування при випробуваннях.

Повнота відображення наукових положень в опублікованих роботах. Основні положення дисертації в достатньому обсязі викладені у 16 наукових працях, серед них: 8 наукових публікацій у фахових виданнях, включених до переліку МОН України, 4 публікації в іноземних виданнях та у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз, 4 публікації - в інших виданнях.

В публікаціях у співавторстві здобувачеві належать: розроблена програма, конструкція та методики проведення експериментальних досліджень роботи вклеєних стержнів у брусі з клеєного шпону, обробка та узагальнення результатів досліджень; моделювання й аналіз напружено-деформованого стану балок з клеєного шпону з металевою вставкою; запропоновані залежності для перевірки та уточнення експериментальних даних роботи вклеєних стержнів в брусі з клеєного шпону; запропоновані мінімальні відстані між вклеєними стержнями та кромками поперечного перерізу балок з клеєного шпону; вдосконалення методики розрахунку міцності вклеєних стержнів у брусі з клеєного шпону, встановлених уздовж волокон; розроблена методика підвищення міцності вклеєних стержнів в брусі з клеєного шпону шляхом установки гвинтів.

В авторефераті дисертації достатньо повно викладені основні положення та результати роботи, які є ідентичними змісту дисертації.

Текст і графічні матеріали дисертації та автореферату оформлені відповідно до вимог, що пред'являються до дисертацій Міністерством освіти і науки України.

Висновки про відповідність роботи вимогам Міністерства освіти і науки України.

Дисертаційна робота **Распопова Євгенія Анатолійовича** на тему: «Міцність та деформативність вузлового з'єднання на вклеєних стержнях в елементах із брусу з клесного шпону» є завершеною науковою працею, в ній отримані достатньо теоретично обґрунтовані і експериментально підтверджені нові наукові результати, вона має теоретичне та практичне значення і відповідає вимогам пунктів 9, 11, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 656 від 19.08.2015р., № 1159 від 30.12.2015р., № 567 від 27.07.2016р., № 943 від 20.11.2019р., № 607 від 15.07.2020р.

Автор дисертації **Распопов Євгеній Анатолійович** заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри металевих
та дерев'яних конструкцій
Київського національного університету
будівництва і архітектури

 Д.В. Михайловський

Підпис засвідчую:

Вчений секретар Київського
національного університету
будівництва і архітектури,
кандидат технічних наук, доцент



 О.С. Петренко