

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

РАСПОПОВ ЄВГЕНІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ



УДК 624.011

**МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ВУЗЛОВОГО З'ЄДНАННЯ НА
ВКЛЕЄНИХ СТЕРЖНЯХ В ЕЛЕМЕНТАХ ІЗ БРУСУ З КЛЕЄНОГО ШПОНУ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Полтава – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті міського господарства ім. О.М. Бекетова (м. Харків) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук
Бідаков Андрій Миколайович,
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри будівельних конструкцій;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Михайловський Денис Віталійович, Київський національний університет будівництва і архітектури, професор кафедри металевих та дерев'яних конструкцій (м. Київ);

кандидат технічних наук, доцент
Іванюк Андрій Миколайович,
Національний університет водного господарства та природокористування, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд (м. Рівне);

Захист відбудеться «28» вересня 2021 р., о 13 год. 30 хв., на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 44.052.02 при Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за адресою: 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, ауд. 218.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за адресою: 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24.

Автореферат розісланий «26» серпня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 44.052.02



Т.А. Галінська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розробка нових матеріалів на основі деревини з характеристиками міцності і пружними характеристиками, які значно перевищують показники цільної деревини при мінімальних технологічних витратах, а також знижують кількість відходів при виробництві будівельних конструкцій, є пріоритетним завданням на сучасному етапі розвитку. Дерев'яні матеріали на основі шпону відомі з початку ХХ століття у вигляді фанери і активно застосовуються в різних технічних і побутових сферах діяльності людини.

Будівельне виробництво близько 20 років тому отримало шпоновий брус (ШБ) або LVL брус як новий дерев'яний матеріал на основі шпону з високими показниками міцності і жорсткості, який використовується при будівництві каркасів будівель різної поверховості. Покращені механічні характеристики LVL бруса вимагають розробки нових видів з'єднань конструкцій і удосконалення існуючих з'єднань з урахуванням специфіки матеріалу. Тому завдання дисертаційної роботи спрямовані на вирішення питань міцності вклеєних стержнів і правил їх розміщення з урахуванням міцності і пружних характеристик LVL бруса, встановлених експериментальними лабораторними дослідженнями для конкретного його типу з відповідним характером розташування шпону. Існує необхідність дослідження пружних характеристик і міцності LVL бруса при різних видах напруженого стану, результати яких потрібні при вирішенні ряду задач конструювання вузлових з'єднань та розрахунку їх міцності із застосуванням розрахункових програмних комплексів. Питання пружних характеристик і міцності LVL бруса розглядаються в даній роботі разом з аналізом міцності з'єднань на вклеєних стержнях, що робить отримані результати вкрай актуальними і необхідними при проектуванні унікальних будівель і споруд, які потребують детального аналізу міцності і деформативності елементів конструкцій з LVL бруса, а також поведінки їх вузлових з'єднань.

Викладене вище засвідчує необхідність вирішення актуальної наукової **задачі** визначення міцності і правил розстановки вклеєних стержнів вздовж волокон у вузлових з'єднаннях LVL бруса з урахуванням його міцності і пружних характеристик.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає напрямам науково-технічної політики держави в галузі впровадження нормативних документів, гармонізованих із європейськими стандартами згідно з постановами та розпорядженнями Кабінету Міністрів України від 23 травня 2011 № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу».

Дисертаційні дослідження виконані в рамках держбюджетної роботи ХНУБА на тему: «Дослідження роботи вклеєних стрижнів у LVL» (державний реєстраційний номер 0117U003202).

Метою роботи є розробка методики розрахунку міцності вклеєних стержнів та правила їх розташування у вузловому з'єднанні з металевою вставкою, з урахуванням міцності та пружних характеристик LVL бруса з односпрямованим шпоном.

Задачі досліджень:

- встановити міцність та пружні характеристики LVL бруса з односпрямованим шпоном при стиску під різними кутами нахилу волокон;
- встановити міцність LVL бруса при сколюванні по грані вздовж волокон;
- експериментально дослідити міцність вклеєних стержнів при висмикуванні, які розташовані в LVL брусі вздовж волокон;
- експериментально дослідити міцність вузлового з'єднання типу «металева вставка» з використанням вклеєних стержнів;
- розробити методику розрахунку міцності вклеєних стержнів та рекомендації по конструюванню вузлових з'єднань LVL бруса;
- розробити методи підсилення з'єднань на вклеєних стержнях у LVL брусі, які перешкоджають крихкому руйнуванню та підвищують несучу здатність з'єднань.

Об'єкт дослідження – робота та поведінка вузлового з'єднання на вклеєних стержнях в елементах із бруса з клеєного шпону.

Предмет дослідження – міцність вклеєних стержнів на висмикування та правила їх розташування вздовж волокон у вузлових з'єднаннях LVL бруса з урахуванням його міцності та пружних характеристик.

Методи дослідження – експериментальні методи дослідження міцності та деформативності дерев'яних конструкцій та їх вузлових з'єднань, а також методи математичної статистики обробки результатів експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження зразків елементів зі шпонового бруса у лабораторних умовах із застосуванням механічних та електротензометричних методів вимірювань деформацій матеріалів для визначення відносних деформацій при дослідженні параметрів напружено-деформованого стану. Загальні методи теоретичних та емпіричних досліджень: аналіз, синтез, абстрагування, індукція, дедукція. Перевірка окремих теоретичних положень експериментальними та теоретичними методами. Впровадження результатів досліджень у практику будівництва.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- отримані експериментальні дані пружних і міцнісних характеристик LVL бруса при стисненні під різними кутами;
- отримані результати про зміну величини міцності при сколюванні в залежності від розмірів зразків LVL бруса з шпону деревини хвойних порід;
- отримані нові експериментальні дані про роботу вклеєних стрижнів, що встановлені в LVL брус вздовж волокон зі зменшеними параметрами відстаней між стержнями;

– отримані нові експериментальні дані про роботу з'єднань LVL бруса на вклеєних стержнях з металевою вставкою, які дозволяють створювати складні великопрольотні стержневі конструкції.

Розроблено:

– розроблені рекомендації проектних гвинтових підсилень в поперечному напрямку відносно осі вклеєного стержня.

Вдосконалено:

– методику розрахунку міцності вклеєних стержнів на висмикування з урахуванням особливостей структури та міцності ШБ, що значно відрізняється від клеєної та цільної деревини.

Достовірність та обґрунтованість результатів роботи підтверджена: експериментальними дослідженнями вітчизняних та зарубіжних авторів, даними чисельного моделювання роботи елементів та конструкцій, а також сучасними методами математичної статистики; використанням фізично обґрунтованих передумов, для описання аналітичних залежностей, які приймалися на основі експериментально підтверджених гіпотез; перевіркою збіжності отриманих теоретичних результатів з даними експериментальних досліджень різних авторів.

Практичне значення одержаних результатів роботи. Визначені пружні характеристики, що отримані при випробуванні зразків ЛВЛ при стисненні під різними кутами, які дозволяють точно визначити анізотропні властивості матеріалу, що необхідні при моделюванні і розрахунку вузлових з'єднань. Розроблено технічні рекомендації та проектні пропозиції щодо розрахунку та конструювання з'єднань LVL бруса на вклеєних стержнях, встановлених уздовж волокон з урахуванням міцності на сколювання зразків різних розмірів і запропоновано методи виконання проектних гвинтових підсилень. Розроблено та запропоновано універсальне вузлове з'єднання на вклеєних стержнях з металевою вставкою.

На основі виконаних досліджень вузлового з'єднання на вклеєних стержнях в елементах з LVL бруса при лабораторних випробуваннях та при аналітичних чисельних розрахунках, виведені формули розрахунку несучої здатності, сформульовані конструктивні вимоги конструювання геометрії вузла, які можуть з успіхом використовуватись при проектуванні будівельних конструкцій. Результати дисертаційної роботи впроваджено компанією ТОВ «KAPSTORY Group», м. Харків, а також впроваджені Державним науково-дослідним та проектно-вишукувальним інститутом «НДІ Проектреконструкція», Рівненська філія.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи отримані самостійно. У публікаціях у співавторстві здобувачеві належить наступне:

– розроблено нове з'єднання елементів з LVL бруса на вклеєних стержнях з металевою вставкою [4, 15];

- виконано експериментальне дослідження пружних характеристик LVL бруса при стиску під різними кутами та міцності вклеєних стержнів при висмикуванні [1, 2, 5, 6, 9];
- виконано порівняльний аналіз експериментальних та аналітичних даних з розрахунків балок з металевою вставкою на вклеєних стержнях [5, 15];
- запропоновано правила конструювання вузлових з'єднань на вклеєних стержнях у елементах з LVL при встановленні стержнів вздовж волокон або мінімальні відстані між стержнями та до кромки поперечного перерізу [4 - 6];
- вдосконалення методів розрахунку міцності вклеєних стержнів в LVL брусі встановлених вздовж волокон [15];
- виконано експериментальне дослідження вклеєних стержнів у ПКД панелях та аналіз розрахунків їх міцності за різними методиками при згині [7-13, 16];
- розробка методів підвищення міцності вклеєних стержнів шляхом установки гвинтів [6].

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на таких конференціях: міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд» (м. Харків 2017 р.), на міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі» (м. Київ 2017 р.), міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі». Київ, КНУБА, 25-26 жовтня 2017; міжнародна конференція 1st Eastern Europe Conference on Timber Constructions. Kharkiv, 7-8 June, 2018; II Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі», Київ, 26-27 вересня 2018.

В повному обсязі дисертація доповідалась на розширеному семінарі Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова (червень 2020).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць, з них 9 статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 1 публікація у зарубіжному збірнику статей за матеріалами конференцій та періодичних виданнях, 4 публікацій у виданнях, які включено до міжнародних науково-метричних баз.

Об'єм роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та двох додатків. Дисертацію викладено на 160 сторінках, вона містить 140 сторінок основного тексту (в тому числі 7 таблиць, 63 рисунки), 136 найменувань літературних джерел (88 з них англійською мовою) на 15 сторінках та 2 додатків на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, її новизну та вказано на важливість питань, які потребують детального дослідження, практичну цінність роботи. Також представлено її загальну характеристику та рівень апробації.

У першому розділі наведено результати огляду літературних джерел присвячених питанням міцності нових будівельних матеріалів на основі деревини та вузлових з'єднаннях на клеєних стержнях. У цьому розділі відмічено, що питання міцності деревини та високоміцних матеріалів на її основі до яких відноситься шпоновий брус (ШБ) або ЛВЛ, а також міцність клеєного стержня на висмикування у елементах з деревини було досліджено низкою дослідників та науковцями, з яких слід виділити наступних: Турковський С.Б., Фурсов В.В., Кліменко В.З., Найчук А.Я., Михайловський Д.В., Щуко В.Ю., Смірнов П.М., Роціна С.І., Погарельцев О.О., Шмідт О.Б., Філімонов М.О., Serrano E., Stepinac M., Jockwer R., Buchanan A., Widmann R., Gehri E., Blass H.J., Meyer N., Azinovic B., Steiger R., Larsen H. та інші.

Завдяки широкому застосуванню деревних матеріалів при будівництві житлових і офісних будівель в країнах Західної Європи (Німеччина, Австрія, Швейцарія) багато відомих видів будівельних матеріалів отримали подальший свій розвиток у вигляді появи нових матеріалів з поліпшеними характеристиками міцності цих матеріалів. Перш за все, це поява балочної клеєної деревини, ПКД панелей і LVL бруса, в тому числі букового LVL. Останній в даний час все більше застосовується при проектуванні елементів конструкцій з великими навантаженнями або посиленні існуючих через високі значення міцності і жорсткості.

На основі здійсненого аналізу робіт та аналізу нових деревних матеріалів на основі шпону, таких як ЛВЛ брус, що має широке розповсюдження в сучасному будівництві різних багатопверхових каркасів, можна зробити висновок, що дослідження вузлових з'єднань LVL бруса є важливим і актуальним завданням; аналіз методів випробувань клеєних стержнів показує, що одновісне навантаження елемента із клеєними стержнями з двох сторін є уніфікованим методом випробувань, а для стержнів, встановлених поперек волокон, оскільки існують незначні відмінності в способах фіксації дерев'яного елемента; розглянуті існуючі методики розрахунку клеєних стержнів мають загальні параметри, що враховують діаметр стержня, його довжину і міцність деревини на сколювання, і незначні відмінності у вигляді редуційних коефіцієнтів для врахування низки неоднорідностей і можливих технологічних неточностей. Структурна неоднорідність LVL бруса створює різні величини міцності на сколювання уздовж волокон по пласті і по грані, що слід враховувати при аналізі характеру руйнування клеєних стержнів при їх висмикуванні.

Проведений аналіз літературних джерел дозволив сформулювати задачі про необхідність комплексних підходів при розгляді питань міцності клеєних стержнів у LVL брусі при висмикуванні та розробці вузлового з'єднання з металевою вставкою. Відповідно до проведеного огляду літературних джерел також були сформульовані основні задачі дослідження.

У другому розділі викладені досліджені передумови розглядання шпонового бруса LVL як ортотропного матеріалу з трьома вісями пружної симетрії матеріалу, звідки маємо закон Гука у вигляді:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E_x} (\sigma_x - \mu_{xy} \cdot \sigma_y), \quad (1)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G_{xy}} \cdot \tau_{xy}, \quad (2)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E_y} (\sigma_y - \mu_{yx} \cdot \sigma_x), \quad (3)$$

де E_x и E_y – модулі поздовжньої пружності відповідно в напрямку осей x та y ;

μ_{xy} и μ_{yx} – коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнти Пуассона);

G_{xy} – модуль зсуву в площині xOy .

В силу симетрії константи E_x , μ_{yx} и E_y , μ_{xy} пов'язані співвідношенням:

$$E_x \mu_{yx} = E_y \mu_{xy}, \quad (4)$$

Для ізотропного тіла пружні властивості визначаються трьома характеристиками: E , μ и G , з яких дві є незалежними, а складові напружень і деформацій віднесені до декартових осей координат x , y , z . Між цими характеристиками для ізотропних тіл існує зв'язок:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}; \quad (5)$$

або

$$G_{xy} = \frac{E_{xy}^{(45)}}{2(1 + \mu_{xy}^{(45)})}. \quad (6)$$

Для ортотропних тіл вираз (2.5) має наступний вигляд:

$$E_{xy}^{(45)} = G_{45} = \frac{E_0 E_{90}}{E_0(1 + \mu_{90}) + E_{90}(1 + \mu_0)}. \quad (7)$$

Особливістю анізотропних матеріалів, до яких відноситься LVL брус, є також геометрія деформацій, де напрямок найбільших подовжень при одновісному розтягуванні не завжди збігається з напрямком розтягуючого зусилля (рис. 1). Розтягуючі напруження, що діють не по осі симетрії, можуть викликати не тільки лінійні, але і кутові деформації, що призводить до відхилення напрямку найбільших подовжень від напрямку розтягування зразка.

Зображена на поверхні листа окружність ABCD після пружного розтягування в напрямку x / під кутом α до осі x приймає форму еліпса $A_1B_1C_1D_1$. Величина максимальної деформації ε_{\max} або деформації більшої осі еліпса визначається за формулами (8) та (9):

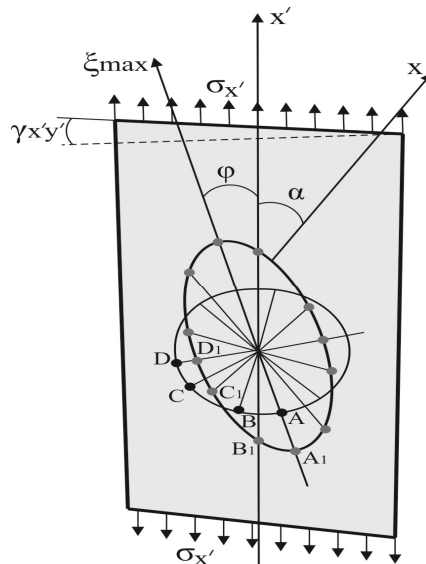


Рисунок 1 – Схематичне зображення еліпса деформацій круглого отвору при розтягуванні під кутом до волокон

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\varepsilon_{x'} + \varepsilon_{y'}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_{x'} - \varepsilon_{y'})^2 + \gamma_{x'y'}^2}, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\varepsilon_{x'}}{2} \left[1 - \mu_{x'y'} + \sqrt{(1 + \mu_{x'y'})^2 + \nu_{x',x'y'}^2} \right]. \quad (9)$$

Дерев'яні шаруваті пластики (ДСП), до яких відноситься LVL брус, представляють листовий матеріал, що складається з листів шпону, просочених синтетичною смолою резольного типу і склеєних між собою в процесі термічної обробки під тиском. Розрізняють такі марки в залежності від напрямку волокон деревини в суміжних шарах шпону ДСП: ДСП-А, ДСП-Б, ДСП-В і ДСП-Г, див. рис. 2, що змінює траєкторію розподілу деформації зазначену на рис. 1. Все ДСП, до яких відноситься LVL брус і фанера, де волокна в суміжних шарах шпону мають паралельне або ортогональне розташування, можуть бути віднесені до ортотропних матеріалів. У разі зірчастого розташування волокон в шарах шпону (ДСП-Г) розрахункова схема поперечної ізотропії краще відповідає дійсності.

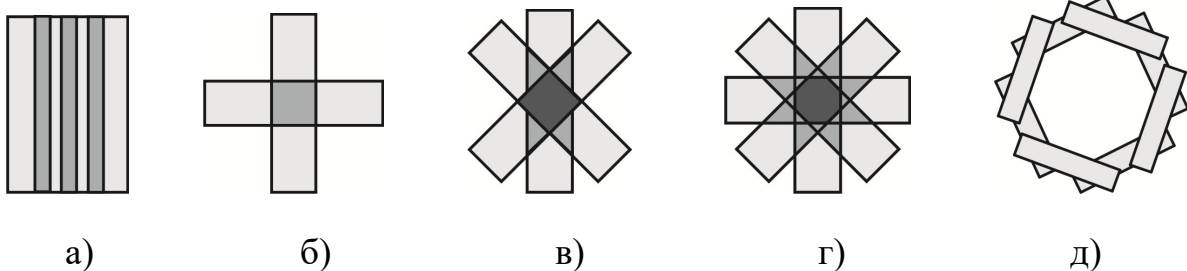


Рисунок 2 – Розташування шпону в дерев'яних шаруватих пластиках: а) – ДСП-А, ДСП-Б; б) – ДСП-В; в) и г) – ДСП-Г, д) – зірчаста схема.

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.

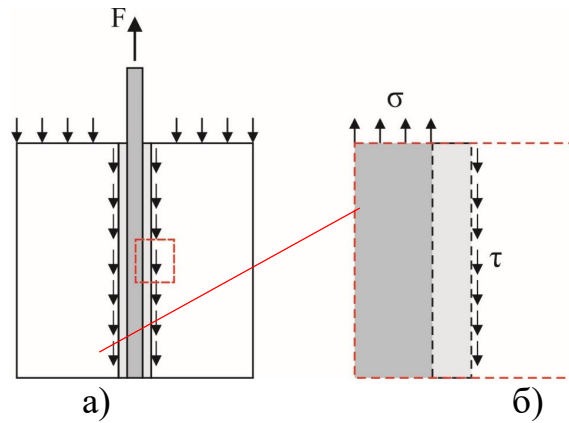


Рисунок 3 – Схема роботи клейового шва в з'єднаннях на вклеєно стержнях: а) дотичні напруження вздовж стержня; б) збільшена схема розподілу напруження вздовж клейового шва.

Для повноти, розглянутого питання буде приведений короткий висновок класичної теорії пластичності, заснований на теорії малих деформацій, на відміну від того, що для деяких типів адгезивів, таких як на основі ПВА, на лінії зрощування можуть розвиватися надзвичайно великі деформації. Запропоновані нижче рівняння і висновки виходять за рамки моделі пластичності адгезивів, і доведено, що можна використовувати теорію пластичності великих деформацій. Відправною точкою теорії пластичності малих деформацій є поділ загальної деформації в пружну або відновлювану і пластичну або безповоротну частина. Відповідно до теорії малих деформацій, тензор деформації визначається відповідно до виразу:

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right); \quad (10)$$

Загальноприйнятим є припущення про адитивне розкладання тензора повної деформації, яке може бути виконане, оскільки деформація вимірюється лінійно. Також слід зазначити, що пружні деформації визначаються законом Гука:

$$\sigma_{ij} = D_{ijkl} (\epsilon_{kl} + \epsilon_{kl}^{pl}), \quad (11)$$

де передбачається, що тензор пружності D_{ijkl} постійний. Можна визначити критерій плинності F , який є функцією напруження і набору параметрів зміцнення, які визначають зміну поверхні плинності в залежності від навантаження на пластик, K^α ($\alpha=1,2,3,\dots$):

$$F(\sigma_{ij}, K^\alpha) = 0, \quad (12)$$

Передбачається, що параметри зміцнення, K^α , залежать від набору внутрішніх змінних, κ^α , які контролюють історію завантаження пластика матеріалу. Це, в свою чергу, означає, що для пружнього навантаження отримаємо такий вираз:

$$K^\alpha = \frac{\partial K^\alpha}{\partial \kappa^\alpha} \dot{\kappa}^\alpha = 0, \quad (13)$$

При текучості напруження повинні залишатися на поверхні виходу, що говорить про пов'язаності відносин:

$$F = \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \sigma_{ij} + \frac{\partial F}{\partial K^\alpha} K^\alpha = 0 \quad (14)$$

Вищенаведений метод розкладання деформації еквівалентний застосуванню циклічних граничних умов до частини сполучної лінії в нескінченній області $dx \cdot dy$ і в припущенні, що напруження і деформації повинні бути постійними в кожному шарі. Результируючі деформаційні стани еквівалентні отриманим для двоелементної сітки (з застосованими циклічними граничними умовами). Номінальна деформація зсуву гомогенізованого матеріалу розкладається на зсувні деформації протилежних знаків в двох шарах. Щоб використовувати описану вище схему необхідно виконувати не тільки розкладання деформації і напруження, а й обчислювати тангенціальні матриці жорсткості матеріалів. Особливості роботи 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.

У **третьому розділі** викладено методи дослідження та результати показників міцності і пружних характеристик (таблиця 1) при стисненні під різними кутами LVL бруса виробництва Ultralam, які відсутні в ряді технічних протоколів і звітах про випробуванні LVL, що створило передумови для виконання досліджень, вкрай необхідних при проектуванні та скінчено елементних розрахунках вузлів суцільних і наскрізних конструкцій, де елементи конструкції навантажені під різними кутами до напрямку волокон. Для виконання випробувань LVL бруса на стиск під різними кутами були обрані зразки кубічної форми. Ці дослідні є продовженням багаторічної роботи проф. Фурсова В.В. щодо модуля об'ємної деформації, а також міцності при стисненні клеєної деревини під різними кутами з урахуванням масштабного фактору. В період з 2014 по 2016 рік були виконані комплексні випробування шпонового бруса LVL типу R (з односпрямованим шпоном) торгової марки Ultralam. На кожній грані були встановлені датчики активного опору (рис. 4), що дозволяють виконати оцінку міцності та пружних характеристик, які замірлялися на ділянці навантаження від 0,1 до 0,4 від руйнівного навантаження F_{\max} , згідно стандарту EN 408 із зазначеною швидкістю навантаження зразків.

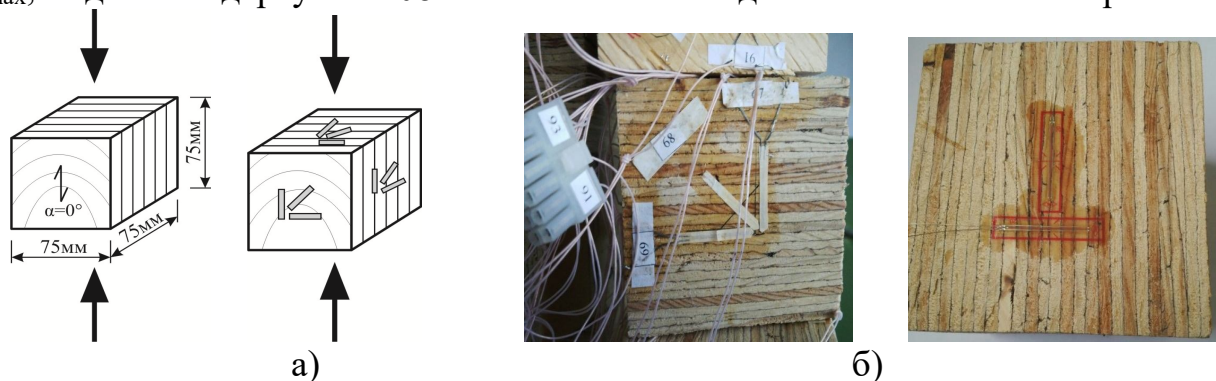


Рисунок 4 – Схема навантаження зразків і розміщення датчиків при стисненні під різними кутами: а) уздовж волокон, $\alpha = 0^\circ$; б) схема розташування датчиків.

Випробуванню були подані 6 груп зразків (5 кутів нахилу волокон деревини в зразках по межі і одна група зразків поперек волокон по пласті).

Таблиця 1 – Результати випробувань зразків LVL бруса на стиск під різними кутами

Напрямок волокон	Розмір зразка	Кіл-сть зразків	Міцність			Модуль пружності
			σ МПа	ν %	P %	E МПа
0°	75x75x75	14	61.31	5.88	1.57	26150
30°		7	19.82	12.49	4.72	3525
45°		6	20.34	7.76	3.17	3590
60°		8	14.00	11.57	4.09	3052
90°		6	10.79	5.38	2.20	2165

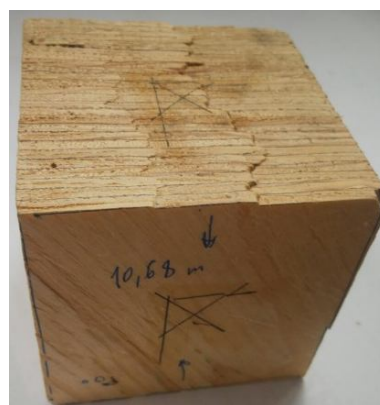
Випробувані зразки характеризувалися в основному такими ознаками, як поздовжні і похилі тріщини, ступеневі руйнування на бічних поверхнях кубів, відколи крайніх шарів шпону і депланація з площини.



а) кут нахилу 30°



б) кут нахилу 45°



в) кут нахилу 60°



г) кут нахилу 0°



д) кут нахилу 0°



е) кут нахилу 90°

Рисунок 5 – Характер руйнування зразків LVL при стиску під різними кутами до напрямку волокон

Дещо несподіваним в результатах випробувань односпрямованого LVL бруса при стисненні під кутами, було зниження показників міцності під кутом 30° в порівнянні з міцністю під кутом 45°, що не характерно для клееної і

цільної деревини. З огляду на те, що характер руйнування зразків під кутами характеризувався ступінчастим сколюванням не по кордоні одного шпону, а по суміжних 2-3 шарах шпону, через що спостерігається стрибок на графіку можна пояснити структурою матеріалу, яка утворена не тільки технологією різання та пресування матеріалу. Подібне спостереження викликає додатковий інтерес до аналогічних досліджень LVL інших типів, де відбувається різне чергування односпрямованого шпону з поперечним.

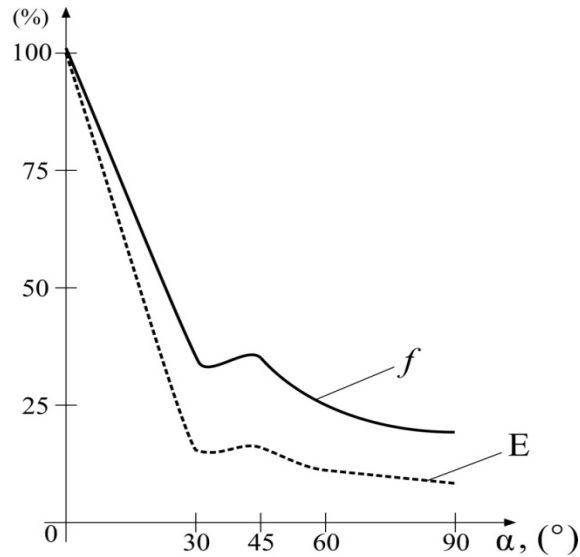


Рисунок 6 – Крива міцності і модуля пружності при стисненні під кутами до ВОЛОКОН

Статичні випробування на висмикування вклеєних стержнів виконувалися із зразків LVL з односпрямованим шпоном марки Ultralam типу R за схемою навантаження зображеною на рис. 7. Переріз стержнів LVL елементів становила 75×75 мм, а довжина 500 мм.

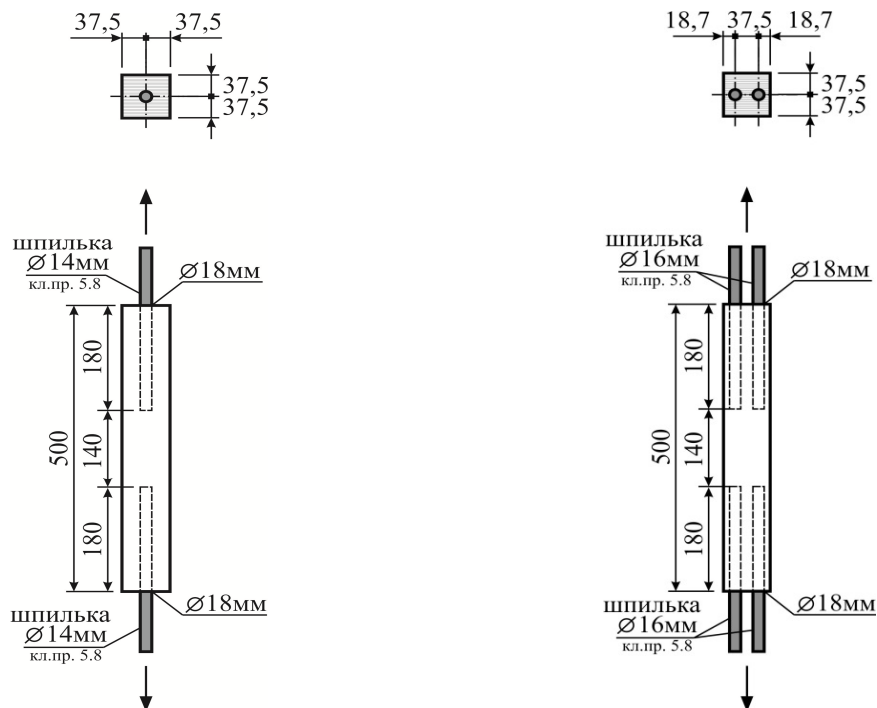


Рисунок 7 – Схема навантаження зразків і їх геометричні параметри

Глибина вклейки стержнів була прийнята 180 мм з величиною отворів 18 мм. Діаметр одиночних клеєних стержнів був прийнятий 14 мм, а діаметр стержнів, встановлених попарно в кожному торці був прийнятий 16 мм. Клас міцності сталі сталевих шпильок 5.8. Закордонні спеціалісти частіше використовують клас міцності сталі клеєних шпильок, як правило, 8.8 або 10.9. Для вклейки стержнів використовувався двокомпонентний епоксидний клей на базі смоли ЕД-20. Після затвердіння клею спостерігалася його усадка, яка не перевищувала 2 мм. Схема руйнування зразків має типовий крихкий характер, що супроводжується висмикуванням стержня з частиною деревини (рис. 8), і розколюванням торців елементів деревини, в які клеєні сталеві стержні.

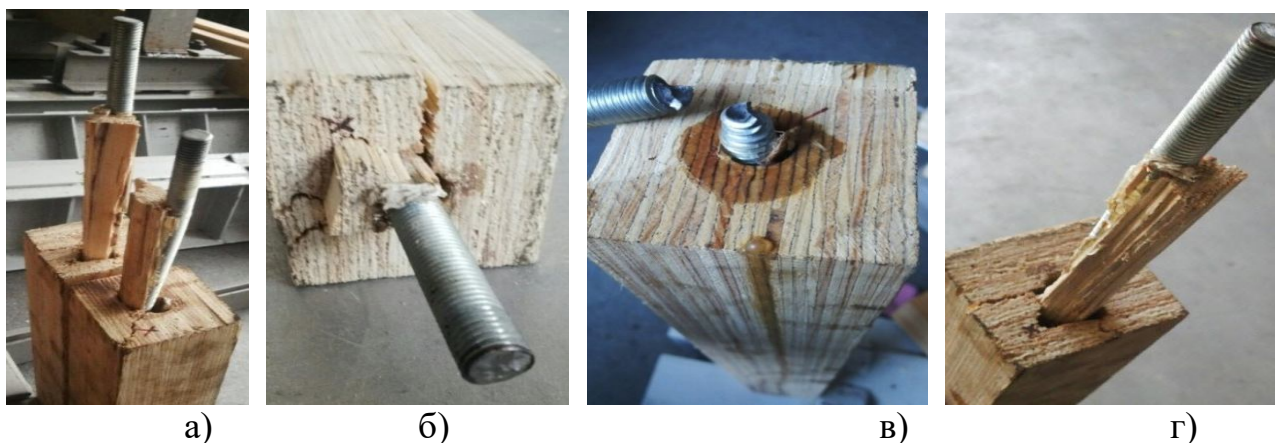


Рисунок 8 – Схема руйнування зразків: а) по деревині; б) по деревині з розколюванням; в) розрив стержня; г) нерівномірне по деревині

Також в рамках випробувань з визначення міцності з'єднань LVL на клеєних стержнях проводилися випробування на сколювання зразків трьох типів (рис. 9) товщиною 75 мм торговельної марки Ultralam тип R з односпрямованим розташуванням шпону деревини хвойних порід. Необхідність виконання випробувань на сколювання обумовлена механізмом руйнування з'єднань на клеєних стержнях, а саме висмикуванням стержнів внаслідок сколювання деревини навколо стержня.

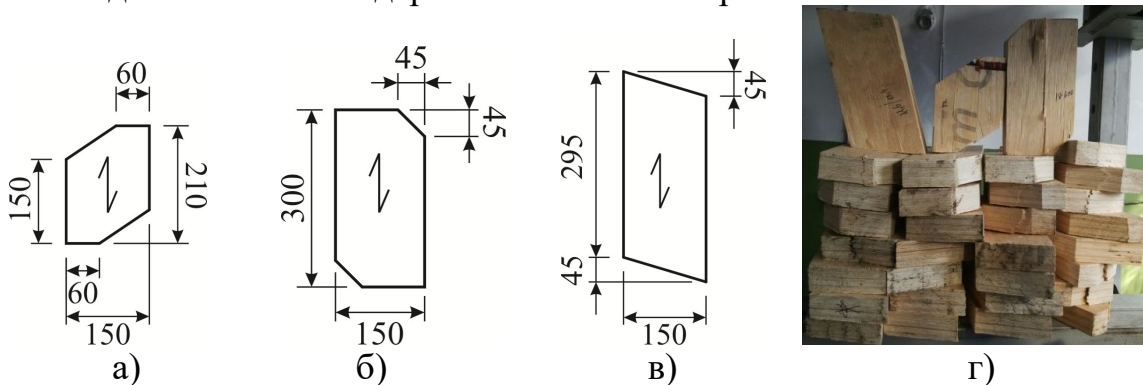


Рисунок 9 – Види і розміри зразків, використаних при випробуваннях: а) тип А; б) тип Б; в) тип В; г) зразки після руйнування

У 2016 році були проведені випробування вузлового з'єднання на клеєних стержнях з металевою вставкою, встановленого в середині балки з LVL брусу.

На рис. 10 показана схема навантаження балок статичним навантаженням і місця установки вимірювальних пристроїв для визначення деформацій. Деревина балок - LVL брус з односпрямованим шпоном Ultralam (тип R). Випробування вузла стали ключовим і завершальним логічним етапом циклу досліджень LVL бруса, оскільки для повного аналізу роботи вузла були виконані випробування на міцність і пружних характеристик при стисненні під різними кутами, випробування зразків на сколювання і випробування зразків на висмикування поодиноких вклеєних стержнів.

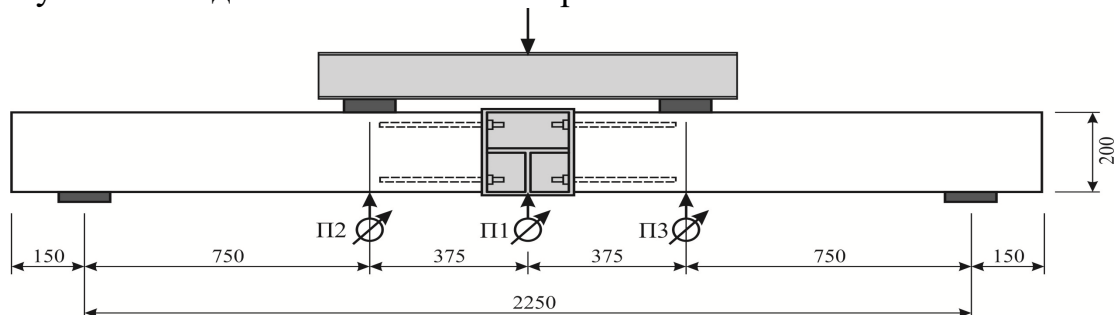


Рисунок 10 – Схема навантаження балок з металевою вставкою і місця установки прогиномірів.

Було випробувано 5 балок з поперечним перерізом 75x200 мм, прольотом 2,25 м з вузлом, розташованим в середині балки, де в першому варіанті у верхній і нижній частині були встановлені шпильки М16. Другий тип балок відрізнявся від першого тим, що у верхній частині поперечного перерізу були вклеєні шпильки М10, а в нижній - М16. Також випробовувалися цільні балки без вузлового з'єднання. Клас міцності стали шпильок 5.8. Клейове з'єднання на основі смоли ЕД-20. Глибина вклейки становила 180 мм і діаметр всіх отворів виконувався на 2 мм більше діаметру вклеєного стержня. Відстані між осями стержнів у всіх перетинах були прийняті однакові (рис. 11).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 11 – Характер руйнування балок з металевою вставкою: а) загальний вид балки при випробуванні; б) характер руйнування стержнів; в), г) вид вузла після руйнування.

Для визначення величини піддатливості було додатково виконано випробування суцільних балок такого ж перерізу та довжини, яке проводилося шляхом статичного навантаження їх домкратом 250 кН через траверсу, що розподіляє навантаження на 2 точки в третинах прольоту. Вимірювальні пристрої фіксували величини вертикальних деформацій та кутових переміщень торців балок.

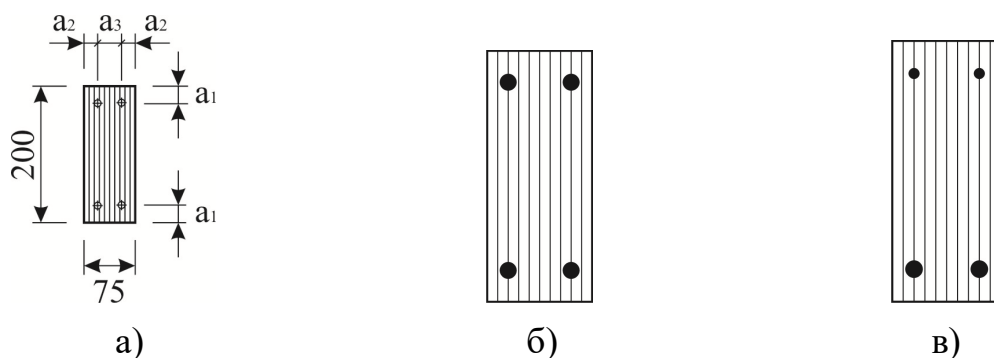


Рисунок 12 – Розташування стержнів в перерізі балки: а) схема розташування стержнів; б) стержні однакового діаметра; в) стержні різного діаметра.

Найбільша частина деревини сколюється уздовж шарів шпону в поперечному перерізі LVL бруса, де виколує область деревини, що не перевищує 4-х шарів шпону загальною шириною 13-15 мм. Така овальна форма руйнування деревини LVL бруса навколо вклеєного стержня (рис. 13а) пояснюється не тільки шпоноюю структурою матеріалу, але як наслідок цього, різною міцністю на сколювання вздовж волокон по пласті і по грані.

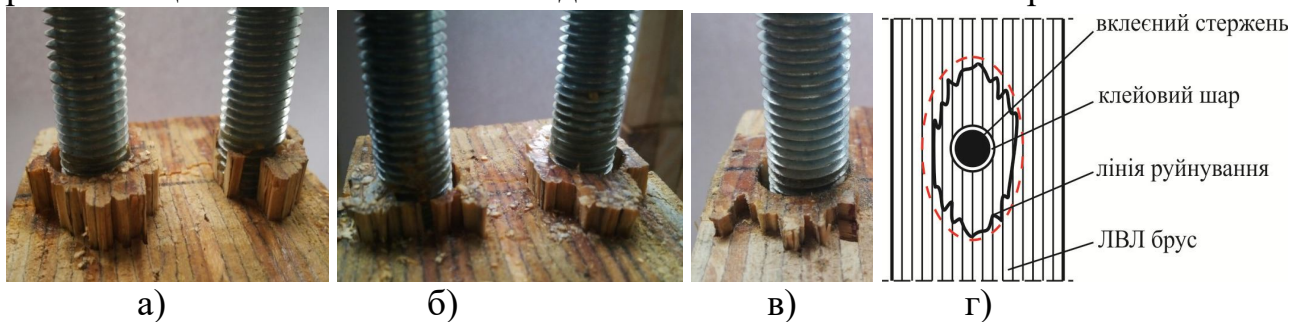


Рисунок 13 – Схема руйнування вклеєних стержнів: а), б) руйнування по двох стержнях; в) руйнування з розколюванням; г) руйнування по одному стержню.

Міцність на сколювання по грані вздовж волокон (поперек шарів шпону) більше, ніж по пласті приблизно на 30%, і відповідно лінія руйнування вздовж шпонових шарів в поперечному перерізі LVL бруса більш розвинена і утворює витягнуту частину овалу області сколювання деревини. Даний ефект дозволяє знизити відстань між стержнями в напрямку поперечному розташуванню шарів шпону поперечного перерізу бруса, що в кінцевому підсумку дає можливість збільшити несучу здатність вузлового з'єднання.

У **четвертому розділі** для порівняльної оцінки отриманих експериментальним шляхом показників міцності з'єднання і результатів

розрахунку використовувався програмний комплекс ANSYS. При моделюванні зразка дотримувалися всі геометричні параметри. Пружні характеристики деревини були прийняті на підставі випробувань, виконаних для кубічних зразках: модуль пружності LVL уздовж волокон $E_1=16600\text{МПа}$, модуль пружності LVL поперек волокон $E_2=680\text{МПа}$ $E_3=240\text{МПа}$, модуль зсуву $G_1=G_2=590\text{МПа}$ и $G_3=34\text{МПа}$, коефіцієнти Пуассона $\nu_1=0,43$, $\nu_2=0,016$ и $\nu_3=0,012$. Пружні характеристики клею також були запозичені з ряду робіт і мали такі значення: $E=7000\text{МПа}$, $G=2400\text{МПа}$, $\nu=0,38$. Пружні характеристики сталі приймалися за сертифікатом, значення яких були підтверджені при перевірочних випробуваннях шпильок. Деформації балок з металевою вставкою в середині прольоту при навантаженні 40 кН становить від 12 до 15 мм, що досить близько до результатів розрахунку, див. рис. 14, де деформація балки досягає практично 11 мм. Деформації балки в точках прикладання навантаження при випробуваннях також близькі до розрахункових величин 7-8 мм, що також показано на рис. 16.

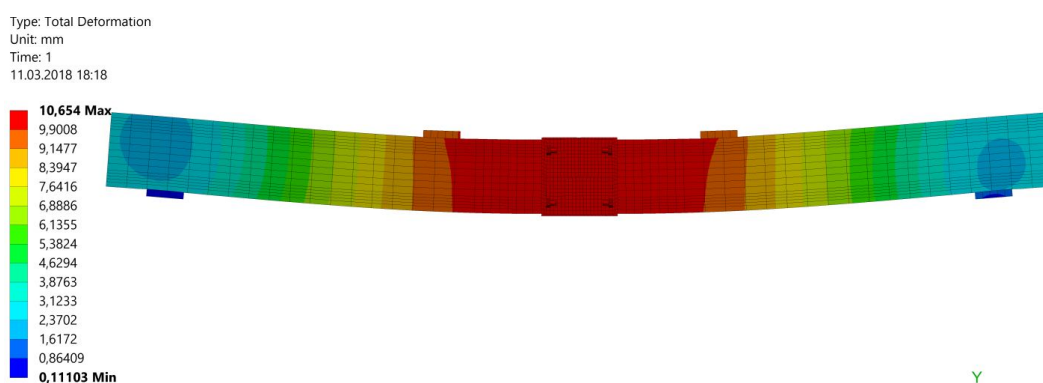


Рисунок 14 – Деформація балки при навантаженні 40 кН в кожну точку.

На рис. 15а показані нормальні напруження по осі X, а на рис. 15б дотичні напруження в площині XY.

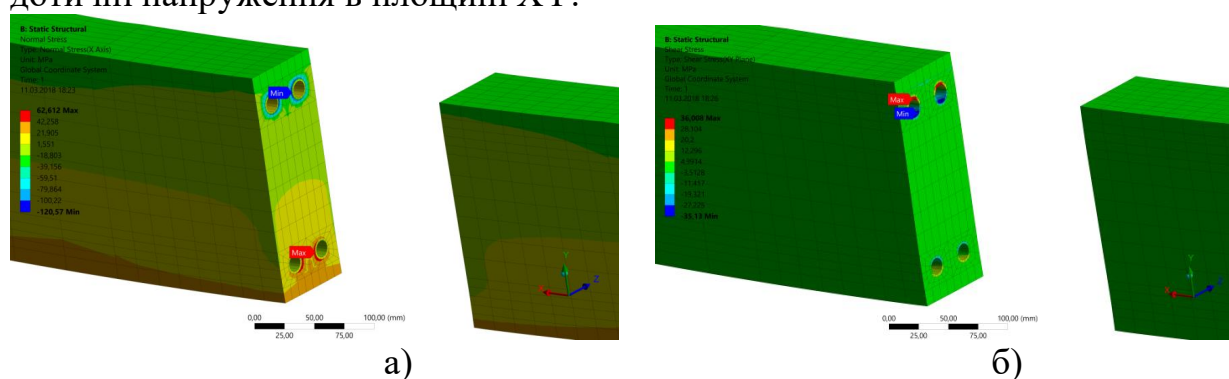


Рисунок 15 – Ізополя нормальних напружень по осі X (а) і дотичних напружень в площині XY(б)

В процесі моделювання та розрахунків балки додатково опрацьовувалося питання зміни величини деформації балок при збільшенні натягу гайок, або попереднього напруження створюваного у вузлі. Як показав аналіз декількох ітерацій з мінливою величиною напруження до величин близьких до 70% від граничної міцності деревини на стиск, то спостерігалось незначне зниження

деформацій, близько 3-4 мм. З практичного боку натяг гайок знижує величину рихлих миттєвих деформацій.

При випробуванні 5 балок з металевою вставкою були окремо проаналізовані величини прогинів балок в трьох точках: в середині прольоту і в третинах прольоту балки, куди прикладалися зосереджені сили. Результати деформацій балок в середині прольоту на різних рівнях навантаження показаний на рис. 18, де видно збіг кривих деформацій балок b2, b3 и b4. Руйнівне навантаження для балок спостерігалось в інтервалі від 48 кН до 55 кН. Розбіжність кривих деформацій балок в середині прольоту збільшувалася при наростанні навантаження близького до руйнуючого.

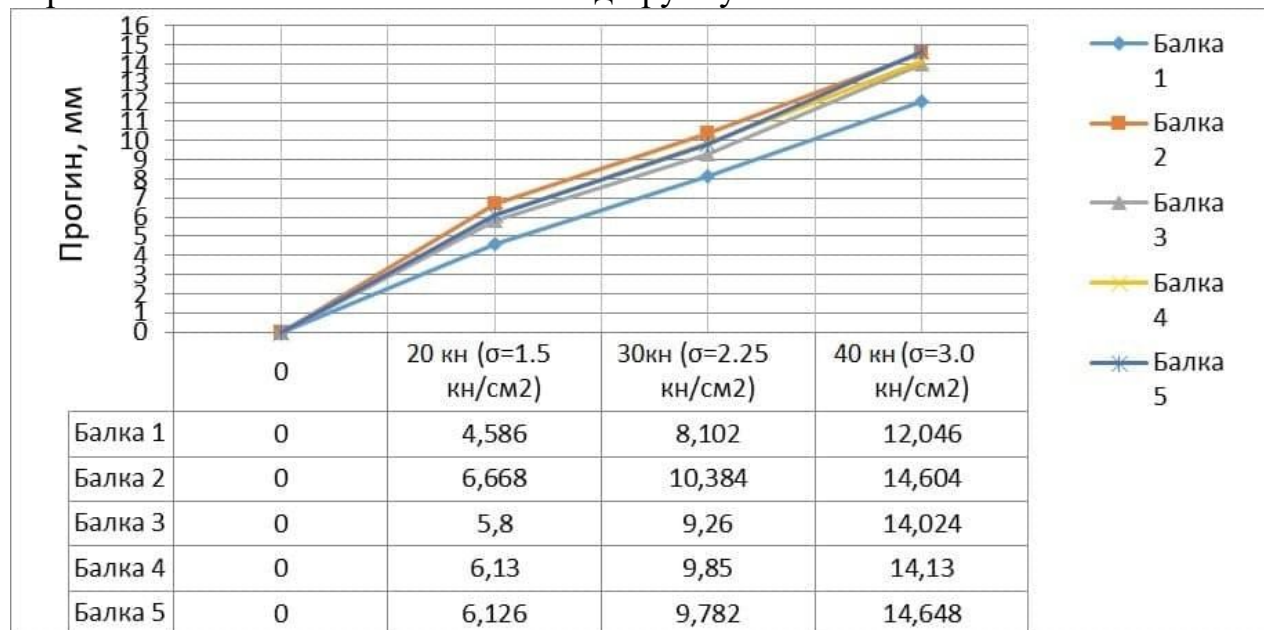


Рисунок 16 – Прогин балок в середині прольоту з металевими вставками.

Як правило, для дерев'яних конструкцій різниця між результатами випробувань та чисельними даними близько 12-18% є незначною, в той час як для конструкцій з інших будівельних матеріалів, наприклад, металевих, задовільною може вважатися різниця результатів, що не перевищує 10%.

У п'ятому розділі запропонована методика розрахунку міцності вклеєних стержнів на висмикування при осьовому навантаженні вздовж волокон, що встановлюються в LVL брус з односпрямованим шпоном, включає в себе ряд передумов, у вигляді параметрів, запозичених з різних методик по розрахунку вклеєних стержнів в цільній або клеєної деревині. Необхідність розробки модифікованої методики розрахунку обумовлена, перш за все, великою різницею між отриманими експериментальними величинами міцності і різними аналітичними даними міцності з'єднання. Запропонована формула (15) для розрахунку стержнів в LVL брусі, яка включає в себе не тільки основні розрахункові параметри (рис. 17), а й особливості, які спостерігаються при випробуваннях, такі, як овалізація сколювання деревини навколо стержня, в зв'язку з чим розглядаються значення величин міцності на сколювання конкретного типу LVL бруса при сколюванні вздовж волокон по грані і по пласті.

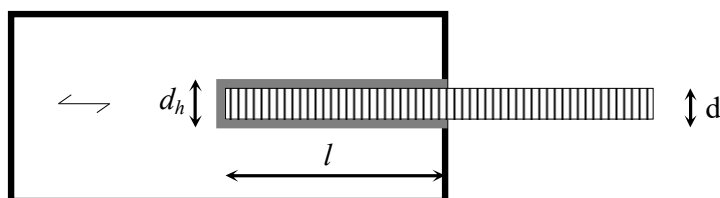


Рисунок 17 – Основні параметри розрахункової моделі

$$R_{ax,k} = \pi \cdot d_h \cdot l \cdot (f_{v,k,ed} \cdot f_{v,k,fl})^{0,5} \cdot k_c, \quad (15)$$

де $R_{ax,k}$ – характеристична міцність вклеєного стержня при висмикуванні з ЛВЛ бруса з односпрямованим шпоном, в Н/мм²; $f_{v,k,ed}$ и $f_{v,k,fl}$ – характеристичні значення міцності ЛВЛ при сколюванні вздовж волокон по грані і по пласті, Н/мм², прийняте згідно з технічним висновком виробника; l – довжина вклеєної частини стержня в мм; d_h – діаметр отвору, в мм; k_c – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу напружень зсуву в залежності від довжини клеївки стержня, який визначається за формулою (16).

$$k_c = 1,2 - 0,02 \cdot l/d, \quad (16)$$

Для забезпечення міцності з'єднання на вклеєних стержнях, необхідно дотримуватися правил їх розміщення вздовж волокон в поперечному перерізі бруса, а саме мінімальні відстані, як показано на рис. 18. Слід зазначити, що відстань між стержнями уздовж шарів шпону більше, ніж в поперечному напрямку щодо шпону через овалізацію сколювання деревини навколо стержня, утвореної різницею міцності на сколювання вздовж волокон LVL по пласті і по грані. Зазначені мінімальні відстані між стержнями і від стержнів до граней поперечного перерізу елемента з LVL можливо використовувати за умови дотримання точності вклеювання стержнів (без перекосів отворів і самих стержнів при вклеюванні).

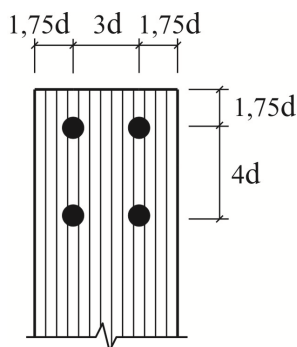


Рисунок 18 – Рекомендовані мінімальні відстані між вклеєними стержнями і до граней поперечного перерізу

Механізм руйнування, що супроводжується розколюванням торців, є менш бажаним, ніж висмикування деревини навколо стержня. Встановлені гвинти збільшують показники міцності з'єднань на вклеєних стержнях і дозволяють досягти в'язкого характеру руйнування.

Руйнівне навантаження, кН

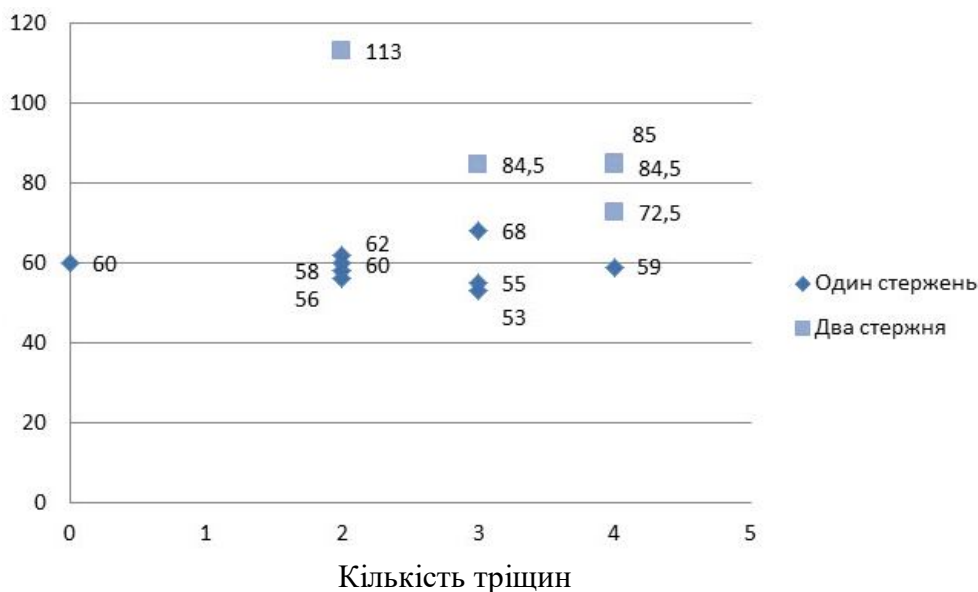


Рисунок 19 – Міцність з'єднань і кількість тріщин при руйнуванні

Превентивні конструктивні рішення у вигляді установки гвинтів, що перешкоджають розколюванню деревини в з'єднаннях і активно використовуються в Німеччині, Австрії, Швейцарії, але відображені тільки в національних нормах Австрії В 1995-1-1: 2015 і відсутні в Єврокодах-5 (EN 1995-1-1). Незважаючи на це, посилення торцевої частини, шляхом установки гвинтів в двох площинах перпендикулярно осі вклеєного стержня. Також можливе виконання одностороннього посилення, якщо LVL елемент має шари шпону з поперечним напрямком волокон щодо більшості шарів шпону, див. рис. 20.

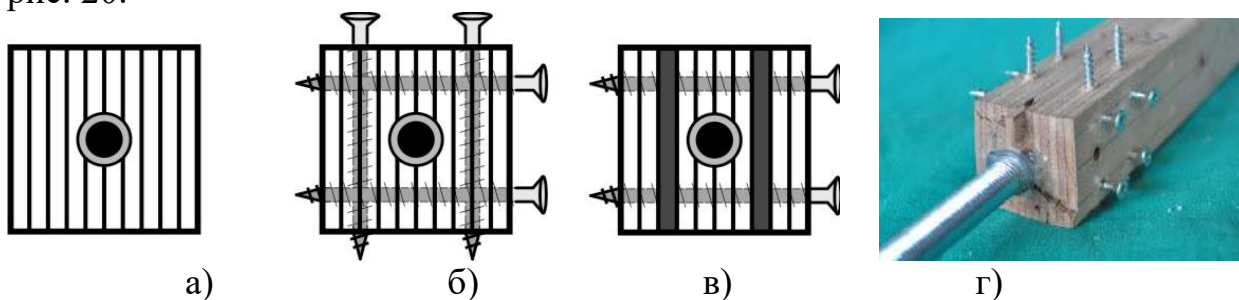


Рисунок 20 – Схема установки гвинтів при розколюванні торців з вклеєними стержнями: а) без посилення; б) посилення гвинтами; в) посилення поперечним шпоном і гвинтами; г) приклад з випробувань Meyer N.

В результаті посилення торцевої частини гвинтами, механізм руйнування зразків стає в'язким, що є позитивним ефектом для з'єднань будівельних конструкцій.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень розв'язано важливу науково-технічну задачу визначення міцності і правила розстановки вклеєних стержнів

вздовж волокон у вузловому з'єднанні LVL бруса з урахуванням його міцності і пружних характеристик, що має практичну цінність, сприяє подальшому розвитку та робить суттєвий внесок в удосконалення розрахунків вузлових з'єднань у нових високотехнологічних будівельних матеріалах на основі деревини. Серед висновків та результатів, отриманих при виконанні експериментально-теоретичних досліджень, основними є такі:

1. Встановлено міцність та пружні характеристики LVL бруса з односпрямованим шпоном при стиску під різними кутами нахилу волокон та отримано значне зменшення міцності при куті 30° , коли аналогічне зниження міцності характерно для клеєної та суцільної деревини при кутах 42° - 46° .
2. Виконано експериментальні дослідження міцності LVL бруса при сколюванні по грані вздовж волокон з використанням різних типів зразків. Досліджено міцність клеєних стержнів при висмикуванні, які розташовані в LVL брусі вздовж волокон.
3. Експериментально досліджено міцність вузлового з'єднання типу «металева вставка» з використанням клеєних стержнів у балках, а також цільних балок для визначення піддатливості цього з'єднання.
4. Розроблено методику розрахунку міцності клеєних стержнів та рекомендації по конструюванню вузлових з'єднань LVL бруса на основі комплексного аналізу експериментальних даних і результатів розрахунків з використанням методу скінчених елементів у програмному комплексі ANSYS, розбіжність яких не перевищує 13%. Запропонована методика розрахунку міцності клеєних стержнів у LVL брусі, яка враховує овалізацію деревини при сколюванні навколо стержня.
5. Виконано аналіз характеру руйнування клеєних стержнів та запропоновані методи підсилення з'єднань на клеєних стержнях у LVL брусі, які перешкоджають крихкому руйнуванню і підвищують несучу здатність з'єднань, що досягається шляхом встановлення гвинтів у поперечному напрямі відносно напрямку волокон деревини.
6. Розроблено рекомендації щодо мінімальних відстаней між осями клеєних стержнів та відстаней від осі стержня до грані елемента, які працюють на висмикування вздовж волокон деревини і забезпечують максимальну несучу здатність з'єднання через уникнення блокового руйнування групи клеєних стержнів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фурсов В.В., Бидаков А.Н., Распопов Е.А. Прочность клееных стержней на выдергивание при осевом нагружении установленных в LVL элементы с однонаправленным шпоном. // Проектирование, изготовление и монтаж стальных конструкций. Опыт и перспективы развития: сб. науч. трудов «Проектстальконструкция ім. В.М. Шимановського. – 2016. – Випуск 18. – С. 24-33. (Особистий внесок: проведено експериментальні та чисельні дослідження міцності клеєних стержнів у LVL брусі).

2. Бидаков А.Н., Распопов Е.А. Прочностные и упругие характеристики шпонового бруса LVL при сжатии под различными углами к наклону волокон. Містобудування та територіальне планування, № 65, КНУБА, с. 91-99, Київ, 2017. *(Особистий внесок: проведено лабораторне дослідження зразків ЛВЛ при стиску під кутами).*

3. Bidakov A., Raspopov I. Test method of CLT by tension perpendicular to the grain. Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – (50)'2018, p.148-158. *(Особистий внесок: проведено аналіз отриманих даних при випробуваннях різних типів зразків поперечної клеєної деревини).*

4. Бидаков А.Н., Распопов Є.А., Страшко Б.О. Узловые соединения ЛВЛ бруса на клееных стержнях с металлической вставкой. Київ: Будівельні конструкції. Теорія і практика. КНУБА, 2018. – Вип. 2. – С. 80–91. *(Особистий внесок: розроблено та випробувано металеву вставку для створення різних вузлів з ЛВЛ бруса на клеєних стержнях).*

5. Бідаков А.М., Распопов Є.А., Пуйстовойтова О.М., Страшко Б.О. Чисельний аналіз міцності з'єднань на клеєних стержнях у CLT панелях. Зб. наук. праць / Українська державна академія залізничного транспорту. – Харків, УДАЗТ, 2019. – Вип. 188, С. 15-22. *(Особистий внесок: проведено порівняльний аналіз міцності клеєних стержнів та міцності ЛВЛ бруса при сколюванні вздовж волокон).*

6. Bidakov A., Raspopov I., Pustovoitova O. Specificity of strength calculation for glued-in steel rods in LVL with unidirectional veneer. Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2(51)'2018, p.196-201. *(Особистий внесок: виконано аналіз чисельних та експериментальних даних за різними методиками розрахунку міцності клеєних стержнів).*

7. Бідаков А.М., Распопов Є.А., Пуйстовойтова О.М., Страшко Б.О. Особливості метода зсувної аналогії для розрахунку міцності ПКД панелей при згині. Науково-практичний журнал «Вісник придніпровської державної академії будівництва та архітектури» / ПДАБА, 2020. – №2(263-264). – С. 10-15. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.280420.10.616. *(Особистий внесок: проведено збір інформації та виконано її класифікацію для відокремлення особливостей розглянутого методу).*

8. Бідаков А.М., Распопов Є.А., Пуйстовойтова О.М., Страшко Б.О. Переваги та недоліки γ -методу для розрахунку міцності ПКД панелей при згині. Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві» / Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, ВНТУ, 2019. – Том 27, № 2 – с. 12-19. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-12-19>. *(Особистий внесок: виконано критичний аналіз розглянутого методу розрахунку спираючись на змінність товщин ПКД панелей та складових їх структури).*

9. Бідаков А.М., Распопов Є.А., Пуйстовойтова О.М., Страшко Б.О. Порівняльний аналіз експериментальних досліджень та чисельних розрахунків міцності клеєних стержнів у CLT панелях. Науковий журнал «Технічні науки та технології» / Чернігівський національний технологічний університет. – Чернігів, ЧНТУ, 2020. – № 1 (19) – с. 321-328. DOI: 10.25140/2411-5363-2020-

1(19)-321-328. (Особистий внесок: проведено детальну обробку отриманих даних лабораторних статичних випробувань з урахуванням локацій розташування стержнів у поперечному перерізі панелі з ПКД).

10. Бідаков А.М., Распопов Є.А., Пуйстовойтова О.М., Страшко Б.О. Вплив технології виробництва ПКД панелей на їх показники міцності та жорсткості. ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2020. – Том 1, Вип. 154. – С. 165 - 171. *(Особистий внесок: підготовлено сукупність даних різних виробників панелей з ПКД із європейських технічних заключень ETA).*

11. Bidakov A., Raspopov I., Pustovoitova O., Strashko B. Strength analysis of glued-in steel rods with different locations in CLT panels cross section. Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2(53)'2019, p.42-47. *(Особистий внесок: підготовлені графіки та зображення схем навантаження зразків, а також сформульовані деякі висновки за результатами отриманих даних).*

12. Бідаков А.Н., Распопов Е.А., Пуйстовойтова О.М., Страшко Б.А. Изменение прочности клееных стержней на выдергивание в поперечной клееной древесине (CLT) в зависимости от локации стержня в поперечном сечении панели. ХНУБА, 2019. – Том 98, №4. – С. 202-208. *(Особистий внесок: відокремлені фактори впливу схеми руйнувань та величини міцності в залежності від місця розташування клеєного стержня у боковій поверхні панелі з ПКД).*

13. Бідаков А.М., Распопов Є.А., Пуйстовойтова О.М., Страшко Б.О. Міцність деревини при роликовому зсуві. Харків, ХНАДУ, 2020. – Вип. 89. – С. 82-89. *(Особистий внесок: підбрано та класифіковано групу даних різних дослідників за обраною проблематикою за ознаками методів випробувань, розмірів зразків та початкових припущень).*

14. Бідаков А.Н., Распопов Е.А., Пуйстовойтова О.М., Страшко Б.А. Сравнительный анализ методов Тимошенко и Г-метода для расчета прочности ПКД панели при изгибе. East European Scientific Journal. Варшава, Республика Польша, 2021, №7 (71), С. 33–39. *(Особистий внесок: проведено підготовку даних та проведено порівняльний критичний аналіз з відокремленням якісних показників).*

У інших виданнях:

15. A. Bidakov, I.Raspopov. Semi-rigid Joints of LVL elements with glued-in steel rods and metal connector. Proceedings of the 1st Eastern Europe Conference on Timber Constructions. Kharkiv. Kharkiv, 2018. – 142p., p. 27-37. *(Особистий внесок: проведено підготовку та статистичний аналіз міцності зразків після виконання випробувань).*

16. A. Bidakov, I.Raspopov, B. Strashko. Withdrawal resistance of glued-in steel rods by pull-pull tests in CLT. Proceedings of the 1st Eastern Europe Conference on Timber Constructions. Kharkiv. Kharkiv, 2018. – 142p., p. 87-97. *(Особистий внесок: розроблено загальні практичні рекомендації щодо варіантів можливого розташування клеєних стержнів у поперечній клеєній деревині).*

АНОТАЦІЯ

Распопов Є.А. Міцність та деформативність вузлового з'єднання на вклеєних стержнях в елементах із бруса з клеєного шпону. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» (019 – Архітектура та будівництво). – Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, 2021.

Дисертацію присвячено дослідженню вулових з'єднань LVL бруса на вклеєних стержнях.

У дисертаційній роботі розроблено методику розрахунку міцності вклеєних стержнів та правила їхнього розташування, з урахуванням міцності та пружних характеристик LVL бруса з однонаправленим шпоном. Для виконання поставленої мети було вирішено задачу з визначення міцності та пружних характеристик LVL бруса з однонаправленим шпоном при стиску під різними кутами нахилу волокон та міцності при сколюванні по грані вздовж волокон. Також експериментально була досліджена міцність вклеєних стержнів при висмикуванні, які розташовані в LVL брусі вздовж волокон. На підставі експериментальних досліджень матеріалу та вклеєних стержнів проведено аналіз, який дозволив оцінити роботу вузлового з'єднання типу «металева вставка» з використанням вклеєних стержнів з подальшим чисельним дослідженням у програмному комплексі ANSYS для порівняння отриманих результатів розрахунку з експериментально отриманими даними. Внаслідок аналізу експериментальних даних встановлено характер руйнування вклеєних стержнів у LVL брусі з не характерним для клеєної деревини утворенням овалізації лінії руйнування деревини навколо стержня та розколюванням деревини. Проведено порівняльний аналіз чисельних та експериментальних даних, а також аналіз існуючих методик розрахунку міцності вклеєних стержнів, який дав змогу обґрунтовано розробити практичні рекомендації конструювання вузлів та інженерну методику розрахунку міцності вклеєних стержнів у LVL брусі при висмикуванні. Виконано порівняльний аналіз міцності вклеєних стержнів, згідно до запропонованої методики та методиками, які містяться у національних нормативних документах різних країн.

На підставі аналізу характеру руйнування вклеєних стержнів, запропоновані методи підсилення з'єднань на вклеєних стержнях у LVL брусі, які перешкоджають крихкому руйнуванню та підвищують несучу здатність з'єднання.

Ключові слова: вклеєні стержні, напівжорсткі з'єднання, шпоновий брус (ШБ), LVL, Ультралам тип R, відстань між стержнями, схема руйнування, міцність на висмикування, методика розрахунку, міцність на сколювання, розрахункова модель, розрахункові передумови.

АННОТАЦИЯ

Распопов Е.А. Прочность и деформативность узлового соединения на клееных стержнях в элементах из бруса на основе клееного шпона. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» (019 – Архитектура и строительство). – Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена исследованию узловых соединений LVL бруса на клеенных стержнях.

В диссертационной работе разработана методика расчета прочности клеенных стержней и правила их расположения, с учетом прочности и упругих характеристик LVL бруса с однонаправленным шпоном. Для выполнения поставленной цели была решена задача по определению прочности и упругих характеристик LVL бруса с однонаправленным шпоном при сжатии под разными углами наклона волокон и прочности при скалывании по грани вдоль волокон. Также экспериментально была исследована прочность клеенных стержней при выдергивании, которые расположены в LVL бруске вдоль волокон. На основании экспериментальных исследований материала и клеенных стержней проведен анализ, который позволил оценить работу узлового соединения типа «металлическая вставка» с использованием клеенных стержней с последующим многочисленным исследованием в программном комплексе ANSYS для сравнения полученных результатов расчета с экспериментально полученными данными. Вследствие анализа экспериментальных данных установлено характер разрушения клеенных стержней в LVL бруске с не характерным для клееной древесины образованием оваллизации линии разрушения древесины вокруг стержня и раскалыванием древесины. Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных, а также анализ существующих методик расчета прочности клеенных стержней, который позволил обоснованно разработать практические рекомендации конструирования узлов и инженерную методику расчета прочности клеенных стержней в LVL бруске при выдергивании. Выполнен сравнительный анализ прочности клеенных стержней, согласно предложенной методики и методиками, которые содержатся в национальных нормативных документах различных стран.

На основании анализа характера разрушения клеенных стержней, предложены методы усиления соединений на клеенных стержнях в LVL бруске, которые препятствуют хрупкому разрушению и повышают несущую способность соединения.

Ключевые слова: клеенные стержни, полужесткие соединения, шпоновый брус (ШБ), LVL, Ультралам тип R, расстояние между стержнями, схема разрушения, прочность на выдергивание, методика расчета, прочность на скалывание, расчетная модель, граничные условия.

ABSTRACT

I. Raspopov. Strength and rigidity of nodal connections with glued-in steel rods in the laminated veneer lumber elements. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.23.01 “Building structures, buildings and installations” (019 – Architecture and Construction). – O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to solving the scientific problem of assessing the strength and deformability of the developed nodal connection on glued rods in veneer or LVL elements under axial loading of the rods.

The **introduction** substantiates the relevance of the work, its novelty and indicates the importance of issues requiring detailed consideration, the practical value of the work and presents its general characteristics.

In Chapter 1 provides a review of the literature on the state of the art in the use of LVL in modern construction, as a high-tech material based on veneer with strength indicators exceeding the strength of glued laminated timber and solid wood. The analysis of existing methods for calculating joints with glued-in rods was also carried out in accordance with the regulatory documents of various countries.

In Chapter 2 analyzes the prerequisites for considering LVL as an orthotropic wood-based material with a structure similar to plywood and other wood plastics. Approaches are considered that allow assessing the strength and deformability of LVL based on an elementary layer based on technological prerequisites, where a veneer layer impregnated with glue, taking into account the technology of its peeling, is considered as a structural unit of material with a different number of layers. Analytical methods for taking into account plastic deformations of the adhesive layer in joints on glued-in rods, where the thickness of the adhesive layer reaches 3 mm, are also presented.

In Chapter 3 presents the results of complex laboratory tests of single and double glued-in rods in elements of LVL bar under axial pull-out loading, and also presents the results of the strength of LVL bar under compression at various angles and tests of three types of specimens for chipping, since the mechanism of destruction of glued rods is realized by chipping the wood around the glued-in rod. Actual strength values of LVL with unidirectional veneer and its elastic characteristics were determined for use in a computational model using volumetric finite elements.

In Chapter 4 presents an analytical analysis of the strength and deformability of a LVL beam with a node in the form of a metal insert on glued-in steel rods is carried out in the ANSYS computational software package by modeling the studied node with volumetric finite elements. The elastic characteristics of the LVL bar were used, obtained in experimental studies, taking into account the results of the work of others. The deformability values and the nature of the stress distribution, as well as the effect of the nut tension on the nodal joint compliance were obtained.

In Chapter 5 proposes a method for determining the pull-out strength of glued-in rods under axial loading, installed along the grains in LVL elements with unidirectional veneer orientation. Rules for the design of nodal connections have been developed, indicating the minimum distances between the rods and from the rod to the faces of the cross-section. Methods of helical transverse reinforcement of joints on glued-in rods are proposed.

Key words: glued-in steel rods, semi-rigid connection, laminated veneer lumber, LVL, Ultralam type R, axes and edge distance, model of rupture, pull-pull tests, pull-out strength, design rules, application, shear strength, calculation model, design approach.

Підписано до друку 25.08.2021 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір офсетний.
Друк на ризографі. Гарнітура Таймс. Умовн. друк. арк. 1,9.
Тираж 150 прим. Зам. №21040801

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов В.П., свідоцтво ВО4№022953).
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1.
Тел. +38-067-91-93-922
www.modelist.in.ua

