

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Гомона Петра Святославовича «**Методологічні засади моделювання та розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини з комбінованим армуванням**», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність теми дисертаційної роботи. З давніх часів людство використовує конструкції з деревини через те, що деревина має багато позитивних властивостей. Це легкий матеріал, який має малу теплопровідність, мале температурне розширення, хімічну стійкість, потребує низьких капітальних вкладень у виробничу базу, тощо. Конструкції з деревини мають велику кількість переваг, а саме: високу міцність за малої ваги, легкий спосіб виготовлення конструкцій, відновлювання матеріалів, екологічність і високі естетичні характеристики. Проте є і суттєві недоліки. До таких недоліків можна віднести пошкодження конструкцій природними шкідниками (грибками та комахами), мала вогнестійкість, висока гнучкість, а також анізотропія. Якщо недоліки з природними шкідниками та вогнестійкістю долаються просочуванням деревини антисептиками й антипіренами, то зменшення гнучкості (збільшення жорсткості) елементів та боротьба з анізотропією деревини є актуальною проблемою. Саме вирішенню цих двох проблем і присвячена дана наукова робота: збільшення жорсткості дерев'яних конструкцій та зменшення впливу анізотропії деревини шляхом армування деревини іншими матеріалами.

В роботі, що розглядається, враховані основні принципи конструювання конструкцій, зі забезпеченням їх несучої здатності, жорсткості, надійності та економічності. Для цього запропоновано методику зміцнення і виконуються розрахунки конструктивних елементів на різні види зовнішніх впливів із забезпеченням достатньої жорсткості конструкцій та відповідним аналізом прогинів, зміщень, переміщень частин елементів з деревини. Надійність конструкцій забезпечується математичним моделюванням їх роботи та статистичним аналізом. Всі ці чинники обумовлюють створення комплексного підходу до загальної методики моделювання та розрахунку згинальних дерев'яних елементів з комбінованим армуванням що в подальшому забезпечить достатню точність визначення несучої здатності конструкцій, економічно-ефективне використання запроектованих конструкцій, економію матеріалів та ресурсів, створення нових композитних конструкцій, що в нас час є актуальним.

Аналіз основного змісту роботи, її наукової новизни, ступеню обґрунтованості наукових положень та висновків. Представлена на відгук дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (261 найменування), додатків. Дисертаційна

робота викладена на 419 сторінках (загальний обсяг). Серед них – 305 сторінок основного тексту та 19 сторінок таблиць та рисунків (30 таблиць, 195 рисунків), 26 сторінок списку використаних джерел. Робота оформлена згідно чинних вимог

Вступ складає 11 сторінок і включає актуальність проблеми, мету та задачі досліджень, зв'язок роботи з науковими програмами, наукову новизну, практичну цінність, її апробацію та загальну характеристику дисертаційної роботи.

У першому розділі (46 сторінок) автором виконано аналіз наукових джерел, а також досліджено сучасний стан експериментально-теоретичних напрацювань щодо роботи згинальних елементів із цільної та клеєної деревини, армованих сталевую й композитною арматурою. На підставі проведеного аналізу визначено напрям наукового дослідження дисертації та окреслено шляхи розв'язання поставлених завдань.

Другий розділ (59 сторінок) присвячено обґрунтуванню запропонованих робочих гіпотез і вихідних передумов моделювання несучої здатності нормального перерізу, а також прогнозуванню граничної несучої здатності та жорсткості армованих і неармованих елементів із цільної та клеєної деревини, що працюють на згин. У даному розділі розглянуто особливості деформування деревини в поперечному перерізі та забезпечення сумісної роботи різних матеріалів від моменту прикладення навантаження до стадії руйнування. Запропоновано метод визначення напружено-деформованого стану перерізів дерев'яних елементів при згині, що базується на встановленні внутрішніх зусиль залежно від кривини, тобто з використанням діаграми «момент–кривина». Обґрунтовано можливість перетворення цих діаграм у діаграми механічного стану неармованих, пасивно армованих і попередньо напружених дерев'яних елементів. Розроблено розрахунковий апарат для визначення несучої здатності згинальних дерев'яних елементів без армування, з пасивним армуванням та з попереднім напруженням на основі діаграм «момент–кривина».

У третьому розділі (68 сторінок) запропоновано основні підходи до методики моделювання та виконано моделювання пасивно армованих згинальних дерев'яних елементів. Здійснено вибір оптимального варіанта підсилення із застосуванням пасивного однорідного та комбінованого армування для підвищення несучої здатності за першою групою граничних станів. Розроблено рекомендації щодо підсилення згинальних дерев'яних елементів пасивним комбінованим армуванням з метою досягнення максимального ефекту підвищення несучої здатності за другою групою граничних станів. Запропоновано методику прогнозування роботи згинального дерев'яного елемента з комбінованим армуванням у процесі попереднього напруження композитної арматури. Виконано розрахунок

гранично допустимого рівня попереднього напруження композитної арматури в згинальних дерев'яних елементах. Показано етапи формування напружено-деформованого стану після вклеювання армувального матеріалу на різних стадіях роботи попередньо напруженого згинального дерев'яного елемента. Розглянуто альтернативні способи попереднього напруження дерев'яних згинальних елементів. Проаналізовано переваги та недоліки кожного з них.

В четвертому розділі (31 сторінка) розроблено програму та методику проведення експериментальних досліджень. Наведено й обґрунтовано розміри дерев'яних призматичних зразків для визначення фізико-механічних характеристик матеріалу. Детально описано процес виготовлення дослідних балок із цільної та клеєної деревини. Особливу увагу приділено технології виготовлення зразків із клеєної деревини з пасивним комбінованим армуванням. Такі елементи підсилювались сталеву арматурою в стисненій зоні та композитною вуглецевою стрічкою Sika CarboDur S-512 у розтягнутій зоні. Розглянуто найпростіші способи створення попереднього напруження із застосуванням вуглецевої стрічки та запропоновано новий технологічний підхід до виготовлення попередньо напружених дерев'яних елементів. Наведено опис силового обладнання та вимірювальних приладів, що використовувалися під час експериментів, а також схеми їх розташування. Описано процедуру випробування дослідних зразків балок із цільної та клеєної деревини з пасивним і попередньо напруженим армуванням. Визначено обсяг проведених експериментальних досліджень.

В п'ятому розділі (40 сторінок) наведено результати теоретичного моделювання та експериментальних досліджень згинальних елементів із цільної деревини з комбінованим армуванням — як із попереднім напруженням, так і без нього. Виконано порівняння теоретичних і експериментальних даних. Проаналізовано напружено-деформований стан балок у процесі створення попереднього напруження у вуглецевій стрічці Sika CarboDur S-512, а також з урахуванням роботи арматури в стисненій зоні після його прикладання. Встановлено, що вуглецева стрічка є ефективним елементом для застосування в дерев'яних балках як попередньо напружуваний матеріал, однак доцільно використовувати її у поєднанні зі сталеву арматурою. Доведено, що клейовий шов на основі композитного клею Sikadur-30 забезпечує надійну сумісну роботу деревини та вуглецевої стрічки Sika CarboDur S-512. Отримані експериментальні залежності «момент–кривина» та «момент–прогин» відрізняються від теоретично змодельованих у межах $\pm 10\%$.

Шостий розділ (63 сторінки) присвячено верифікації результатів моделювання діаграм «момент–кривина» та «момент–прогин» із даними, отриманими під час випробувань експериментальних балок із клеєної деревини. Перевірку виконано для балок як без попереднього напруження, так і з ним, а також для елементів із комбінованим армуванням і без армування. Проведено аналіз збіжності теоретичних результатів моделювання роботи

балок із клеєної деревини з наявними експериментальними даними інших дослідників. Встановлено, що як пасивне армування, так і армування з попереднім напруженням у всіх випадках сприяє підвищенню несучої здатності балок — як за нормальними перерізами, так і за другою групою граничних станів. З'ясовано, що для ефективного підвищення несучої здатності комбіновано армованих згинальних дерев'яних елементів із цільної та клеєної деревини необхідне додаткове підсилення для сприйняття дотичних зусиль. Розроблено методику розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини, армованих різними матеріалами, які працюють на згин, стиск зі згином і розтяг зі згином, із використанням методу скінченних елементів у програмному комплексі ЛІРА-САПР.

У загальних висновках сформульовані основні результати дисертації.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації. Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується значним обсягом експериментально випробуваних зразків, застосуванням сучасного спеціалізованого обладнання, повірених приладів і вимірjuвальної апаратури, обробкою результатів із використанням методів математичної статистики, а також задовільною збіжністю теоретичних даних, отриманих за запропонованою методикою, з експериментальними результатами.

Новизна та повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій полягає в наступному:

вперше - науково обґрунтовано верифікацію допущень та гіпотез на розроблені методологічні засади для моделювання та розрахунку елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють на згин та стиск зі згином з різними варіантами армування, використовуючи сучасні знання про міцнісні та деформативні властивості армуючих матеріалів та їх сумісну роботу з деревиною, що дає можливість прогнозувати роботу даних елементів на різних ступенях завантаження, визначати несучу здатність даних конструкцій та вдосконалити їх конструювання;

- запропоновано комплекс методик для моделювання та розрахунку елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють на згин та стиск зі згином з комбінованим армуванням із врахуванням попереднього напруження матеріалів, що дає можливість прогнозувати процес попереднього напруження та роботу даних елементів на різних етапах, визначити несучу здатність даних конструкцій та надати рекомендації по їх конструюванню;

- запропоновані нові технологічні рішення попереднього напруження комбіновано армованих елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють на згин та стиск зі згином після виконання моделювання їх роботи, встановлення етапів попереднього напруження та аналізу отриманих теоретичних результатів, що дозволило створити процес попереднього

напруження елементів з цільної та клеєної деревини, які працюють на згин та стиск зі згином та розширити сферу їх застосування;

- отримані нові експериментальні результати деформування деревини та сталюї арматури, які використовуються в конструюванні армованих елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють на згин на основі експериментальних досліджень та апроксимуючих методик, і дає можливість їх врахування в теоретичних дослідженнях у вигляді апроксимуючих функцій;

- при моделюванні дерев'яних елементів з цільної та клеєної деревини отримані нові закономірності розвитку та розподілу дотичних (сколюючих) напружень, що дозволяє врахувати їх при проектуванні;

- отримані нові експериментальні результати випробування елементів з цільної та клеєної деревини, які працюють на згин, з використанням пасивного та попередньо напруженого комбінованого армування, що дозволило встановити вплив попереднього напруження, вдосконалити їх конструювання, збільшити їх економічність та розширити сферу їх застосування;

- виконано попереднє напруження елементів із цільної та клеєної деревини, які працюють на згин з комбінованим армуванням та досліджено їх роботу шляхом використання нових методик попереднього напруження та запропонованих удосконалених експериментальних методик випробування, що дозволило поглибити знання про процес деформування, зміну напружено-деформованого стану в таких елементах та провести верифікацію запропонованих методик.

удосконалено:

- методичні підходи для визначення напружено-деформованого стану нормальних перерізів елементів із цільної та клеєної деревини, які працюють на згин та стиск зі згином, дотичних напружень та прогинів завдяки використанню запропонованих апроксимованих функцій деформування деревини та функцій "момент-кривина", дозволяють прогнозувати роботу елементів, що працюють на згин та стиск зі згином, на різних ступенях їх завантаження.

- науково-прикладний підхід до розрахунку граничних станів за першою та другою групою елементів із цільної та клеєної деревини, які працюють на згин з пасивним та попередньо напруженим комбінованим армуванням шляхом використання комплексу методик, що дало можливість використати даний підхід для рішення інженерних задач при конструюванні та розрахунку елементів, що працюють на згин та стиск зі згином;

- експериментальну методику випробування попередньо напружених елементів із цільної та клеєної деревини, що працюють на згин з комбінованим армуванням, яка враховує особливості армування, етапи попереднього напруження та роботи, дали змогу зрозуміти і детальніше описати роботу елемента, що працює на згин та провести верифікацію методологічних засад;

- спосіб верифікації методик моделювання роботи армованих конструкцій з цільної та клеєної деревини, шляхом використання діаграм "момент-кривина", які побудовані на основі експериментальних та теоретичних досліджень, що дозволило верифікувати теоретичні дані не тільки

приграничних станах, а й під час виготовлення та роботи елементів із цільної та клеєної деревини, які працюють на згин та стиск зі згином.

Набули подальшого розвитку теоретичні основи, моделювання роботи, розрахунки та конструювання елементів із цільної та клеєної деревини, які працюють на згин та стиск зі згином, шляхом комплексного врахування міцнісних та деформативних властивостей деревини, сталі, композиційних армуючих матеріалів та їх сумісної роботи, що дозволяє покращити методики прогнозування роботи елементів із цільної та клеєної деревини, що працюють на згин та стиск зі згином, збільшити їх несучу здатність, жорсткість та розширює сферу їх застосування.

Практичне значення результатів досліджень. Одержані в дисертаційній роботі результати та розроблені методологічні засади для моделювання та розрахунку комбіновано армованих елементів із цільної та клеєної деревини, що працюють на згин та стиск зі згином доцільно використовувати в проектуванні сучасних будівельних конструкцій з деревини при зведенні будівель і споруд. Запропонований комплекс методик моделювання можна використати, як сучасний інструмент для визначення напружено-деформованого стану дерев'яних комбіновано армованих елементів, тим самим вдосконаливши методику їх розрахунку та проектування. Запропоновані технологічні рішення армування балок із цільної та клеєної деревини з виконанням попереднього напруження дозволяють зменшувати прогини елементів, що працюють на згин та стиск зі згином, розширюючи сферу їх застосування. Отримані числові результати експериментальних досліджень, мають практичну цінність у верифікації сучасних методик.

Повнота викладених основних результатів дисертації в опублікованих роботах. Основні результати дисертації досить повно викладені в 51 опублікованих наукових працях, серед яких 10 статей у наукових періодичних виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science; 26 статей у фахових виданнях категорії "Б", 1 патент на корисну модель; 1 стаття в інших виданнях; 13 публікацій, що засвідчують апробацію наукової роботи.

Зауваження по дисертаційній роботі:

1. У розділі 1 «Практика використання деревини в композиціях з іншими матеріалами в несучих дерев'яних елементах, передумови і доцільність підсилення їх несучої здатності та жорсткості» варто було б розглянути напрацювання сучасних авторів щодо визначення дотичних напружень і прогинів.
2. У розділі 3 на рисунку 3.23 наведено рівні попереднього напруження для згинального елемента, проте не пояснено, від чого ці рівні залежать.

3. У роботі значну увагу приділено створенню попереднього напруження з виконанням попереднього вигину, проте відсутнє порівняння запропонованої методики з результатами експериментальних досліджень інших авторів.
4. У роботі наведено багато положень для розрахунку, проте доцільно було б також подати інженерні методи розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини із застосуванням описаних у роботі методик.
5. У розділах 5 і 6, де наведено діаграми деформування деревини як матеріалу, обрано занадто великий масштаб, що ускладнює оцінювання її роботи.
6. У розділі 6 на рисунках, де зображено ізополі напружень і переміщень, використано надто дрібний шрифт, що ускладнює читання.
7. У розділі 6 під час числового моделювання прямолінійних і криволінійних балок та арок за допомогою ПК ЛІРА ізополі напружень і переміщень побудовано лише для одного рівня навантаження. Доцільно було б продемонструвати процес їх візуальних змін хоча б для одного з елементів при різних рівнях прикладення зовнішнього навантаження — від початкового етапу до руйнування.

Відмічені недоліки не знижують цінності для науки і практики виконаної автором роботи.

Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам. Робота являє собою закінчену наукову працю й виконана на високому рівні з використанням сучасних методів дослідження та має достатній літературний огляд попередніх досліджень за даною тематикою. Дисертаційна робота логічно побудована, написана чітко та ясно, проілюстрована графічними та фотоматеріалами, написана державною мовою. Дисертація та реферат оформлені згідно вимогам МОН України. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. Основні наукові результати достатньо викладені в наукових працях автора. Зміст реферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи автора.

Дисертаційна робота Гомона П. С. виконана за спеціальністю 05.23.01 – «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» та є завершеним науковим дослідженням. У ній розв'язано актуальну науково-технічну проблему підвищення жорсткості елементів із цільної та клеєної деревини, що працюють на згин, стиск або розтяг із згином, шляхом застосування різноманітних армуючих матеріалів. Запропоновано підходи до їх моделювання та розрахунку з урахуванням сучасних уявлень про міцнісні та деформаційні властивості матеріалів, що забезпечує підвищення ефективності використання дерев'яних конструкцій і розширення можливостей їх практичного застосування.

За обсягом виконаних досліджень, актуальністю, науковою новизною, достовірністю, практичною цінністю та впровадженням отриманих результатів дисертаційна робота «Методологічні засади моделювання та розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини з комбінованим

армуванням» відповідає вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор — Гомон Петро Святославович — заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – «Будівельні конструкції, будівлі та споруди».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри будівельних
конструкцій і мостів
Національного університету
«Львівська політехніка»



Богдан Демчина

Підпис Б.Г. Демчини засвідчую:
учений секретар Національного
університету «Львівська політехніка»



Р. Бресилецької