

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

**Актуальність теми дисертації**

В сучасному будівництві все більшого поширення набувають матеріали, які є екологічно безпечними та здатними зменшувати вуглецевий слід будівель. Деревина є єдиним широко доступним природним відновлюваним матеріалом, що використовується в несучих конструкціях, зокрема у багатопверховому будівництві. Тим не менше, її застосування суттєво обмежується через біологічну вразливість, низьку вогнестійкість та обмежену довговічність анізотропія властивостей та мала жорсткість. Якщо перші недоліки усуваються просочуванням антисептиками та антипіренами, то підвищення жорсткості та зменшення впливу анізотропії залишаються актуальними проблемами, які можна компенсувати шляхом армування деревини. Слід відмітити, що в чинних нормативних документах України та Європейського Союзу відсутні методичні положення щодо розрахунку армованих дерев'яних елементів.

Таким чином, тематика дисертаційної роботи, присвячена розробці методологічних засад моделювання та розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини з комбінованим армуванням, є актуальною науково-технічною проблемою сучасного будівництва.

**Структура і обсяг дисертації**

Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків. Зміст роботи викладено на 419 сторінках, в т. ч.: 305 сторінок основного тексту, 19 сторінок таблиць та рисунків (30 таблиць, 195 рисунків), 26 сторінок списку використаних джерел із 261 найменування. Робота оформлена згідно чинних вимог.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, наукову новизну та практичну цінність роботи, а також представлено її загальну характеристику; описана поставлена мета, задачі та методи проведення дослідження; розкрито зв'язок роботи з науковими планами та програмами; представлена інформація щодо апробації результатів роботи та її висвітлення у наукових фахових виданнях та матеріалах конференцій.

**Перший розділ** присвячений систематизації сучасного стану знань про роботу армованих дерев'яних конструкцій. Проведено аналіз практики використання клеєного бруса у будівництві, розглянуто вплив ефекту масштабу

на несучу здатність дерев'яних елементів великих розмірів. Значну увагу приділено аналізу міцнісних та деформаційних властивостей деревини як анізотропного матеріалу, що суттєво впливає на вибір підходів до моделювання. Детально розглянуто властивості матеріалів, що входять до складу комбінованого армування, наведено узагальнені діаграми деформування цих матеріалів та їх порівняльні характеристики. Систематизовано результати вітчизняних і закордонних досліджень з питань пасивного та попередньо напруженого армування дерев'яних конструкцій. Проаналізовано чинні нормативні підходи до розрахунку згинальних елементів з деревини (ДБН В.2.6-161:2017, Eurocode 5 та ін.) та виявлено їх обмеження щодо армованих конструкцій. На підставі проведеного аналітичного огляду сформульовано мету та задачі дисертаційного дослідження.

В **другому розділі** автор формулює систему робочих гіпотез та передумов моделювання, що базуються на використанні повних діаграм деформування деревини, сталевий та композитної арматури. Детально розроблено методику побудови діаграми деформування деревини за стиску (« $\sigma$ - $\epsilon$ ») на основі експериментальних досліджень згинальних елементів. Обґрунтовано трансформування діаграм фізичного стану деревини в діаграми механічного стану згинального елемента (діаграми «момент-кривина»). На основі запропонованих передумов розроблено розрахункові апарати для: визначення напружено-деформованого стану нормальних перерізів непідсиленних та пасивно армованих елементів; прогнозування прогинів з урахуванням нелінійності деформування деревини; визначення дотичних (сколюючих) напружень по висоті перерізу з урахуванням пружно-пластичної роботи. Встановлено оптимальні розміри поперечних перерізів та розроблено методику побудови епюр максимальних дотичних напружень. Окремо розглянуто питання сумісності роботи арматури та деревини та визначення напружень на межі клейового з'єднання.

**Третій розділ** присвячено теоретичному моделюванню роботи пасивно армованих та попередньо напружених дерев'яних елементів з комбінованим армуванням. Розроблено методику моделювання та розрахунку нормальних перерізів пасивно армованих елементів, визначення їх прогинів та максимальних дотичних напружень. На основі числового моделювання проведено систематичний порівняльний аналіз ефективності різних варіантів армування та встановлено оптимальне співвідношення площ арматури. Розроблено методологію прогнозування напружено-деформованого стану елемента на всіх етапах попереднього напруження: до вклеювання армуючого матеріалу, після вклеювання та під час експлуатаційного навантаження. Запропоновано та теоретично обґрунтовано чотири оригінальних способи попереднього напруження комбіновано армованих дерев'яних балок: з початковим напруженням стиснутої зони, з одночасним вклеюванням армуючих елементів, з початковим напруженням армованого елемента в розтягнутій зоні, а також комбінований спосіб. Розроблено методику моделювання роботи стиснуто-зігнутих та розтягнуто-зігнутих армованих дерев'яних елементів.

**В четвертому розділі** детально описано програму та методику комплексних експериментальних досліджень. Програма охоплює випробування допоміжних зразків (призм) деревини для встановлення її фізико-механічних характеристик, арматурних зразків, а також дослідних балок чотирьох серій: з цільної та клеєної деревини без армування, з пасивним комбінованим армуванням та з попередньо напруженим комбінованим армуванням. Детально описано технологічний процес виготовлення дослідних балок. Наведено характеристики силового обладнання, вимірювальних приладів та схеми їх розміщення. Визначено обсяг експериментальних досліджень та наведено основні організаційні аспекти їх виконання.

**В п'ятому розділі** представлено результати теоретичних і експериментальних досліджень елементів з цільної деревини. Розділ розпочинається із встановлення фізико-механічних характеристик деревини сосни на основі випробувань призм та побудови повних діаграм деформування. Далі наведено результати випробувань балок з цільної деревини без армування, з пасивним комбінованим армуванням та з попередньо напруженим комбінованим армуванням. Для кожної серії побудовано діаграми «момент-кривина» та «момент-прогин», проведено детальний аналіз напружено-деформованого стану на різних рівнях завантаження. Окремо проаналізовано роботу вуглецевої стрічки в поперечному перерізі балки.

**Шостий розділ** містить результати власних експериментальних досліджень балок з клеєної деревини та здійснює верифікацію запропонованої методології моделювання на широкій базі даних - як власних, так і отриманих іншими авторами. Верифікацію проведено шляхом зіставлення теоретичних та експериментальних діаграм «момент-кривина» і «момент-прогин» з власними даними та з результатами досліджень Поліщука М.В., Сасовського Т.А. і Сурмая М.І. Проведено числове моделювання прямолінійних та криволінійних армованих елементів з цільної та клеєної деревини методом скінченних елементів у програмному комплексі ЛІРА САПР

**У загальних висновках** викладено основні результати виконаного дослідження.

### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій**

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та зроблених на їх основі висновків досягається завдяки:

- використанню фундаментальних положень опору матеріалів та будівельної механіки;
- використанню в експериментальних дослідженнях загальноприйнятих методів проведення наукових досліджень, використанням сертифікованих вимірювальних приладів, апаратури, обладнання, сучасної обчислювальної техніки та програмного забезпечення;
- задовільним співпадінням результатів моделювання з результатами експерименту.

## Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів

Наукова новизна результатів, отриманих і представлених в дисертаційній роботі Гомона П.С., полягає в тому, що автором:

### *вперше:*

– розроблено методологічні засади моделювання та розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини з комбінованим армуванням, що базуються на повних діаграмах деформування складових матеріалів, апроксимованих аналітичними функціями, та на діаграмах «момент-кривина» як єдиному уніфікованому інструменті прогнозування несучої здатності і жорсткості на всіх стадіях завантаження;

– запропоновано нові технологічні способи попереднього напруження комбіновано армованих дерев'яних елементів з цільної та клеєної деревини; для кожного способу розроблено відповідний математичний апарат визначення напружено-деформованого стану на всіх технологічних етапах (до і після вклеювання арматури, а також в процесі експлуатаційного навантаження);

– встановлено нові закономірності розподілу дотичних (сколюючих) напружень по висоті та довжині перерізів армованих елементів з цільної та клеєної деревини з урахуванням пружно-пластичної роботи деревини та наявності армуючих включень;

– отримано нові експериментальні дані про напружено-деформований стан попередньо напружених комбіновано армованих балок із цільної та клеєної деревини від початку завантаження до руйнування, включаючи повні діаграми «момент-кривина» та «момент-прогин» для всіх стадій роботи;

### *удосконалено:*

– методичні підходи до визначення напружено-деформованого стану нормальних поперечних перерізів дерев'яних елементів з цільної та клеєної деревини шляхом переходу до нелінійної моделі з урахуванням повних діаграм деформування матеріалів та використання апроксимованих функцій «момент-кривина»;

– науково-прикладний підхід до перевірки граничних станів першої та другої групи для елементів із цільної та клеєної деревини з пасивним та попередньо напруженим комбінованим армуванням. Удосконалення полягає у включенні до системи перевірок не лише нормальних напружень і прогинів, але й шляхом урахування дотичних (сколюючих) напружень, розрахованих з урахуванням нелінійності деформування;

– експериментальну методику випробування попередньо напружених армованих дерев'яних елементів з цільної та клеєної деревини, яка враховує особливості напружено-деформованого стану не лише в процесі навантаження, але й на технологічному етапі в процесі вклеювання армуючих елементів та після відпускання пристрою попереднього напруження, що надає нові можливості для верифікації теоретичних моделей;

– спосіб верифікації методик моделювання армованих дерев'яних конструкцій шляхом зіставлення теоретичних і експериментальних діаграм

«момент-кривина» та «момент-прогин» не лише при граничних значеннях, але й стадіях виготовлення та роботи елементів з цільної та клеєної деревини.

***отримало подальший розвиток:***

– теоретична база моделювання напружено-деформованого стану елементів із цільної та клеєної деревини за роботи на згин та стиск зі згином; підходи до числового моделювання армованих дерев'яних конструкцій методом скінченних елементів; знання про вплив рівня попереднього напруження на несучу здатність та жорсткість дерев'яних балок.

Новизна отриманих в дисертації результатів також підтверджується патентом України на корисну модель № 143340.

***Практичне значення*** одержаних результатів визначається насамперед тим, що розроблені методологічні засади та апарат розрахунку слугують безпосереднім інструментом для проектування несучих дерев'яних конструкцій. Розроблені та апробовані технологічні способи попереднього напруження комбіновано армованих балок відкривають можливість практичного виготовлення елементів нового конструктивного типу. Практичне значення мають також розроблені рекомендації щодо оптимального конструювання поперечного перерізу.

Сукупність отриманих результатів створює наукову та методичну базу для подальшого нормування проектування армованих дерев'яних конструкцій в Україні.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес Національного університету водного господарства та природокористування та у робочі проекти ТОВ «БІМ ФАКТОР проект» при розробці конструктивних рішень капітальних ремонтів несучих дерев'яних конструкцій покриття.

**Повнота відображення основних положень дисертації  
в опублікованих працях**

Основні положення дисертації опубліковані у 51 наукових працях. Серед них: 10 статей у наукових виданнях, які включені до міжнародної наукометричних баз Scopus та Web of Science, 26 статей в спеціалізованих наукових виданнях, що входять до переліку МОН України категорії «Б»; 1 стаття в інших виданнях. Результати досліджень достатньо апробовані на міжнародних науково-практичних конференціях і семінарах, про що свідчить 13 публікацій у тезах доповідей. Додатково відображає наукові результати дисертації 1 патенти України на корисну модель.

Аналіз публікацій свідчить, що вони достатньо повно висвітлюють наукові положення та висновки, що містяться в дисертації.

**Зауваження по роботі**

1. У дисертації аналізується переважно одноразове короткочасне навантаження, тоді як у реальних умовах дерев'яні конструкції підлягають дії тривалих навантажень, що суттєво впливає на повзучість та залишкові деформації. Було б доцільним розглянути питання можливого застосування

розроблених положень для оцінки напружено-деформованого стану за тривалих навантажень.

2. В розділі 3 автор приводить графіки «момент-кривина» (рис. 3.3-3.5), та графіки прогинів (рис. 3.7-3.9), проте не вказує явно які вихідні геометричні характеристики елементів були прийняті для моделювання. Чи застосовні отримані дані для розмірів перерізів, що характерні для практичного будівництва, і для яких саме?

3. Попереднє напруження у вуглецевій стрічці в роботі розглядається переважно в процесі виготовлення та за короткочасного навантаження. Втім, явище релаксації напружень у композитній арматурі та повзучість деревини з часом можуть призводити до втрати попереднього натягу. Як слід враховувати цей ефект при практичному проектуванні за запропонованою методологією?

4. Кількість дослідних балок в експериментальних дослідженнях є відносно невеликою (дві-три балки на серію), що ускладнює отримання статистично репрезентативних результатів і підвищує вплив природньої мінливості механічних властивостей деревини на отримані дані.

5. Дослідні балки виготовлялись у лабораторних умовах і, відповідно, мали відносно невеликі розміри. Між тим на несучу здатність дерев'яних елементів впливає розмір поперечного перерізу, що пояснюється теорією Вейбулла. Автор згадує цю теорію у розділі 1.1, проте не обговорює, яким чином отримані експериментальні результати можна коректно переносити на повнорозмірні конструкції.

6. У роботі автор вживає термін «деформаційна методика», однак його відмежування від «методу граничних станів», закладеного в Eurocode 5 (EN 1995-1-1) та ДБН В.2.6-161:2017, не завжди є очевидним. Зокрема, не цілком зрозуміло, яким чином результати, отримані за запропонованою деформаційною методикою, співвідносяться з частковими коефіцієнтами надійності та характеристичними значеннями міцності, що використовуються в проектуванні.

7. У розділі 6 числове моделювання в програмному комплексі ЛІРА-САПР виконано в лінійно-пружній постановці, хоча в попередніх розділах автор використовує деформаційну модель.

8. Проведені дослідження зосереджені на одноразовому статичному навантаженні, тоді як дерев'яні несучі конструкції в реальних умовах можуть зазнавати циклічних впливів. Доцільно було б навести короткий теоретичний аналіз поведінки комбіновано армованих елементів при повторних навантаженнях або окреслити межі застосовності розробленої методики для таких умов.

9. В текст дисертації доцільно було б включити інформацію щодо економічного ефекту від запропонованих технічних рішень армованих балок і рекомендаціями щодо впровадження у будівельну практику.

10. В роботі є деякі неточності редакційного характеру. Наприклад, позначення на рис. 1.11 не співпадають з підписами до нього; рис. 2.19, 2.20 розміщені в тексті підрозділу 2.3, тоді як відносяться до підрозділу 2.2; у списку використаної літератури відсутня позиція під номером 251 (перехід від 250 одразу до 252), а деякі позиції задвоєні (наприклад, дві позиції під номером

213). Тим не менше, дисертаційна робота загалом оформлена якісно та характеризується логічною послідовністю викладення матеріалу.

### Ідентичність автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації та викладеним у ній результатам наукових досліджень. Наукові положення, результати та висновки за темою дослідження, які викладені в авторефераті, ідентичні наведеним в дисертації.

### Загальна оцінка дисертаційної роботи

Наведені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і не зменшують ступеня наукової обґрунтованості та достовірності отриманих результатів та висновків.

За обсягом виконаних досліджень, актуальністю, науковою новизною, достовірністю та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота **Гомона Петра Святославовича** «Методологічні засади моделювання та розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини з комбінованим армуванням», є завершеною працею та відповідає паспорту спеціальності 05.23.01 – «Будівельні конструкції, будівлі та споруди», а також вимогам «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197.

Враховуючи належний науковий рівень виконання дисертаційної роботи, вважаю, що 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 залізобетонних  
і кам'яних конструкцій,  
Українського державного  
університету науки і технологій



Світлана ШЕХОРКІНА

Підпис С. Є. Шехоркіної засвідчую:

Учений секретар  
Українського державного  
університету науки і технологій



Тетяна РАДКЕВИЧ