

ВІДГУК

на дисертаційну роботу **Бітюкова Дмитра Олеговича**
на тему: **«Робота багат шарових дерев'яних балок з клеєної деревини при дії імпульсних навантажень»**, представлену на здобуття наукового ступеня
доктора філософії в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво за
спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Детальний аналіз дисертаційної роботи Бітюкова Дмитра Олеговича на тему «Робота багат шарових дерев'яних балок з клеєної деревини при дії імпульсних навантажень» та розгляд його наукових публікацій дозволяє сформулювати наступні висновки, а також надати загальну оцінку проведеного дослідження.

Актуальність теми дисертаційного дослідження не викликає сумнівів, оскільки в сучасному будівництві спостерігається стале розширення сфер застосування конструкцій із клеєної та перехресно-клеєної деревини. Такі конструкції поєднують високі конструктивні характеристики з екологічними перевагами, що відповідає сучасним тенденціям розвитку будівельної галузі. Водночас розширення їх використання потребує поглибленого вивчення особливостей роботи за дії динамічних, зокрема короткочасних імпульсних, навантажень.

Особливої актуальності роботі надає те, що автор комплексно поєднав експериментальні дослідження, аналітичні розрахунки та чисельне моделювання роботи балок із суцільної, клеєної та перехресно-клеєної деревини при дії імпульсного навантаження. Отримані результати сприяють розвитку методів прогнозування динамічної поведінки дерев'яних конструкцій і можуть бути використані для підвищення надійності їх проектування, зокрема під час оцінювання стійкості будівель до аварійних та вибухових впливів.

Зважаючи на це, дисертаційна робота Бітюкова Дмитра Олеговича є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору. Отримані результати спрямовані на розв'язання важливого науково-прикладного завдання з визначення закономірностей роботи балок із суцільної, клеєної та перехресно-клеєної деревини при дії зосереджених імпульсних навантажень, розвитку методів їх експериментального дослідження та розрахунку, а також удосконалення підходів до оцінювання динамічної поведінки дерев'яних конструкцій.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій та достовірність отриманих результатів дисертації забезпечуються

комплексним поєднанням теоретичних, експериментальних і чисельних досліджень, виконаних відповідно до поставленої мети та сформульованих завдань. У роботі використано положення будівельної механіки, теорії коливань, механіки деревини та сучасні методи розрахунку конструкцій на основі методу скінченних елементів.

Достовірність отриманих результатів підтверджується проведенням статичних і динамічних випробувань балок із суцільної, клеєної та перехресно-клеєної деревини, статистичним опрацюванням експериментальних даних, їх верифікацією за методикою С.П. Тимошенка та чисельним моделюванням у програмному комплексі методом скінченних елементів. Висока узгодженість експериментальних, аналітичних і чисельних результатів свідчить про обґрунтованість сформульованих наукових положень, висновків і практичних рекомендацій, а також про достовірність отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні важливого наукового завдання щодо розвитку методів експериментального дослідження та розрахунку дерев'яних балок із суцільної, клеєної та перехресно-клеєної деревини при дії зосередженого імпульсного навантаження. Найбільш вагомими науковими результатами, що характеризуються новизною, є такі:

- ***вперше*** розроблено експериментальну установку та методологічний підхід до дослідження динамічних властивостей балкових елементів із суцільної, клеєної та перехресно-клеєної деревини при дії імпульсного навантаження;
- ***вперше*** встановлено закономірності динамічної роботи досліджуваних балок, визначено вплив деформацій зсуву на їх динамічний відгук, а також експериментально визначено декременти затухання коливань і коефіцієнти динамічності для різних типів деревини;
- ***дістали подальшого розвитку*** аналітичні підходи до розрахунку дерев'яних балок на основі теорії коливань С.П. Тимошенка з урахуванням деформацій зсуву, що дало змогу підвищити точність прогнозування їх динамічної поведінки;
- ***удосконалено*** комплексну методику визначення фізико-механічних характеристик та розрахунку балок із суцільної, клеєної та перехресно-клеєної деревини на основі поєднання експериментальних, аналітичних і чисельних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що результати дисертаційного дослідження можуть бути використані при проведенні експериментальних досліджень, верифікації чисельних моделей та вдосконаленні методів розрахунку дерев'яних конструкцій за дії імпульсних

навантажень. Розроблений експериментальний стенд, створене програмне забезпечення та отримані експериментальні характеристики динамічної роботи балок становлять практичний інтерес для наукових досліджень і інженерної практики.

Повнота викладення основних наукових положень дисертації в опублікованих працях відповідає встановленим вимогам на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Результати дослідження опубліковано у 7 наукових працях, у тому числі у 2 статтях у фахових виданнях України категорії «Б», 2 статтях у фахових виданнях України категорії «А», що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, а також у 3 тезах доповідей на національних і міжнародних науково-технічних конференціях.

Зміст опублікованих праць повною мірою відображає основні наукові положення, результати та висновки дисертаційної роботи, що свідчить про належний рівень їх апробації та повноту висвітлення результатів виконаного дослідження.

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

Дисертаційна робота має класичну структуру: вона складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків до роботи, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 188 сторінок друкованого тексту, основний її зміст викладено на 141 сторінках.

Дисертація написана українською мовою, її структура та оформлення відповідають установленим вимогам. Вона характеризується єдністю змісту.

Конкретно сформульовано мету і задачі досліджень, визначено предмет і об'єкт дослідження, вказано наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів.

У вступі автором достатньо повно й аргументовано обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та основні завдання, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, а також відображено відомості щодо апробації та публікацій. Вступ є змістовним, логічно побудованим.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено аналізу сучасного стану наукових досліджень, присвячених роботі дерев'яних конструкцій, зокрема балок із суцільної, клеєної та перехресно-клеєної деревини, за статичних і динамічних навантажень. Автором виконано ґрунтовний огляд вітчизняних і зарубіжних наукових праць, розглянуто сучасні конструктивні рішення, фізико-механічні особливості деревини, а також підходи до визначення динамічних характеристик і моделювання роботи дерев'яних елементів. Аналіз літературних

джерел є достатньо повним, логічно структурованим і дозволяє зробити обґрунтований висновок щодо недостатньої дослідженості поведінки дерев'яних балок при дії зосереджених імпульсних навантажень.

Важливим результатом першого розділу є чітке визначення існуючих наукових задач, пов'язаних із відсутністю достатніх експериментальних даних щодо динамічної роботи балок із сучасних інженерних дерев'яних матеріалів, а також обмеженими можливостями їх чисельного моделювання з урахуванням особливостей деформування та розсіювання енергії. Проведений аналіз став належною основою для формулювання мети, завдань і методології дисертаційного дослідження та переконливо обґрунтовує доцільність виконання представленої роботи.

У другому розділі дисертаційної роботи автором наведено методику проведення експериментальних досліджень, обґрунтовано програму статичних і динамічних випробувань, описано процес виготовлення та підготовки дослідних зразків із суцільної, клеєної та перехресно-клеєної деревини. Значну увагу приділено забезпеченню однакових умов експерименту, контролю фізико-механічних характеристик матеріалу, а також розробленню конструкції випробувального стенда та вимірювального комплексу для дослідження роботи балок під дією зосередженого імпульсного навантаження.

Позитивної оцінки заслуговує комплексний підхід до організації експериментальних досліджень. Запропонована методика забезпечує можливість отримання достовірних статичних і динамічних характеристик досліджуваних конструкцій, мінімізує вплив сторонніх факторів на результати випробувань та створює належні умови для подальшого порівняння експериментальних даних із результатами аналітичних розрахунків і числового моделювання. Важливим результатом розділу є також розроблення оригінального експериментального стенда та методики дослідження дерев'яних балок при дії короткочасного імпульсного навантаження.

Методика експериментальних досліджень є достатньо обґрунтованою, логічно побудованою та відповідає поставленій меті роботи. Її реалізація забезпечила отримання вихідних експериментальних даних, які стали основою для подальшого визначення фізико-механічних характеристик, аналізу динамічного відгуку та формулювання основних наукових положень дисертаційної роботи.

У третьому розділі дисертаційної роботи наведено результати комплексних експериментальних досліджень балок із суцільної, клеєної та перехресно-клеєної деревини при статичних і зосереджених імпульсних

навантаженнях. Автором послідовно визначено фізико-механічні характеристики досліджуваних матеріалів, отримано експериментальні залежності «навантаження–прогин», встановлено модулі деформації та зсуву, що стало основою для подальшого аналізу динамічної роботи конструкцій. Виклад матеріалу є логічним, а результати достатньо повно проілюстровані таблицями та графічними матеріалами.

Особливу увагу заслуговує проведене дослідження динамічної поведінки дерев'яних балок під дією імпульсного навантаження. Автором отримано осцилограми вільних затухаючих коливань, визначено максимальні переміщення, власні частоти коливань, логарифмічні декременти затухання та виконано спектральний аналіз експериментальних даних із застосуванням швидкого перетворення Фур'є. Порівняння експериментальних результатів із теоретичними розрахунками продемонструвало їх добру узгодженість, що підтверджує достовірність прийнятої методики досліджень.

Важливим результатом розділу є встановлення закономірностей зміни жорсткісних і динамічних характеристик залежно від конструктивної будови деревини. Показано, що перехресно-клеєна деревина характеризується найменшими значеннями модулів пружності та власної частоти коливань, тоді як балки із суцільної деревини мають найвищі показники жорсткості та найбільшу інтенсивність затухання коливань. Отримані результати мають науковий інтерес і є вагомим експериментальною основою для подальшого чисельного моделювання та практичного використання при оцінюванні динамічної роботи дерев'яних конструкцій.

Розділ 4 дисертаційної роботи є одним із ключових, оскільки в ньому виконано комплексний аналіз результатів експериментальних досліджень, їх верифікацію чисельними методами та розроблено підходи до розрахунку дерев'яних балок під дією зосередженого імпульсного навантаження. Позитивним є те, що автор не обмежився лише зіставленням експериментальних і розрахункових даних, а здійснив аналіз різних підходів до моделювання, зокрема із застосуванням стрижневих та просторових скінченних елементів. Отримані результати переконливо демонструють достатньо високу узгодженість між експериментальними та теоретичними даними, що підтверджує коректність прийнятих моделей і методики досліджень.

Безперечною перевагою розділу є реалізація аналітичної методики Тимошенка для задачі ударної взаємодії та її програмна реалізація мовою Python, що дозволило автоматизувати процес розрахунку. Важливим є також виконання порівняння результатів аналітичного розрахунку, експериментальних

досліджень і чисельного моделювання в програмному комплексі МСЕ, яке підтвердило прийнятну точність запропонованого підходу. Окремої позитивної оцінки заслуговує визначення коефіцієнтів динамічності для різних типів дерев'яних балок та їх зіставлення з теоретичними значеннями, отриманими на основі апроксимації імпульсу трикутною діаграмою.

У цілому розділ виконано на високому науковому та методичному рівні. Отримані результати є логічно обґрунтованими, підтверджуються експериментальними, аналітичними та чисельними дослідженнями, а запропоновані підходи до моделювання й розрахунку дерев'яних балок під дією імпульсних навантажень мають як наукову новизну, так і практичне значення для подальшого розвитку методів розрахунку конструкцій із конструкційної деревини.

Загальні висновки відповідають поставленим завданням дослідження і повністю відображають суть виконаної роботи.

Додатки дисертації містять необхідні матеріали, які підтверджують повноту виконаних досліджень та практичну спрямованість роботи. До них включено протоколи проведення статичних і динамічних експериментальних випробувань, приклад розрахунку з використанням результатів дисертаційного дослідження та довідку про апробацію отриманих наукових результатів.

Зауваження та дискусійні питання по дисертаційній роботі.

Розділ 1:

1. Огляд літературних джерел місцями має реферативний характер. Автор здебільшого викладає результати інших науковців, тоді як їх критичний аналіз та порівняння різних підходів до оцінки динамічної роботи дерев'яних конструкцій представлені недостатньо

2. У розділі недостатньо уваги приділено нормативній базі щодо врахування динамічних та ударних навантажень при проєктуванні дерев'яних конструкцій. Доцільним було б виконати порівняльний аналіз положень чинних європейських та міжнародних нормативних документів (Eurocode 5, Eurocode 1, ISO тощо) у частині розрахунку дерев'яних конструкцій на динамічні впливи.

Розділ 2:

3. Варто було б докладніше описати конструктивне виконання шарнірного закріплення балок та підтвердити його відповідність прийнятій розрахунковій схемі.

4. При описі випробувального стенда доцільно було б детальніше обґрунтувати вибір параметрів ударного навантаження (маси вантажу, висоти

падіння, тривалості імпульсу) та показати, наскільки вони відповідають реальним умовам експлуатації дерев'яних конструкцій під дією імпульсних навантажень.

5. Доцільно було б ширше висвітлити межі застосування запропонованої методики та можливість її використання для конструкцій інших типів, прольотів або схем навантаження.

Розділ 3:

6. Незрозуміло, чи застосовувалися додаткові вагові (віконні) функції під час виконання спектрального аналізу експериментальних сигналів та виконанні спектрального аналізу.

7. Бажано було б детальніше висвітлити підхід до визначення коефіцієнтів Пуассона, використаних у чисельному моделюванні досліджуваних матеріалів.

8. У розділі встановлено закономірності зміни динамічних характеристик, однак недостатньо висвітлено вплив природної мінливості фізико-механічних властивостей деревини (вологість, щільність, сучкуватість, орієнтація волокон) на отримані експериментальні результати. Врахування цих факторів дозволило б ширше обґрунтувати одержані висновки.

Розділ 4:

9. Немає обґрунтування, чим обумовлений вибір прогинів як базового параметра для визначення коефіцієнтів динамічності замість згинальних моментів або напружень.

10. При побудові просторової моделі деревини використано ортотропну модель матеріалу з дванадцятьма пружними параметрами. Разом із тим, доцільно було б виконати аналіз чутливості результатів до зміни окремих пружних характеристик (модулів пружності, модулів зсуву та коефіцієнтів Пуассона), що дозволило б оцінити їх вплив на точність моделювання

11. У розділі досліджено моделювання балок стрижневими (1D) та просторовими (3D) скінченними елементами, однак недостатньо детально обґрунтовано критерії вибору того чи іншого типу моделі залежно від практичних задач розрахунку та вимог до точності результатів.

12. Під час аналізу динамічної роботи балок основну увагу приділено впливу типу деревини на характеристики коливань. Разом із тим, доцільно було б ширше дослідити вплив геометричних параметрів балок, умов закріплення та величини імпульсного навантаження на зміну коефіцієнтів динамічності й демпфування.

У цілому наведені зауваження мають переважно дискусійний характер та не знижують наукової цінності дисертаційної роботи в цілому. Отримані

здобувачем результати не викликають сумніву, є науково обґрунтованими, мають наукову новизну і практичне значення.

Загальний висновок про дисертаційну роботу

Враховуючи належний науковий рівень дисертаційної роботи вважаю, що робота **БІТЮКОВА Дмитра Олеговича** «Робота багатошарових дерев'яних балок з клеєної деревини при дії імпульсних навантажень», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія», за актуальністю, обсягом виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, змістом, рівнем наукової новизни та практичним значенням є завершеною, самостійно виконаною науковою працею та відповідає встановленим вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44, а її автор **БІТЮКОВ Дмитро Олегович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» в галузі знань 19 – «Архітектура та будівництво».

Офіційний опонент:

Професор кафедри будівництва та цивільної інженерії Національного університету «Київський авіаційний інститут»

доктор технічних наук, професор

Марія БАРАБАШ