

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента Каравана Віктора Васильовича на дисертаційну роботу **Кравза Андрія Романовича** на тему:

“Міцність та деформативність дерев’яних армованих вант”,

представлену у спеціалізовану вчену раду К 26.833.01 при Державному науково-дослідному інституті будівельних конструкцій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність теми дисертації.

При проектуванні будівель громадського та промислового призначення в Україні й світі все частіше застосовують великопролітні просторові покриття з дерев’яних, металевих або залізобетонних конструкцій. Серед просторових конструкцій покриття будівель різної Гаусової кривизни широко використовують саме вантові системи (висячі оболонки) додатної Гаусової кривизни, які суміщають у собі несучі та огорожуючі функції, надають будівлям різної у плані форми вільного планувального рішення, високої архітектурної виразності, відмінних акустичних характеристик, дозволяють економити матеріали тощо. Використання у висячих покриттях будівель і споруд жорстких вант замість гнучких дозволяє усунути один з головних недоліків таких систем – підвищену їх деформативність. Завдяки великій матеріальній базі, використанню сучасних технологій обробки деревини, технологічних ліній по виготовленню дерев’яних конструкцій (у тому числі дощато-клєєних) в Україні все частіше при проектуванні та зведенні будівель і споруд застосовують конструкції з деревини. Висока міцність і жорсткість деревини при порівняно невеликій вазі, її висока корозійна стійкість дозволяють проектувати у будівлях покриття великих прольотів. Крім того, перевагою дерев’яних конструкцій є велика варіативність, відносна легкість, надійність та технологічність виконання з’єднань їх конструктивних елементів. Зважаючи на специфіку поведінки висячих конструкцій під навантаженням, актуальним є питання дослідження роботи саме жорстких дерев’яних та дерев’яних армованих вант, з’єднань їх конструктивних елементів, а також необхідність розробки та удосконалення методів їх розрахунку. Тому, зважаючи на вищесказане, тема дисертаційної роботи здобувача є актуальною як з практичної, так і з теоретичної точок зору.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напряму «Теоретичні та експериментальні дослідження звичайних та попередньо напружених залізобетонних, металевих, дерев’яних та інших конструкцій будівель, споруд, мостів і фундаментів та методів їх підсилення з врахуванням різних видів армування, бетонування, способів та інтенсивності навантаження, дії агресивного середовища, підвищених температур» кафедри «Будівельні

конструкції та мости» (17. 06. 2014, протокол № 10); дисертація виконана в межах науково-дослідних робіт по господарських темах №1645, №1986, №030, проведених у 2012-2015 роках.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій викладених у дисертації.

Достовірність результатів у роботі забезпечується значним обсягом власних системних експериментальних і теоретичних досліджень, виконанням лабораторних досліджень з використанням атестованого устаткування та повірених і протарованих приладів, аналізом літературних джерел з даної тематики. Основою для обґрунтування наукових положень по дисертації слугує використання перевірених практикою експериментальних та чисельних методів досліджень, задовільна збіжність експериментальних та теоретичних даних, що підтверджено статистично. Висновки по дисертаційній роботі у повній мірі відображають отримані автором наукові результати і обґрунтовані комплексом теоретичних і числових досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів:

- розроблено нову вантову конструкцію, жорсткість якої забезпечується дерев'яними елементами, при цьому вона залишається легкою і простою в монтажі;
- отримано нові експериментальні результати міцності та деформативності дерев'яних вант різних серій в залежності від виду з'єднання дощатих дерев'яних елементів між собою, а також від дії різних видів навантаження, а саме рівномірно та нерівномірно розподіленого і від'ємного;
- запропоновано коефіцієнти податливості з'єднань дощатих дерев'яних елементів для розрахунку прогинів дерев'яних армованих вант;
- запропоновано інженерну методику розрахунку дерев'яних армованих вант.

Практичне значення отриманих результатів роботи:

- розроблена методика експериментальних досліджень несучої здатності та деформативності дерев'яних армованих вант;
- розроблена інженерна методика розрахунку для проектування вантових дерев'яних конструкцій покриттів будівель;
- розроблені практичні рекомендації з проектування і виготовлення дерев'яних армованих вант та запропоновано технологію створення попереднього натягу арматури вант;
- результати досліджень впроваджені при розробці проекту покриття індивідуального житлового будинку, а також використані при викладанні навчальних дисциплін за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів та магістрів з спеціальності 191 «Архітектура і містобудування».

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях. Апробація результатів роботи.

Основний зміст роботи викладений у 7 наукових публікаціях, серед них: 4 статті у наукових фахових виданнях України; 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, що включено до міжнародних

наукометричних баз даних; 2 публікації апробаційного характеру. Опубліковані праці в повній мірі відображають зміст дисертаційної роботи. Автореферат повністю відповідає змісту дисертації і є її коротким викладом.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і отримали позитивну оцінку на наукових семінарах, симпозіумах, нарадах, а також наукових конференціях всеукраїнського та міжнародного рівнів упродовж 2013 – 2021 рр.

Обсяг та структура дисертаційної роботи.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 178 найменувань, 5 додатків. Робота викладена на 186 сторінках машинописного тексту, в тому числі 129 сторінок основного тексту, 25 таблиць, 99 рисунків, 18 сторінок списку використаних джерел та 19 сторінок додатків.

Оцінка змісту дисертації.

У **вступі** обґрутовано вибір теми дослідження, сформульовано мету та завдання, об'єкт і предмет, описано методи дослідження, представлено отримані автором основні положення, що мають наукову новизну та практичне значення, наведено дані про апробацію результатів дисертації, особистий внесок здобувача, зв'язок роботи з науковими програмами та темами.

У **першому розділі** проведено огляд наукової та нормативної літератури за тематикою досліджень, а саме: особливості висячих оболонок, наведена класифікація висячих покриттів залежно від методу стабілізації, представлено основні властивості деревини та існуючі випадки використання дерев'яних вант в великопрогонових конструкціях покриттів будівель і мостів, розглянуто варіанти з'єднання дерев'яних елементів, які можуть застосовуватися у вантових конструкціях, проаналізовано наявні методики аналітичного та чисельного розрахунку таких конструкцій. Визначено, що одним з найбільш ефективних і перспективних методів стабілізації висячих покриттів є використання згинально-жорстких ниток. Запропоновано спільне застосування дерев'яних елементів та канатів у конструкції вантових покриттів будівель. На основі аналізу літературних джерел прийшли до висновку, що дослідження міцності та деформативності дерев'яних армованих вант є актуальною проблемою з широким колом недостатньо вивчених питань та відсутністю загальноприйнятої методики розрахунку. На основі зроблених висновків по розділу сформульовані задачі дослідження.

У **другому розділі** представлено обсяг та методику експериментальних досліджень. Відповідно до програми експериментальних досліджень було виготовлено три зразки дерев'яних вант, армованих сталевим канатом типу ТК діаметром 5,8 мм, зразки відрізнялися типом з'єднання дерев'яних елементів. Дерев'яні елементи зразка 1-ї серії з'єднувались між собою за допомогою металевих пластин товщиною 2 мм, які прикріплювались до дошки саморізами 35×3 мм. З'єднання дерев'яних елементів вант зразка 2-ї серії були виконані за

допомогою похило вклесних стержнів. Дерев'яні елементи зразка 3-ї серії з'єднувались між собою за допомогою металозубчатих пластин (МЗП). Також була передбачена можливість випробування дерев'яних вант без армування канатом.

Дослідній зразок ванти проектувався по двошарнірній схемі пологої згиально-жорсткої нитки з віссю, яка описується рівнянням квадратної параболи. Зразок ванти мав проліт $l=6$ м, стріла провисання становила $f=0,5$ м. Дослідні зразки всіх вант виготовляли з ялини першого сорту вологістю менше 12%, вони складалися з п'яти дерев'яних дощатих елементів довжиною 1230 мм і розміром поперечного перетину 145×32 мм.

Випробування дослідних зразків вант проводилося на дію чотирьох видів завантаження: рівномірно розподіленого по довжині ванти (основне), розподіленого по довжині по трикутній епюрі, розподіленого на половину прольоту ванти, нерівномірно розподіленого від'ємного навантаження. Величина попереднього натягу стального канату зразків вант становила: 3, 6, 10 кН, що складало до 50% розрахункового розривного зусилля канату. Для проведення експериментальних досліджень дерев'яних вант була запроектована та виготовлена випробувальна установка. Для визначення фізико-механічних характеристик матеріалів були відібрані та випробувані зразки з деревини: «вісімки» – на розтяг, кубики – на стиск, балки – на згин; а також зразки канату – на розтяг до розриву. Для визначення міцності та деформативності з'єднання на металозубчатих пластинах було виготовлено та випробувано 4 дослідні зразки вузлових з'єднань.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень роботи (несуча здатність та деформативність) дерев'яних армованих вант трьох серій на дію рівномірно, нерівномірно розподілених, а також від'ємних навантажень; вказані фізико-механічні характеристики деревини та канату; наведено результати дослідження з'єднань дерев'яних елементів ванти за допомогою МЗП. За критерій руйнування дерев'яної ванти було прийнято навантаження, при якому ванта досягала граничного прогину $w^{cr}=l/200=30$ мм. Випробування проводились до руйнування зразків кожної серії. Руйнування зразків вант відбувалось по з'єднанню дерев'яних елементів. В результаті аналізу експериментальних досліджень зразків в розділі наведені значення руйнівних навантажень, прогинів, розпору, а також напружені в поперечному перерізі вант всіх серій.

Дослідження дерев'яних вант з трьома типами вузлових з'єднань дерев'яних елементів показали, що найбільш ефективним та технологічним є з'єднання на МЗП. Результати випробування деревини на розтяг, стиск, згин, а також канату на розрив, були використані для обчислення приведених характеристик поперечного перерізу дерев'яної армованої ванти, які в подальшому застосували для обчислення розрахункових значень міцності та деформативності вант.

У четвертому розділі автором проведено аналіз отриманих результатів теоретичних та експериментальних досліджень. Обчислено критерій жорсткості $\varphi = 55,35\% > \alpha = 5\%$, відповідно до якого досліджувану дерев'яну армовану ванту розраховували за теорією жорстких ниток. Представлено дві методики статичного розрахунку дерев'яних вант: аналітичного розрахунку – на основі теорії розрахунку жорстких ниток, та чисельного розрахунку – на основі методу скінченних елементів в програмному комплексі RFEM Dlubal. Здійснено аналіз податливості опор та з'єднань дерев'яних елементів вант, що суттєво впливає на роботу жорстких ниток. Перевірено методики розрахунку прогинів вант, які враховують податливість опор. В результаті була удосконалена існуюча методика розрахунку прогинів вант від рівномірно розподіленого навантаження за рахунок використання коефіцієнтів податливості з'єднань окремих дерев'яних елементів.

Встановлено, що наявність канату і його попередній натяг дозволило зменшити прогини вант на 11...17% в залежності від типу з'єднання дерев'яних елементів та зусилля попереднього натягу. Використання стального канату з попереднім натягом дозволило суттєво зменшити розтягуючі напруження в тілі дерев'яної ванти (до 61%), порівняно з неармованим зразком ванти. Встановлено, що при попередньому натягу канату величина розпору на опорах не змінювалась, зусилля від натягу передавались на дерев'яне тіло ванти, чим спричиняли його обтиск. Можна стверджувати, що використання попереднього натягу дозволяє знизити деформативність висячого дерев'яного покриття та підвищити його несучу здатність. Встановлено, що дерев'яним елементом конструкції армованих вант сприймалося 87% від загального розтягуючого зусилля.

У загальних висновках стисло викладено основні результати та досягнення по дисертаційній роботі. Розроблено легку вантову армовану конструкцію, жорсткість якої забезпечується за рахунок використання дерев'яних дощатих елементів з'єднаних між собою податливими зв'язками. Розроблено методику та відповідну дослідну установку для проведення статичних випробувань дерев'яних армованих вант з можливістю прикладання різних видів зовнішніх навантажень. За результатами виконаних досліджень запропоновані коефіцієнти податливості з'єднань дощатих дерев'яних елементів. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження закономірностей зміни опорних реакцій та зусиль у дерев'яних армованих вантах з урахуванням податливості опор. Розроблено технологію виготовлення дерев'яної армованої ванти з трьома типами з'єднання дощатих елементів та методику регулювання зусиль та прогинів вант за допомогою зміни величини попереднього натягу канату. Розроблено рекомендації з проектування дерев'яних армованих вант і впроваджено їх результати в реальному проектуванні та навчальному процесі.

Зауваження по роботі

Поряд із загальним позитивним враженням від роботи виникли наступні зауваження:

- 1) На мою думку, у темі та по тексту дисертації, замість терміну «міцність» доцільніше було б вживати термін «несуча здатність», так як «міцність» більше вживається відносно окремих матеріалів, а «несуча здатність» – щодо конструкцій в цілому та їх елементів.
- 2) З яких міркувань прийнята та чим регламентована ширина дерев'яного перерізу дослідних зразків вант (моделей) в 32 мм? Більш за все, в натурних конструкціях, це будуть бруси (швидше дощато-клєєні) з співвідношенням сторін $b \approx 0,35 \dots 0,5h$. За прийнятих розмірів моделі, в натурній конструкції вант прольотом 36 м при масштабному перетворювачі 1:6, отримаємо дерев'яний переріз занадто розвинений у висоту відносно його ширини.
- 3) Як і де виконувалось запресування металевих зубчатих пластин (МЗП) у вузлах дослідних зразків, і як це вплинуло на міцність з'єднань елементів конструкцій?
- 4) Виникає питання доцільності використання тензометрів Гугенбергера для визначення поздовжніх деформацій дерев'яних зразків «вісімок» при їх випробуванні на центральний розтяг. Як правило, тензометри Гугенбергера використовують для визначення деформацій однорідних матеріалів. Можливо тому вони не одразу включились в роботу (див. стр. 101)? Для цих цілей можна було б використати датчики опору (тензорезисторні перетворювачі).
- 5) Чому відносні деформації дерев'яних зразків вимірюються у % (див. рис. 3.19)? Чому напруження по тексту дисертації позначаються $f_{t,0,k}$, $f_{c,0,k}$, $f_{m,k}$ тощо, а не σ ?
- 6) Загальні висновки по роботі не в повній мірі відображають результати проведених здобувачем експериментальних і теоретичних досліджень та поставлені задачі.

Висновок

Представлена дисертація Кравза Андрія Романовича є завершеною науковою працею. Вона викладена технічно грамотною мовою, її оформлення в повній мірі відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій. В дисертаційній роботі отримані достатньо обґрунтовані та експериментально підтвердженні нові наукові результати, що вирішують актуальну задачу роботи та розрахунку дерев'яних армованих вант. Результати роботи прийняті до впровадження та опубліковані у фахових наукових виданнях. Автореферат дисертації оформлено згідно вимог, він в повній мірі відображає зміст роботи та свідчить про вагому професійну підготовку здобувача. Висловлені зауваження не торкаються принципових положень і результатів розглянутої дисертації та не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Усе вище викладене дозволяє зробити висновок про те, що дисертаційна робота Кравза А.Р. на тему: “**Міцність та деформативність дерев'яних армованих вант**” відповідає вимогам МОН України та пп. 9, 11, 12, 13, 14 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013р., а її автор, **Кравз Андрій Романович**, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент:

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри промислового,
цивільного будівництва та
інженерних споруд
Національного університету
водного господарства та
природокористування*



Караван В.В.

Особистий підпис доцента кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд НУВГП, кандидата технічних наук Віктора Васильовича Каравана засвідчує

Учений секретар НУВГП



Подлевський А.А.

