УДК 624.011.1:691.11

Кравз А.Р.[1]

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ ВАНТ АРМОВАНИХ СТАЛЬНИМ КАНАТОМ ЗІ З'ЄДНАННЯМ ОКРЕМИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛОЗУБЧАТИМИ ПЛАСТИНАМИ

Анотація. Наведено методику експериментальних досліджень роботи дерев'яних вант армованих стальним канатом зі з'єднанням окремих дерев'яних елементів металевими зубчатими пластинами типу МЗП-1,2. Випробування проводились на дію рівномірно розподіленого по всій довжині ванти навантаження (власної ваги, снігу), несиметричного від'ємного навантаження (вітрового), навантаження розподіленого по трикутній епюрі та завантаження половини прольоту ванти рівномірно розподіленим навантаженням.

Ключові слова: висячі покриття, дерев'яні ванти, жорсткі нитки, методика випробувань, навантаження.

Аннотация. Приведена методика экспериментальных исследований работы деревянных вант армированных стальным канатом с соединением отдельных деревянных элементов металлическими зубчатыми пластинами типа МЗП-1,2. Исследования проводились на действие равномерно распределенной по всей длине ванты нагрузки (собственного веса, снега), несимметрической отрицательной нагрузкой (ветровой), нагрузкой распределённой по треугольной эпюре и загрузки половины пролёта ванты равномерной нагрузкой.

Ключевые слова: висячие покрытия, деревянные ванты, жесткие нити, методика испытаний, нагрузки.

Abstract. This article presents the method of testing the wooden reinforced cable stayed with connection on glued rods. Tests were conducted on the action of evenly distributed load throughout the length of the construction (net weight, snow), unevenly distributed negative load (wind), the load distributed on a triangular diagram and load half the span of construction evenly load.

Keywords: suspension roof, wooden structures, rigid fibers, method of testing, loads.

Постановка проблеми. Найбільш раціональним для покриття великопролітних виробничих та громадських споруд можна вважати використання висячих конструкцій, в яких основні несучі елементи працюють на розтяг, що дозволяє найбільш ефективно використовувати їхні високоміцні характеристики. Основним недоліком висячих покриттів є їх підвищена деформативність, що викликана появою в них кінематичних переміщень і пружніх деформацій. Таким чином, ключовою проблемою застосування висячих систем є задача підвищення їх жорсткості. До числа перспективних напрямків по вирішенню даної проблеми відносять розробку покриттів з використанням розтягнутих згинально-жорстких ниток. На сьогоднішній день найбільш широкого застосування знайшли жорсткі ванти виконані у вигляді зігнутих ферм або двотаврів – зварних або прокатних із маловуглецевої або низьколегованої сталі. Проте використання маловуглецевої або низьколегованої сталі для вантової конструкції замість високоміцних канатів знижує несучу здатність покриття, окрім того зростає власна вага покриття, що призводить до збільшення витрат матеріалів на усі опорні конструкції.

[1] Робота виконувалася під керівництвом д.т.н, проф. Демчини Б.Г.

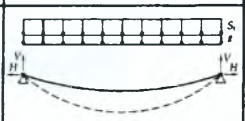
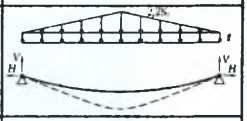
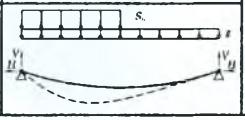
Для рішення цієї проблеми пропонується спільне застосування дерев'яних елементів та канатів, коли розтягуючі зусилля будуть нести сталеві канати, що мають великий розрахунковий опір на розтяг, а стабілізацію їх будуть забезпечувати дерев'яні елементи, з достатньо великою жорсткістю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попереднім аналізом літературних джерел, встановлено, що тема дерев'яних вант досліджувалась мало, хоча такий варіант збільшення жорсткості висячих конструкцій є досить ефективним, оскільки не сильно збільшує власну вагу покриття через незначну об'ємну вагу еревини. Методика досліджень дерев'яних вант подана в роботах [1, 2].

Мета статі – розроблення методики для вивчення характеру деформування дерев'яних армованих вант, розподілу напружень в поперечному перерізі дерев'яного елемента ванти, опорних та осьових зусиль при різних схемах завантаження.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до поставлених задач досліджень була розроблена програма експериментальних випробувань (табл. 1). Вона передбачала проведення чотирьох серій випробувань зразків дерев'яної вантової конструкції. В ході випробування № 13 та № 17, конструкції були доведені до руйнування, усі інші випробування проводилися в пружній стадії роботи матеріалів.

Таблиця 1 – Програма експериментальних випробувань

Серія	№ випробування	Вид навантаження	Схема навантаження	Армування	Попередній натяг канату, кг	Руйнування
III-С	10	Рівномірно розподілене		Канат 5,8мм за ГОСТ 3067-88	600	-
	11				1000	-
	13				1000	+
	17				1000	+
	14			Відсутнє	-	-
III-Н	12	Несиметричне від'ємне		Канат 5,8мм за ГОСТ 3067-88	600	-
III-Т	15	По трикутній епюрі			1000	-
III-П	16	Половина прольоту			1000	-

Конструкція зразка

Дослідній зразок проектувався по двохшарнірній схемі пологої згинально-жорсткої нитки з кривою провису по рівнянню квадратної параболи [3, с. 180]:

$$y = \frac{4f}{l^2}x(l-x).$$

Зразок ванти мав довжину 6 м. Стріла прогину підбиралась з конструктивних вимог в межах 1/6–1/15 прольоту і становила 0,5 м. Після підстановки даних значень в рівняння осі ванти, одержали:

$$y = \frac{4 \cdot 0.5}{6^2}x(6-x) = \frac{1}{18}x(6-x).$$

Дослідний зразок складався з п'яти дерев'яних дощатих елементів (рис. 1) довжиною 1230 мм і розміром поперечного перетину 145х32 мм. Висота перерізу одного елементу також підбиралась з конструктивних вимог, 1/40–1/50 прольоту ванти. Для дослідного зразка був підібраний стальний канат типу ТК конструкції 6х19+1х19, діаметром 5,8 мм [4].

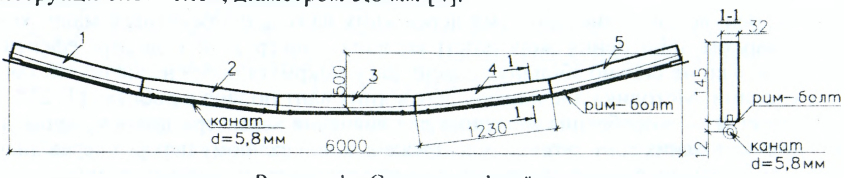
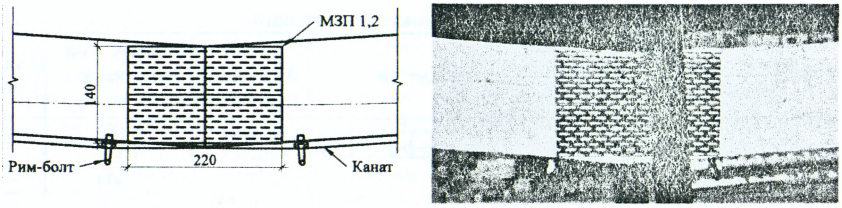


Рисунок 1 – Схема дерев'яної ванти

З'єднання дерев'яних дощатих елементів ванти по довжині, було виконане за допомогою металевих зубчатих пластин (надалі МЗП). Вдавлювання пластин виконували на пресі 2ПГ-100.

Канат приєднувався до дерев'яних елементів по довжині шарнірно-рухомо за допомогою рим-болтів (рис. 2).

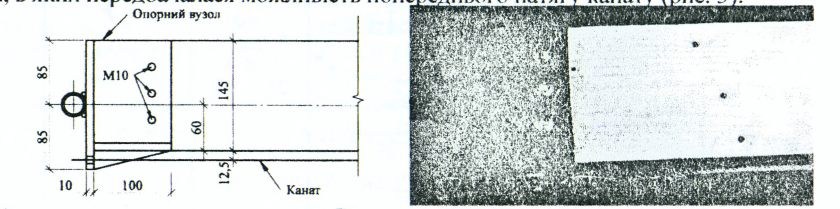


а) *б)*

а) схема; б) вигляд

Рисунок 2 – З'єднання дерев'яних дощатих елементів, та кріплення канату

Для анкерування канату на опорах та забезпечення сумісної роботи з дерев'яною частиною ванти було запроектовано та виготовлено металеві опорні вузли, в яких передбачалася можливість попереднього натягу канату (рис. 3).



а) б)

а) схема; б) вигляд

Рисунок 3 – Опорний вузол

Розрахунок з'єднання МЗП

Конструювання та розрахунок з'єднання було проведено відповідно до рекомендацій [5, С. 182–186].

Несуча здатність з'єднання МЗП з умови міцності пластини на розтяг N_p визначалась за формулою:

$$N_p = 2bR_p = 2 \times 140 \times 115 = 32200H = 32,2кН.$$

де $b = 140$ *мм* – максимальна ширина пластини, виходячи з конструктивних вимог, $R_p = 115$ *Н/мм* – розрахункова несуча здатність пластини на розтяг для $\alpha=0°–15°$ [5, с. 185, табл. IV.8].

Несуча здатність з'єднання на МЗП з умови зминання деревини і згину зубів N_c:

$$N_c = 2RF_b = 2\times80\times240 = 38400Н = 38{,}4\ кН,$$

де $R = 0{,}8$ *мПа* $= 80$ *Н/см*^{2} – розрахункова несуча здатність на 1см^2 робочої площі з'єднання для $\alpha=0°...15°$ [5, с. 185, табл. IV.8];

F_b – розрахункова площа пластини.

$$F_b = 2b_1l_1 = 2\times120\times100 = 24000мм^2 = 240\ см^2.$$

де $b_1 = h - 2c = 140 - 2\times10 = 120$ *мм* – ширина пластини, яка включається в роботу (рис. 4);

$l_1 = 0{,}5l - c = 0{,}5\times220 - 10 = 100$ *мм* – довжина пластини, яка включається в роботу.

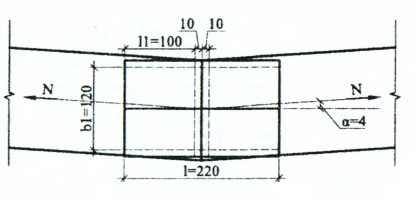
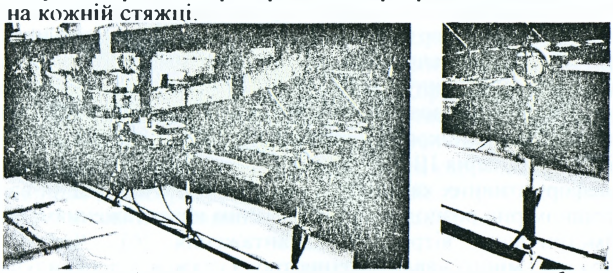


Рисунок 4 – Розрахункова схема з'єднання

Одже, несуча здатність з'єднання на металозубчатих пластинах приймається меншою з двох значень і дорівнює $N=32{,}2$ *кН*.

Методика експериментальних досліджень

Випробування вант на міцність проводилися в лабораторії кафедри будівельних конструкцій та мостів національного університету «Львівська політехніка». Була запроектована та виготовлена установка для випробування вантових конструкцій (рис. 5,а). Для проведення експериментальних досліджень було вдосконалено, раніше розроблені, методики випробувань дерев'яної армованої ванти [1, 2]. Так, для підтримки одинакового навантаження на окремих елементах в ході випробування та забезпечення можливості прикладання навантаження до величини 10 кН/м, механічні стяжки були замінені на гідравлічні (рис. 5,б), що підключалися до насосної станції. Це дозволяло підтримувати стале навантаження на кожному етапі завантаження, а також давало змогу прикладати навантаження дистанційно, що підвищило безпеку проведення експерименту. Для контролю зусилля від гідравлічних стяжок, використовувались кільцеві динамометри розтягу, попередньо протаровані на розривній машині Р-10, які були встановлені на кожній стяжці.



а) *б)*

а) загальний вигляд; б) гідравлічна стяжка

Рисунок 5 – Дослідна установка

Установка для випробувань (рис. 6) складалася з двох опор – *6* закріплених в силову підлогу; опрної металевої балки – *2* виготовленої з двох швелерів N20; ванти – *9*, що випробовувалися; п'яти гідравлічних стяжок – 10 з кільцевими динамометрами для виконання завантаження конструкції ванти; системи забезпечення стійкості зразка з площини – *11*; динамометрів для вимірювання опорних реакцій – *5*; кільцевого динамометру – *4* для вимірювання розпору; динамометра для вимірювання сили натягу канату – *12*; мікроіндикаторів годинникового типу – *8* для вимірювання деформацій в поперечному перерізі дерев'яного елементу по середині прольоту ванти; стяжки М12 – *7* для виконання попереднього натягу канату; п'яти прогиномірів Аістова (6ПАО) – *3* закріплених на опорній металевій балці над серединою кожного елементу ванти, для вимірювання їх прогину; двох прогиномірів Аістова (6ПАО) – *1* закріплених на опорі для вимірювання зближення опор. Розроблена конструкція стенду дозволила провести випробування при різних схемах завантаження.

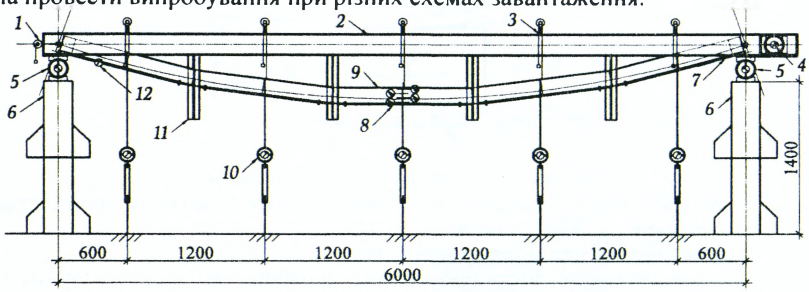


Рисунок 6 – Схема випробувальної установки

Випробування вант серії III-С були проведені для визначення міцності та деформативності дерев'яних вант при завантажені зосередженими силами в п'яти точках, що можна було вважати рівномірно розподіленим навантаженням.

Випробування № 10 (див. табл. 1) було проведено з попереднім натягом сталього канату 6кН, що складало 30% від розривного зусилля канату, а випробування № 11, № 13 та № 17 з попереднім натягом 10 кН, що відповідало 50% від розривного зусилля канату. Також, було проведено випробування № 14, в якому досліджувалась дерев'яна ванта без армування кнатом.

Навантаження на ванту прикладалося ступенями по 50 кг на кожну секцію (250 кг на всю конструкцію ванти за один ступень завантаження). Покази приладів знімали після витримки на кожній ступені завантаження по 5 хв. В ході експерименту вимірювали вертикальні реакції опор *V*, розпір конструкції *H*, деформації деревини в поперечному перетині дощатого елементу, прогин ванти у п'яти точках по довжині, силу натягу тросу та величину зближення опор. Завантаження проводилося до розрахункового значення, після чого ванту розвантажували і записували залишкові покази по усіх приладах.

Випробування № 12, серія III-Н (див. табл. 1) було проведене для визначення міцнісних та деформативних характеристик дерев'яної армованої ванти при завантаженні нерівномірно розподіленим від'ємним навантаженням, що імітувало варіант несиметричного вітрового навантаження [6]. Для прикладання несиметричного від'ємного навантаження троси стяжок *1* перекидувалися через блоки *2*, що були закріплені до опорної металевої балки стенду *3* (рис. 7).

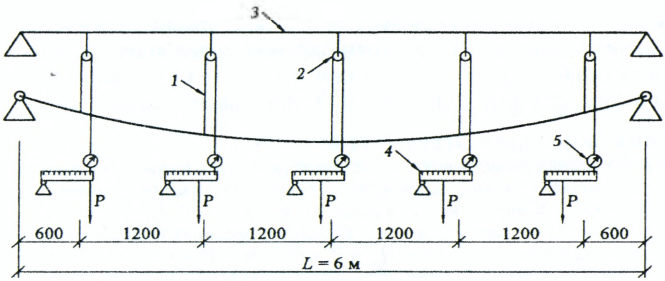


Рисунок 7 – Схема дослідної установка для прикладання нерівномірного вітрового навантаження

Навантаження на ванту подавали ступенями по 50 кг на секцію з максимальним навантаженням. На інших секціях навантаження підбирали відповідно до епюри від'ємного навантаження (див. табл. 1). Для забезпечення різного значення навантаження на кожній секції, було запроектовано систему важелів *4* (див. рис. 7). Навантаження підбиралось індивідуально, змінюючи співвідношення плечей важелів і контролювалось по кільцевих динамометрах 5. Після витримки 5хв на кожній ступені навантаження знімали покази з приладів.

Під час експерименту серії III-Н вимірювались вертикальні та горизонтальні реакцій опор, деформації деревини в поперечному перетині дощатого елементу, прогини ванти, сила натягу канату та зміщення опор. Характерною особливістю даного випробування було те, що розпір конструкції мав протилежний знак, оскільки при такому завантаженні ванта працювала як двошарнірна арка.

При проектуванні висячих конструкцій, снігове навантаження на покриття визначають згідно ДБН В.1.2-2:2006 і зазвичай розглядають його в декількох варіантах: у вигляді рівномірно розподіленого навантаження по покриттю і декілька варіантів нерівномірного розподілу навантаження, враховуючи можливіть передуву снігу вітром, часткове очищення та інше. Нажаль в ДБН В.1.2-2:2006 не наводиться рекомендацій по врахуванню схем нерівномірного розподілу снігового навантаження, які на практиці використовуються при проектуванні висячих конструкцій.

Програмою експериментальних досліджень було передбачено проведення випробуваннь серії III-Т при завантажені по трикутній епюрі (див. табл. 1) та серії III-П із завантаженням сніговим навантаженням половини прольоту ванти [3].

Для прикладання нерівномірного навантаження було використано випробувальну установку аналогічну як і для випробування серії III-Н (див. рис. 7). Протє, оскільки прикладалось додатнє навантаження, блоки для зміни напрямку сили не використовувались, а троси стяжок приєднувалить до дерев'яних елементів. Навантаження прикладалось через систему важелів і підбиралось відповідно до епюр (див. табл. 1). Під час експериментів серій III-Т та III-П вимірювались ті самі параметри, що і у випробуваннях серій III-С та III-Н. Завантаження проводилося до розрахункових значень, після чого, конструкцію ванти розвантажували і знімали залишкові покази з приладів.

Висновки

1. Запропоновано вантову конструкцію, жорсткість якої забезпечувалася за рахунок використання дерев'яних елементів, при цьому вона залишилася легкою і простою в монтажі.

2. Описано методику експериментальних досліджень дерев'яних вант армованих стальним канатом зі з'єднанням окремих дерев'яних елементів металозубчатими пластинами на дію різних видів зовнішніх навантажень, а саме: симетричних та несиметричних додатніх і від'ємних навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравз, А.Р. Методика експериментальних досліджень дерев'яних вант армованих стальним канатом зі з'єднанням окремих дерев'яних елементів вклеєними стержнями [Текст] / А.Р. Кравз, Б.Г. Демчина // Збірник наукових праць НУК, 2013. – № 2. – С. 38-42.
2. Кравз А.Р. Методика експериментальних досліджень міцності та деформативності дерев'яної вантн, армованої стальним тросом [текст] / А.Р. Кравз, Б.Г. Демчина, І.І. Лукач, В.В. Волощога, О.В. Янко // Теорія і практика будівництва. – Львів, 2012. – № 742. – С. 117-120.
3. Беленя, Е.И. Металлические конструкции: специальный курс: учеб. пособие для вузов [Текст] / Е.И. Беленя, Н.Н. Стрелецкий, Г.С. Ведеников [и др.]; под общ. ред. Е.И. Беленя. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Стройиздат, 1982 – 472 с.
4. Стальной канат типа ТК конструкции 6х19+1х19: гост 3067-88. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1990. – 5 с.
5. Слицкоухов, Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс [текст] / Ю.В. Слицкоухов, В.Д. Буданов, М.М. Гаппоев, И.М. Гуськов, З.Б. Махутова – М.: Стройиздат, 1981. – 543 с.
6. Бабаева, К.А. Расчетные нагрузки для основных типов висячих покрытий [текст] / К.А. Бабаева // Научно-техническая информация ГОССТРОЯ СССР. – 1968. – № 10.

УДК 69.059.22:614.84

Курлапов Д.В.

УЧЕТ СТЕПЕНИ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Наиболее сложным является учет степени огневого воздействия на железобетонные конструкций. Разнородность материалов, составляющих железобетон, при нагреве приводит к разным температурным деформациям, нарушает связь между цементным камнем, крупным и мелким заполнителем, а также с арматурой. В результате в железобетонных элементах происходят необратимые изменения механических свойств, снижение прочности на сжатие и растяжение, дополнительные прогибы.

Изменения механических свойств бетона при его нагреве и последующем охлаждении в настоящее время оцениваются очень приблизительно. Это затрудняет определение несущей способности железобетонных элементов, подвергшихся огневому воздействию при пожаре и последующему охлаждению.

Обычно после пожара нет точных данных о температуре нагрева конструкций и продолжительности пожара. Приходится судить об этом по состоянию и цвету поверхности железобетонных конструкций после огневого воздействия пожара на них. Это снижает точность определения остаточной прочности железобетонных элементов после пожара, особенно стальных.

При нагреве железобетона свыше 60°С тепловые деформации бетона и арматуры становятся различными и в них появляются дополнительные напряжения: в бетоне растягивающие, в арматуре сжимающиеся. Проявляются и различные тепловые деформации цементного камня и крупного заполнителя.

При нагреве бетона свыше 100°С происходит необратимое снижение его механических характеристик (пределов прочности, модуля деформации).