

Recommendations for Designing Wooden Arches on Metal-toothed Plates

Demchyna Bohdan,

Doctor of Engineering, Professor. National University “Lviv Polytechnic”

ORCID: 0000-0002-3498-1519 (Lviv, Ukraine)

Shydlovskyi Yaroslav,

Postgraduate. National University “Lviv Polytechnic”

ORCID: 0000-0002-6021-3310 (Lviv, Ukraine)

Abstract

This paper presents the findings of the pilot studies and recommendations for designing of two-hinged wooden arches. The prototype models of wooden arches with the span of 6m and the rise of 1m were designed. The models had a rectangular cross-section of 180x40mm and a T-section of 180x40mm with a plywood plate with the thickness of 6 mm and the width of 500mm. The main objective of the T-section was to ensure the stability of the arch. Each arch was composed of six segments – boards joined by clamping plates. The bowstring truss including two inclined tie bars enables carrying asymmetric loads and provides in-plane stability of the arch. A methodology for laboratory testing of the prototype models of wooden arches subjected to different types of loads was developed. Two prototypes of wooden arches were tested with rectangular cross-sections and two T-section ones subjected to the loading across the span, and two prototypes subjected to the half-span loading. In total, eight arches were tested. Deflections of arches, cross-section deformations and arch thrust force were recorded. The arches were tested until failure. The results of testing revealed insufficient stability of the arches with rectangular cross-section in the horizontal plane. For the arches with T-section the whole arch rib was damaged, the in-plane stability was ensured by the T-section. The collapsing force of the T-section arch was about 1.3 times greater than the collapsing force of the rectangular section arches.

Keywords: clamping plate, board, methodology, pilot study

1. Актуальність теми

На даний час є дуже багато сучасних будівельних матеріалів, які мають хороші властивості як для будівельного матеріалу. Однак незважаючи на це, деревина, як матеріал є незамінна в сучасному будівництві. Це обумовлюється тим, що вона є загальнодоступною, екологічно чистою, легкою в обробці, а також має хороші фізико-механічні властивості.

З'єднання вузлів арки металевими зубчастими пластинами є одним із важливих моментів даного дослідження, оскільки за допомогою цього методу досягається простота виготовлення конструкції, зниження ваги, забезпечуючи при цьому надійне вузлове з'єднання. Саме тому даний метод з'єднання широко поширений у країнах ЄС та Америці, звідки він до нас і прийшов.

Використання системи горизонтальної та похилих затяжок, які були розроблені В. Г. Шуховим сприяє тенденціям сьогодення по зменшенню ваги несучих конструкції, що сприятиме швидкості та простоті влаштування, при цьому не зменшуючи несучої здатності конструкції. Однак не зважаючи на такі переваги даної конструкції, на даний час вона є вивчена не до кінця та потребує вдосконалення і додаткового аналізу методу розрахунку, які були розроблені Шуховим на початку XIX ст.

Також важливим фактором даної досліджуваної арки є її тавровий переріз, який досить легко виконати шляхом влаштування фанери у верхній зоні перерізу. За допомогою такого перерізу вирішуватиметься одна з головних проблем даної арки, а саме досягатиметься стійкість арки з площини, при цьому не збільшуючи суттєво ваги конструкції, що є важливим фактором для даного типу конструкції.

2. Конструювання дослідного зразка

Було сконструйовано дві дерев'яні арки. Перша арка була прямокутного перерізу, друга – таврового перерізу на металозубчастих пластинах (МЗП).

Проліт досліджуваних арок задавався, виходячи з можливостей постановки дослідів в лабораторії та модульної системи, яка застосовується у будівництві. Тому було прийнято проліт дерев'яної арки 6м.

Відповідно до рекомендацій по проектуванню дерев'яних конструкцій було використано двохарнірну схему.

Для арок було прийнято висоту підйому арки 1м.

Розмір поперечного перерізу для всіх дощатих елементів арок однаковий та становив 180х40 мм.

Для прикріплення горизонтальної та похилих затяжок було розроблено спеціальну конструкцію опорного вузла, яка дозволяла шарнірно прикріпити затяжки до неї. що стосується похилих затяжок, які повинні бути шарнірно врізаними в площині арки, то

для вирішення цього завдання були розроблені металеві деталі, які врізались в арку та виконували функцію шарнірного з'єднання.

Оскільки основною проблемою проведення експерименту було те, що арка такого прольоту втрачала стійкість з площини, тому було розроблено систему з кутників для її розкріплення з кроком 1м.

Влаштування верхньої полицки таврового перерізу відбувалось шляхом набивання фанерного листа марки ФК товщиною 6 мм на вже сформовану арку перерізом 180х40 мм. Окрім цього до фанери та дощатих елементів по довжині арки було влаштовано 6 ребер жорсткості з деревини. Основним завдання такого перерізу було забезпечення стійкості арки, що привело до збільшення несучої здатності арки. Загальний вид арки показано на рис. 1.

3. Стенд випробування

Всі випробування дерев'яних арок різної форми перерізу проводились в лабораторії кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка» НДЛ – 23. Для проведення експериментальних досліджень було розроблено спеціальний стенд (рис. 2).

Прикладання навантаження на дослідні зразки відбувалось за допомогою шести гідравлических стяжок Міол 80-450, максимальне навантаження якої становить 5т. Ці стяжки працюють в парі з насосною станцією.

Стенд для випробування дослідних зразків складався (рис 2): арка з дощатих елементів з'єднаних МЗП (1); опори (2) закріплені до силової підлоги (3); опроні динамометри Д1 та Д2 (4); система розпірок для забезпечення стійкості арки (5); стяжки гідравлічні з динамометрами Др1...Др6 (6); динамометр Дг1 (7) на горизонтальній зтяжці (8); динамометри Дп1, Дп2 (9) на похилих зтяжках (10); мікроіндикатори годинникового типу Мі1...Мі18 – для прямокутного перерізу, Мі1...Мі24 – для таврового (11); прогиноміри Аістова 6ПАО П1...П5 (12); ребра жорсткості арки таврового перерізу (13).



a)



б)

Рис. 1. Стенд випробовування дослідних зразків: а) арка АП-1; б) арка АТ-1

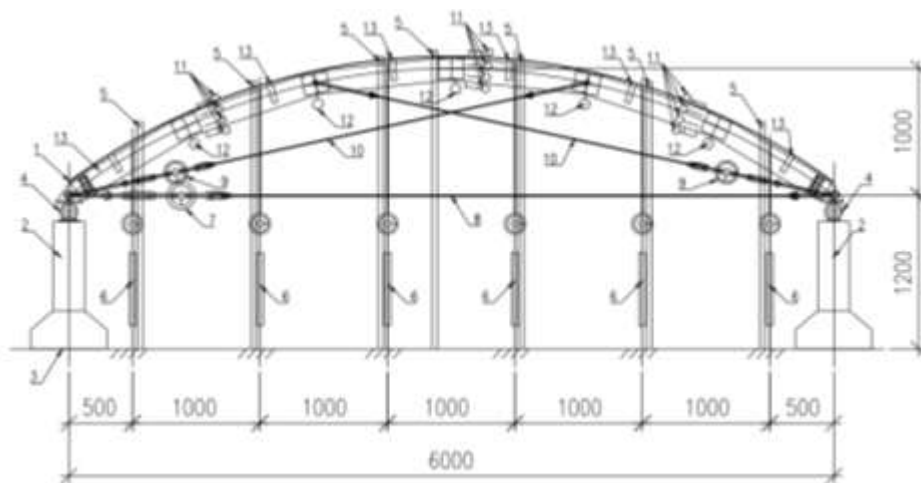


Рис. 2. Схема стенду для випробування з розміщенням приладів: 1 – арка з дощатих елементів з'єднаних МЗП (1); 2 – опори, закріплені до силової підлоги; 4 – опрорні динамометри Д1 та Д2; 5 – система розпірок для забезпечення стійкості арки; 6 – стяжки гідравлічні з динамометрами Др1...Др6; 7 – динамометр Дг1; 8 – горизонтальна затяжка; 9 – динамометри Дп1, Дп2; 10 – похилі затяжки; 11 – мікроіндикатори годинникового типу Мі1...Мі18 – для прямокутного перерізу, Мі1...Мі24 – для таврового; 12 – прогиноміри Аістова 6ПАО П1...П5; 13 – ребра жорсткості арки таврового перерізу.

4. Методика випробувань арок

Дослідження проводилось на дію симетричного та несиметричного рівномірно розподіленого навантаження.

Навантаження прикладалось поетапно, з кроком 0,1кН/м. На кожному етапі, з метою розподілу і стабілізації деформацій і напружень, навантаження витримувалось 10-15 хв, після чого знімалися покази.

Одним з головних моментів при проведенні експерименту було спостереження за стійкістю арки при різних поперечних перерізах при різних поперечних перерізах, що дозволило зробити певні висновки про доцільність влаштування верхньої полицки з метою забезпечення стійкості. Результати експериментальних досліджень представлено в [4].

5. Рекомендації з проектування дощатих арок на металозубчатих пластинах

- 1) Для виготовлення арок на металозубчатих пластинах рекомендується використовувати деревину хвойних порід вологістю не більше 12%.
- 2) Усі металеві деталі арок необхідно виконувати з антикорозійним захистом.

3) Під час виготовлення арок необхідно забезпечити відсутність сучків в місцях влаштування з'єднань на МЗП та опорних вузлах.

4) При використанні металозубчатих пластин марки МЗП-1,2 розрахунок з'єднань для деревини з сосни необхідно виконувати за наступними фізико-механічними характеристиками:

- значення міцності анкерування МЗП при роботі з'єднання на розтяг $f_{a,0,0} = 0,778 \text{ Н/мм}^2$;

- несуча здатність при розтягу МЗП $f_{t,0,cr} = 52,2 \text{ Н/мм}$;

- несуча здатність на стиск $f_{c,0,cr} = 85,3 \text{ Н/мм}$;

Для інших марок МЗП необхідно використовувати рекомендації виробників, або виконувати експериментальні дослідження.

5) Вдавлюювати пластину МЗП-1,2 в деревину необхідно з зусиллям більшим 30 кг/см^2 .

6) Стрілу підйому арок на металозубчатих пластинах слід приймати $1/5 - 1/7$ від прольоту.

7) Для арок прольотом до 6м необхідно використовувати 2 похилі затяжки, а для арок з більшими прольотами кількість похилих затяжок встановлювати розрахунком з умови втрати стійкості тіла арки у вертикальній площині, особливо для сприйняття несиметричного навантаження.

8) Враховуючи деформативність арок в горизонтальній площині, необхідно забезпечувати розкріплення тіла арки з площини за відповідним розрахунком ДБН, або використовувати тавровий переріз для тіла арки.

9) Для запобігання провисання горизонтальної та похилих затяжок, необхідно використовувати підвіси, рекомендується їх закріплювати у вузлах стиків окремих дощок.

10) Затяжки необхідно виконувати з можливістю регулювання зусиль у них, тому для цього потрібно передбачити в конструкції спеціальні стяжні муфти.

11) Опорний та проміжні вузли повинні передбачати сходження осей тіла арки та затяжок в одній точці для уникнення ексцентриситетів.

12) Для підвищення несучої здатності з'єднання на МЗП рекомендується виконувати їх без щілин між контактними поверхнями (торцями) дощок.

13) Арки в покритті необхідно монтувати попарно, розкріплюючи їх між собою.

- 14) Для статичного розрахунку арок при дії симетричного навантаження рекомендується використовувати аналітичний метод та метод скінченних елементів, а при дії несиметричного навантаження – метод скінченних елементів).
- 15) Для розрахунку арок за I групою граничних станів рекомендується використовувати рекомендації ДБН В.2.6-161:2017.
- 16) Для розрахунок арок за II групою граничних станів рекомендується використовувати метод скінченних елементів з розрахунковою схемою із врахуванням коефіцієнта жорсткості вузлів з'єднання на МЗП-1,2 рівною $16,92 \cdot 10^3$ кН/м.
- 17) Блок-схему розрахунку арки з похилими затяжками зі з'єднанням на МЗП з врахуванням жорсткості з'єднань наведено на рис. 3.

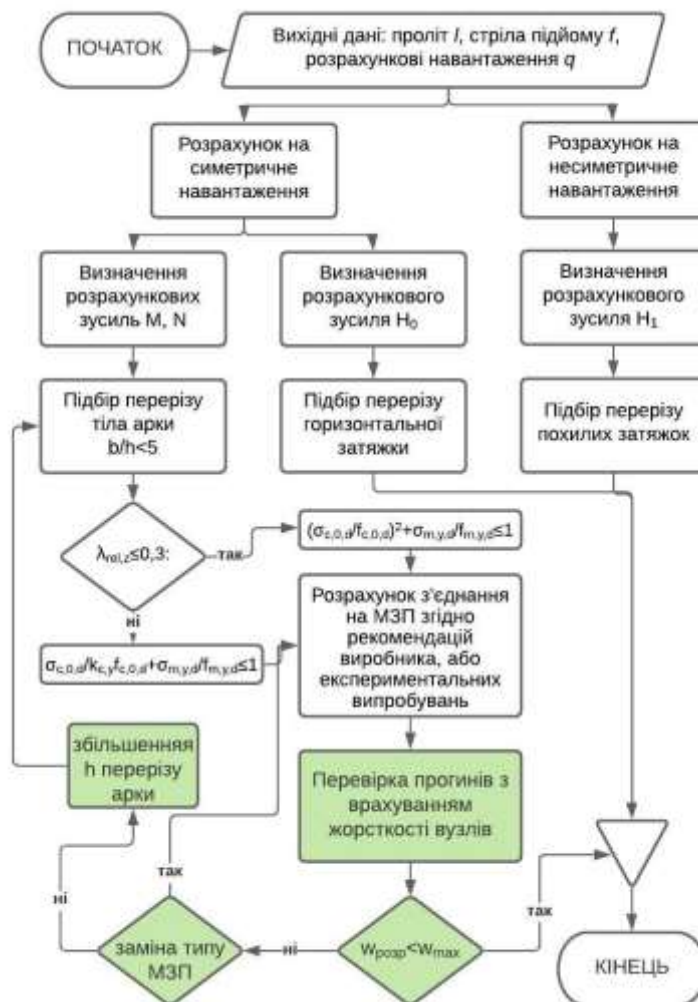


Рис. 3. Блок-схему розрахунку арки з похилими затяжками зі з'єднанням на МЗП з врахуванням жорсткості з'єднань

5. Висновки

- запропоновано нову конструкцію дерев'яної арки, що є легкою, має низьку собівартість та є швидкозбірною;
- описано методику експериментальних досліджень дощатих арок зі з'єднанням окремих дерев'яних елементів метал
- озубчатими пластинам;
- проведено випробування зразків дощатих арок зі з'єднанням окремих дерев'яних елементів металозубчатими пластинами на дію рівномірно розподіленого навантаження та завантаження половини прольоту рівномірним навантаженням;
- розроблено рекомендації з проектування нового типу дощатих арок на металозубчатих пластинах.

References

1. Stroitel'naya mekhanika. Isbranye trudy, Shukhov V.G. M: Nauka, 1977.-193.
2. Metodyka eksperimentalnykh doslidzhen mitsnosti ta deformatyvnosti derevyanoi vanty, armovanoi stalnym trosom, A.P. Kravz, B.H. Demchyna, I.I.Lukach ta in. Teoria i praktyka budivnytstva. Vydavnytstvo Lvivskoi Pilytekhniky, 2012. – 4s.
3. Rekomendatsii po proektirovaniu i izhotovleniu doshchatykh konstruktyi na MZP, TSNIISK im. Kucherenko. 1983. - 39.
4. Shydlovskiy Y., Demchyna B., Surmay M. Experimental research of wooden arches. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture – kwartalnik tom XXXIV zeszyt 64 (nr 3/11/2017) lipiec-wrzesien.