

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ДОВЖИНИ ПОЛОЖИСТИХ АРОК З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ

Денис МИХАЙЛОСЬКИЙ¹, Ігор СКЛЯРОВ², Тетяна СКЛЯРОВА³

^{1,2,3} Київський національний університет будівництва і архітектури,
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037
mykhailovskyi.dv@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0002-7404-4757>
skliarov.io@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0002-6150-5518>
skliarova.ts@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-9162-3999>

Анотація. Питання втрати стійкості арок-них конструкцій є дуже важливим у інженерній практиці та проектуванні. Особливо це питання є ключовим з точки зору надійності і безпеки та економічних збитків, так як зазвичай конструкції даного типу використовуються в будівлях з класом наслідків не нижче СС2 [1].

Арки з клеєної деревини є великопро-льотними стиснуто-зігнутими елементами, в яких втрата стійкості відіграє основну роль при визначенні габаритів поперечного перерізу. На відміну від балок – арка має в рази більше спів-відношення між довжиною елемента та його по-перечним перерізом, що в свою чергу підвищує ризик втрати стійкості. Втрата стійкості арки та правильно визначена її розрахункова довжина мають прямий взаємозв'язок. Розрахункова дов-жина визначається як величина, при якій арка може втратити свою стійкість під дією зовніш-ніх навантажень. Основні аспекти цього взаємоз-в'язку: величина розрахункової довжини арки; механізми втрати стійкості; залежність від мате-ріалу і форми; точність інженерних розрахунків.

Слід зауважити що рекомендації по визна-ченню розрахункової довжини арки містяться виключно в методичній літературі та недіючих нормативних документах, таких як [2,3]. В останньому діючому на сьогодні нормативному документі [4] це питання вирішене шляхом пе-ревірки міцності та стійкості елемента, без обме-ження гнучкості. Так як гнучкість елемента за-лежить від його розрахункової довжини, то пи-тання визначення даного параметра залиша-ється відкритим та покладається безпосередньо на інженера-проектувальника, а точніше – на його досвід та компетентність. Дане питання є



Денис МИХАЙЛОВСЬКИЙ
професор кафедри металевих і дерев'яних конструкцій
д.т.н., професор



Ігор СКЛЯРОВ
доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій
к.т.н., доцент



Тетяна СКЛЯРОВА
асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій

дуже актуальним, враховуючи що незначна помилка при визначенні розрахункової довжини суттєво впливає на результати перевірки стиснуто-зігнутих елементів.

В результаті проведеної роботи проаналізо-вано визначення розрахункових дов-жин положистих арок з різною формою та типом наванта-ження за двома методами розрахунку: аналітичними формулами та методом скін-ченних елементів за допомогою ПК ЛІРА-САПР [5,6]. На основі розрахунків надано рекомендації по визначенню розрахункових довжин арок з клеєної деревини.

© Д.МИХАЙЛОВСЬКИЙ, І. СКЛЯРОВ, Т. СКЛЯРОВА, 2024

Ключові слова. Розрахункова довжина; гнучкість арок; втрата стійкості; положисті арки; клеєна деревина.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Втрата стійкості арок - це складний механічний процес, який виникає під дією зовнішніх навантажень, що призводить до раптової і значної зміни форми арки. Цей процес пов'язаний з критичним станом напружено-деформованого стану матеріалу та конструкції арки. [7,8] Розглянемо детальніше механізм втрати стійкості:

Етап 1. Пряме навантаження. Арка піддається навантаженню, що спричиняє виникнення початкових напружень і деформацій.

Етап 2. Прогресування деформацій. При досягненні певної критичної величини навантаження напружено-деформований стан арки досягає граничних значень, де матеріал починає втрачати свою пружність.

Етап 3. Початок нестабільності. Після досягнення критичного навантаження арка втрачає свою початкову форму і переходить до нової форми, яка може бути значно деформованою від заданої геометрії. Цей процес супроводжується різким збільшенням деформацій при невеликому збільшенні навантаження.

Етап 4. Повна втрата стійкості. Арка знає неповороних відхилень від геометричної осі, що може призвести до руйнування конструкції вцілому.

Втрата стійкості арки може відбуватися внаслідок різних критичних факторів, таких як:

- властивості матеріалу та фізико-механічні характеристики матеріалу.
- геометричні параметри: габарити поперечного перерізу, радіус кривизни, довжина арки.
- тип і величина навантаження: нерівномірно-розподілене, точкові навантаження, навантаження з ексцентриситетом.

Розрахунок стійкості прямо залежить від правильного визначення розрахункової довжини арок, що в свою чергу вимагає комплексного підходу, який об'єднує знання

про матеріали, їх механічні властивості, геометрію конструкції і методи розрахунку.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В останньому радянському СНиП II-25-80 [3] присутні вказівки, щодо визначення розрахункової довжини арок залежно від умов закріплення та типу навантаження. Варіативність по визначенню коефіцієнта розрахункової довжини вказане лише для двохшарнірних арок з кососиметричним навантаженням, а для решти – фіксоване значення.

В діючому на сьогодні нормативному документі [4] це питання вирішене шляхом перевірки міцності та стійкості елемента, без обмеження гнучкості. Так як гнучкість елемента залежить від його розрахункової довжини, то питання визначення даного параметра залишається відкритим.

В європейському нормативному документі EN 1995-1-1:2008 (ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010) [9], основні положення якого майже без змін прийняті в ДБН В.2.6 – 161:2017 “Конструкції будинків і споруд. Дерев’яні конструкції” [4], така інформація теж не наводиться.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Перевірку міцності та стійкості арок слід виконувати за формулою [4]:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1, \quad (1)$$

Так як при $\lambda_{rel,z} > 0.3$
 $k_{c,y}$ – коефіцієнт повздовжнього згину;
 $\lambda_{rel,z}$ – приведена гнучкість.

Де приведена гнучкість визначається за формулою:

$$\lambda_{rel,y(z)} = \frac{\lambda_{y(z)}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (2)$$

де $\lambda_{y(z)}$ - дійсна гнучкість визначається за формулою:

$$\lambda_{y(z)} = \frac{l_{ef}}{i}, \quad (3)$$

де l_{ef} - розрахункова довжина арки.

Арки слід розраховувати на міцність відповідно до вказівок [2] і на стійкість у площині кривизни, причому розрахункову довжину елементів l_0 слід приймати:

- для двошарнірних арок при симетричному навантаженні $l_0 = 0,35 S$;
- для тришарнірних арок при симетричному навантаженні $l_0 = 0,58 S$;

$$l_{ef} = \frac{\pi \cdot S}{2\sqrt{\pi^2 - \left(\frac{\varphi}{2}\right)^2}} \quad (4)$$

де φ - центральний кут пів арки (рад);
 S - повна довжина дуги арки.

- для двошарнірних і тришарнірних арок при кососиметричному навантаженні - за формулою (4)
- при розрахунку тришарнірних арок на несиметричне навантаження розрахункову довжину допускається приймати рівною $l_0 = 0,58 S$;

Для можливості дослідження розрахункових довжин методом скінченних елементів (МСЕ) було обрано певний діапазон розрахункових моделей арок. Арки, що моделювались обрані декількох типів з різним варіантом навантаження. Типи арок що використані в дослідженні - положисті двошарнірні та положисті тришарнірні зі стрілою підйому від $f=1/4$ до $f=1/7$. Навантаження на всі типи арок було прийнято в двох варіантах, а саме – симетричне та кососиметричне навантаження. Кососиметричне навантаження моделює варіант прикладення снігового навантаження до склепінчастих покриттів по типу «двох трикутників» де на ліву частину припадає 100% навантаження, а на праву – 50%.

Задачі були реалізовані в програмному комплексі Lira SAPR 2019 з використанням аналізу МСЕ в плоскій постановці стержневими СЕ.

Для лінійного розрахунку було використано скінченний елемент №10, типу – універсальний просторовий стержневий СЕ. Арки розбивались на 40 СЕ. Опори – шарнірні.

Скінченому елементу були надані властивості з наступними характеристиками: модуль пружності - $E = 12000$ МПа, густина - $\gamma = 450$ кг/м³, розміри поперечного перерізу змінювались залежно від величини прольоту арки.

Реалізований варіант розрахунку на загальну стійкість в площині арки передбачає, що розподіл поздовжніх сил N в елементах схеми вже відомий і потрібно знайти значення числового параметра λ_0 таке, що при поздовжніх силах ($\lambda_0 \times N_0$) відбувається втрата стійкості. Було реалізовано розрахунок стійкості з врахуванням згинально-крутильних форм, коли враховуються всі зусилля. Розрахунок реалізується в пружній стадії. Значення зусиль в елементах схеми вже обчислені за допомогою лінійного процесору [5]. Під час виконання розрахунку на стійкість вважається, що ці значення виражені через критичний параметр навантаження:

$$P_{crit} = \lambda_i \cdot P_i \quad (5)$$

$$N_{crit,j} = \lambda_i \cdot N_{ij}$$

де

i – номер завантаження;

j – номер елемента в схемі;

P_i – сумарне навантаження в i -тому завантаженні;

P_{crit} – критичне навантаження в i -тому завантаженні;

N_{ij} – поздовжнє зусилля чи напруження в j -тому елементі в i -тому завантаженні;

$N_{crit,j}$ – критичне поздовжнє зусилля в j -тому елементі в i -тому завантаженні;

λ_i – параметр навантаження (коефіцієнт запасу стійкості).

В процесі розрахунку для кожного навантаження, були визначені декілька форм втрати стійкості і відповідні їм коефіцієнти запасу.

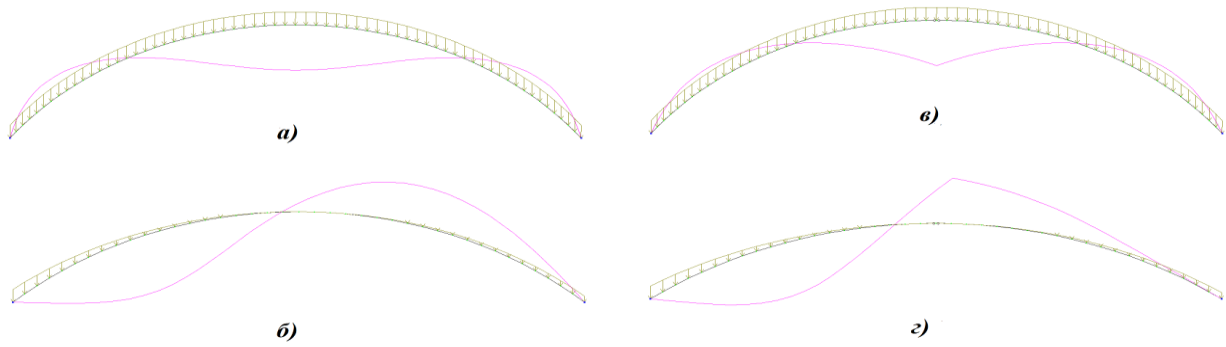


Рис.1. Форми втрати стійкості арок:

a – двошарнірна з симетричним навантаженням; *б* – двошарнірна з кососиметричним навантаженням;
в – тришарнірна з симетричним навантаженням; *г* – тришарнірна з кососиметричним навантаженням;

Fig.1. Forms of loss of arch stability:

a – double-hinged with symmetrical load;
b – double-hinged with asymmetrical load;
c – three-hinged with symmetrical load; *d* – three-hinged with asymmetrical load;

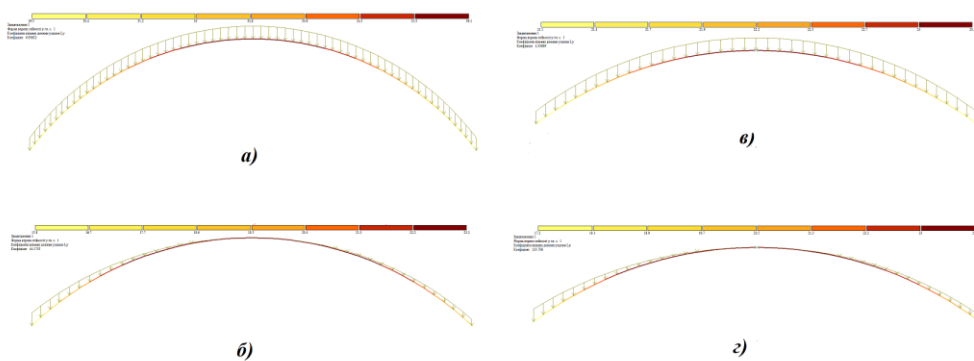


Рис.2. Результати визначення вільних довжин МСЕ:

a – двошарнірна з симетричним навантаженням;
б – двошарнірна з кососиметричним навантаженням;
в – тришарнірна з симетричним навантаженням;
г – тришарнірна з кососиметричним навантаженням;

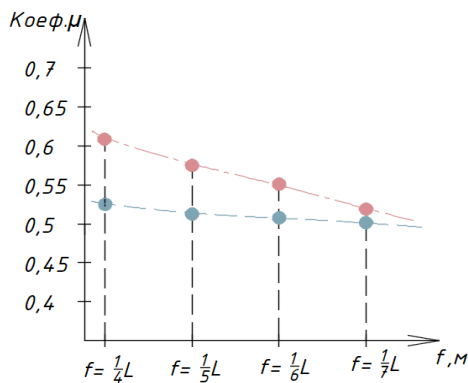
Fig.2. Results of determination of free lengths by the finite element method:

a – double-hinged with symmetrical load;
b – double-hinged with asymmetrical load;
c – three-hinged with symmetrical load;
d – three-hinged with asymmetrical load;

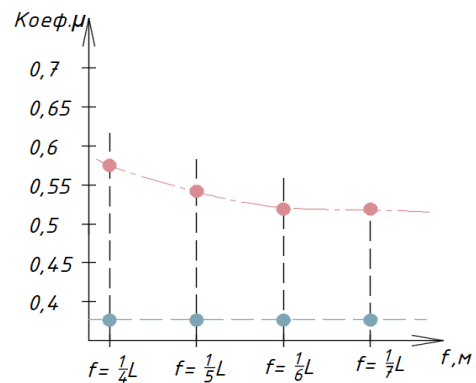
Так як вільні довжини стержнів при загальній втраті стійкості визначаються згідно з їхніми довжинами в розрахунковій схемі, то результати отримані в ПК Lira SAPR 2019 домножені на довжини СЕ кожної

схеми. Результати розрахунку по визначенню коефіцієнта μ для визначення розрахункової довжини приведемо у вигляді таблиці та графіків.

Двошарнірні арки на кососиметричне навантаження / залежність коеф.μ від стріли підйому арки /

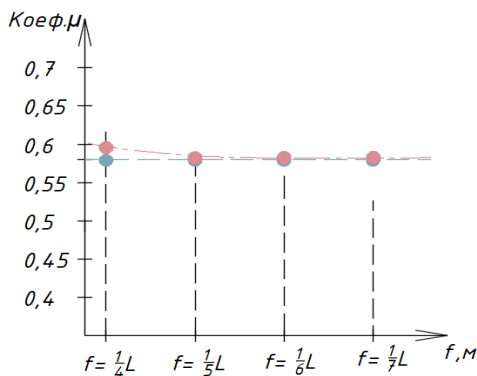


Двошарнірні арки на симетричне навантаження / залежність коеф.μ від стріли підйому арки /

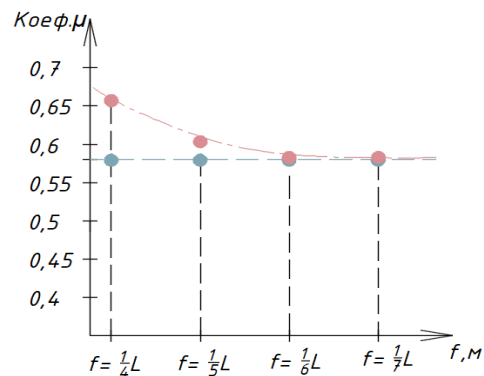


--- Коефіцієнт μ визначений МСЕ
 --- Коефіцієнт μ визначений аналітичним методом

Тришарнірні арки на симетричне навантаження / залежність коеф.μ від стріли підйому арки /



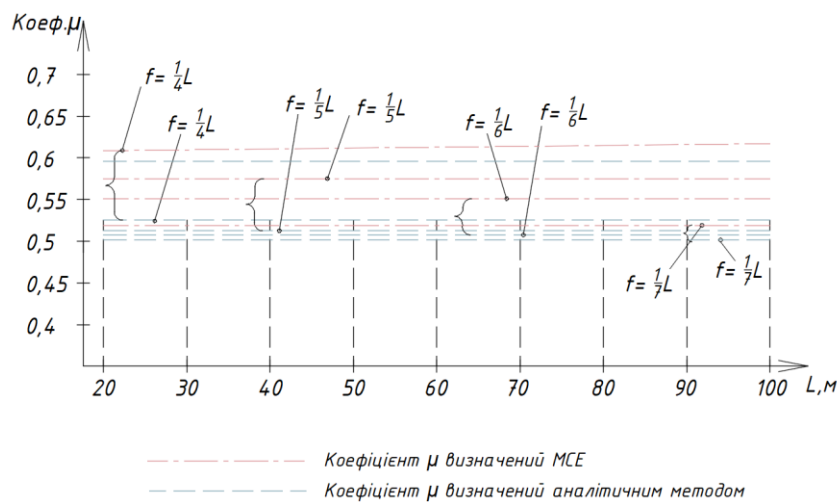
Тришарнірні арки на кососиметричне навантаження / залежність коеф.μ від стріли підйому арки /



--- Коефіцієнт μ визначений МСЕ
 --- Коефіцієнт μ визначений аналітичним методом

Рис.3. Графік залежності коефіцієнта μ від стріли підйому арок за 2-ма методами розрахунку
Fig.3. Graph of the dependence of the coefficient μ on the arch lifting boom by two calculation methods

Двошарнірні арки на кососиметричне навантаження / залежність коеф.μ від прольоту арки /



--- Коефіцієнт μ визначений МСЕ
 --- Коефіцієнт μ визначений аналітичним методом

Рис.4. Графік залежності коефіцієнта μ від довжини прольоту арок
Fig.4. Graph of the dependence of the coefficient μ on the span length of the arches

Табл. 1. Коефіцієнт μ залежно від виду навантаження

Коефіцієнт μ залежно від виду навантаження та методу розрахунку				
Тип арки/стріла підйому	Симетричне навантаження		Кососиметричне навантаження	
	Аналітичний	МСЕ	Аналітичний	МСЕ
Двошарнірна				
$f=1/4$	0,35	0,57	0,52	0,63
$f=1/5$	0,35	0,54	0,52	0,58
$f=1/6$	0,35	0,52	0,51	0,55
$f=1/7$	0,35	0,52	0,51	0,54
Тришарнірна				
$f=1/4$	0,58	0,59	0,58	0,66
$f=1/5$	0,58	0,58	0,58	0,61
$f=1/6$	0,58	0,58	0,58	0,59
$f=1/7$	0,58	0,58	0,58	0,59

Табл. 2. Різниця у % між коефіцієнтами μ за різними методами розрахунку

Різниця у % між коефіцієнтами μ за різними методами розрахунку				
Тип арки/стріла підйому	Симетричне навантаження		Кососиметричне навантаження	
	Аналітичний	МСЕ	Аналітичний	МСЕ
Двошарнірна				
$f=1/4$	38,06		16,70	
$f=1/5$	35,18		11,10	
$f=1/6$	33,30		7,54	
$f=1/7$	32,72		5,59	
Тришарнірна				
$f=1/4$	1,71		11,70	
$f=1/5$	0,78		4,92	
$f=1/6$	0,43		2,52	
$f=1/7$	0,54		1,74	

Значення коефіцієнтів μ для визначення розрахункової довжини арок за МСЕ (див. Рис.3 та табл. 1.) наступні значення:

- для положистих двошарнірних арок з симетричним навантаженням $-\mu = 0,52 \dots 0,57$;

- для положистих двошарнірних арок з кососиметричним навантаженням $-\mu = 0,54 \dots 0,63$;

- для положистих тришарнірних арок з симетричним навантаженням $-\mu = 0,58 \dots 0,59$;

- для положистих тришарнірних арок з кососиметричним навантаженням $-\mu = 0,59 \dots 0,66$;

Різниця у відсотковому співвідношенні коефіцієнтів μ для визначення розрахункової довжини арок між за МСЕ та аналітичним методом (див. табл. 2) мають наступні значення:

- для положистих двошарнірних арок з симетричним навантаженням – 32,7...38,06 %
- для положистих двошарнірних арок з косиметричним навантаженням – 5,6 ... 16,7%;
- для положистих тришарнірних арок з симетричним навантаженням – 0,54 ... 1,71%;
- для положистих тришарнірних арок з косиметричним навантаженням – 1,74 ... 11,7%;

Таким чином, можна зробити висновок що для положистих тришарнірних арок з симетричним навантаженням коефіцієнти за двома способами розрахунку є майже ідентичними. Решта коефіцієнтів відрізняється значно і може впливати на результати розрахунку стійкості.

Розглядаючи залежність коефіцієнта μ від прольоту арок (див. рис.4 та табл. 1, 2) – можна відмітити що довжина не впливає на зміну даного коефіцієнта.

Всі розрахункові схеми показали відмінність аналітичного методу визначення коефіцієнта μ від МСЕ в бік зменшення що дає занижені значення розрахункової довжини, та як наслідок – гнучкості.

Додатково на основі виконаних розрахунків було проведено аналіз впливу зміни розрахункової довжини на запас стійкості конструкцій та виявлено що зміна коефіцієнта μ на 10% призводить до аналогічної зміни умови стійкості арки на 15-22%.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті проведених досліджень виявлено ряд вімінностей між визначенням розрахункової довжини арки за 2-ма способами. Для виконання розрахунків стійкості арокних конструкцій інженерам рекомендується уточнювати розрахункову довжину за

допомогою МСЕ так як в діючій на сьогоднішній день нормативній літературі відсутні конкретні рекомендації з цього питання.

Враховуючи різницю між коефіцієнтами до 38% можна зробити висновок що правильний підхід до визначення розрахункової довжини є дуже важливим аспектом розрахунку та безпосередньо впливає на міцність та надійність конструкції вцілому.

Збільшення коефіцієнта μ на 10% призводить до аналогічної зміни в більший бік умови втрати стійкості арки на 15-22%. При визначенні розрахункової довжини положистих тришарнірних арок з симетричним навантаженням допускається використання аналітичного методу, в решті ж випадків – рекомендується уточнювати її МСЕ для кожного окремого випадку. Підтвердження або спростування даних розрахунків можливе за рахунок виконання ще одного способу – експериментального.

ЛІТЕРАТУРА

1. **ДБН В.1.2-14:2018** Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. *Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд..* – Київ, 2022. – 35с.
2. **ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012** "Конструкції будинків і споруд. Конструкції із цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування" // - Київ, "Укрархбудінформ" 2013. – 133 с.
3. **СНиП II-25-80** Деревянные конструкции / *Госстрой СССР- М.: Стройиздат, 1982. - 66 с.*
4. **ДБН В.2.6-161:2017** «Дерев'яні конструкції. Основні положення.» // - Київ, "Укрархбудінформ" 2017. – 125 с.
5. **Городецкий Д.А.** Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013. Учебное пособие / *Городецкий Д.А., Барабаш М.С. и др. – К. – М.: Электронное издание, 2013. – 376 с.,*
6. **Городецкий А.С.** Компьютерные модели конструкций / *Городецкий А.С., Евзеров И.Д. – Киев, 2007. – 357 с.*
7. **Найчук А. Я.** Проектирование современных конструкций из клееной древесины на принципах новой концепции / *А. Я. Найчук, В. В. Фурсов, Д. В. Михайловський. – Київ: «Сталь», 2010. – 24 с.*
8. **Попов А.Н.** Численное моделирование напряженно-деформированного состояния

аэродромных покрытий в условиях физической нелинейности грунтового основания [Электронный ресурс] / А.Н. Попов, В.В. Волков, А.А. Хатунцев // *Науковедение*. – 2013. – <https://naukovedenie.ru/PDF/108tvn513.pdf>

9. EN 1995-1-1:2008 (DSTU–Н Б EN 1995-1-1:2010) Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1995-1-1:2004, IDT)
10. Михайловський Д., Склярова Т. Розрахунок великопрольотних клеєних конструкцій як системи ґрунтова основа-фундамент-наземні споруди (31 серпня 2021 р.). *ScienceRise*, 4, 17-23, 2021
<https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.002033>,
<https://ssrn.com/abstract=3918996>
11. Михайловський Д.В. Розрахунок і конструювання арок з клеєної деревини: Методичні П 48 вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи / Уклад.: Д.В. Михайловський, М.С. Коваленко, Д.М. Матющенко, Т.С. Бабич. – К.: КНУБА, 2014 – 124 с.
12. Blyberg L. Timber/Glass adhesively bonded i-beams / Blyberg L., Serrano E.//*Linnaeus University, School of engineering*. 2011, pp. 451-456
13. Иванов В. А., Конструкции из дерева и пластмасс / В. А. Иванов, В. З. Клименко. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 279 с.
14. Гринь И.М. Строительные конструкции из дерева и синтетических материалов. Проектирование и расчет /И.М. Гринь, К.Е. Джантемиров, В.И. Гринь: Учебное пособие 3-е изд., перераб. и доп. К.: Вища шк., 1990. 221 с.
15. Ioannidou D. Evaluating the risks in the construction wood product system through a criticality assessment framework / Ioannidou, D., Pommier, R., Habert, G., & Sonnemann, G. // *Resources, Conservation, and Recycling* - 2019– №146, pp. 68–76.
16. Клименко В. З. Конструкції з дерева і пластмас: Підручник / В. З. Клименко// — К.: Вища школа, 2000. — 304 с
17. Баженов В. А. Будівельна механіка: Навчальний посібник / В. А. Баженов, Г. М. Іванченко, О. В. Шишов, С. О. Пискунов //— К.: Каравела, 2013.
18. Клованіч С. Ф. Метод кінцевих елементів в нелінійних задачах інженерної механіки / С. Ф. Клованіч. – Запоріжжя: Видавництво Журнала “Світгеотехніки”, 2009, – 400 с.

REFERENCES

1. DBN V.1.2-14:2018 Systema zabezpechen-nia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsyipy zabezpechen-nia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud.. – Kyiv, 2022. – 35s.
2. DSTU-N B V.2.6-184:2012 "Konstruktsii budynkiv i sporud. Konstruktsii iz tsilnoi i kleienoi derevyiny. Nastanova z proek-tuvannia" // - Kyiv, "Ukrarkhbudinform" 2013. – 133 s.
3. SNyP II-25-80 Dereviannyye konstruktsyy / Hosstrois SSSR- M.: Stroyizdat, 1982. - 66 s.
4. DBN V.2.6-161:2017 «Dereviani konstruktsii. Osnovni polozhennia.» // - Kyiv, "Ukrarkhbudinform" 2017. – 125 s.
5. Horodetskyi D.A. Programmnyi kompleks LYRA-SAPR 2013. *Uchebnoe posobyie / Horodetskyi D.A., Barabash M.S. y dr. – K. – M.: Elektronnoe yzdanye*, 2013. – 376 s.,
6. Horodetskyi A.S. Komp'yuternyye metody konstruktsiy / Horodetskyi A.S., Evzerov Y.D. – Kyev, 2007. – 357 s.
7. Naichuk A. Ya. Proektyrovanye sovremennykh konstruktsiy yz kleenoi dreve-syny na pryntsyypakh novoi kontseptsyy / A. Ya. Naichuk, V. V. Fursov, D. V. My-khailovskiy. – Kyiv: «Stal», 2010. – 24 s.
8. Popov A.N. Chylennoe modelyrovanye napriazhenno-deformirovannoho sostoyaniya aэrodromnykh pokrytyi v uslovyiakh fyzycheskoi nelynei-nosty hruntovoho osnovaniya [Elektronnyi resurs] / A.N. Popov, V.V. Volkov, A.A. Khatuntsev // *Naukovedenye*. – 2013. – *Rezhym dostupu do resursu: https://naukovedenie.ru/PDF/108tvn513.pdf*
9. EN 1995-1-1:2008 (DSTU–Н Б EN 1995-1-1:2010) Yevrokod 5. Proektuvan-nia derev`ianykh konstruktsii. Chastyna 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud (EN 1995-1-1:2004, IDT)
10. Mykhailovskiy D., Skliarova T. Rozra-khunok velykoprolotnykh kleienykh konstruktsii yak systemy ґрунто-va основа-fundament-nazemni sporudy (31 serpnia 2021 r.). *ScienceRise*, 4, 17-23, 2021 doi: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.002033>,
<https://ssrn.com/abstract=3918996>
11. Mykhailovskiy D.V. Rozrakhunok i konstruiuvannia arok z kleienoi derevyiny: Metodychni P 48 vказivky do vykonannia rozrakhunkovo-hrafichnoi roboty / Uklad.: D.V. Mykhailovskiy, M.S. Kovalenko, D.M.

- Matiushchenko, T.S. Babych. – K: KNUBA, 2014 – 124 s.*
12. **Blyberg L.** Timber/Glass adhesively bonded i-beams / *Blyberg L., Serrano E.//Linnaeus University, School of engineering. 2011, pp. 451-456*
13. **Yvanov V. A.**, Konstruktsyy yz dereva y plastmass / *V. A. Ivanov, V. Z. Klymenko. – Kyev: Vyshcha shkola. Holovnoe yzd-vo, 1983. –279 s.*
14. **Kaluhyn A.V.** Dereviannyye konstruktsyy. *Ucheb. posobye (konspekt lektsyi). M.: Yzdatelstvo ASV, 2003. 224 s.*
15. **Ioannidou D.** Evaluating the risks in the construction wood product system through a criticality assessment framework / *Ioannidou, D., Pommier, R., Habert, G., & Sonnemann, G. // Resources, Conservation, and Recycling - 2019– №146, rr. 68–76.*
16. **Klimenko V. Z.** Konstruktsii z dereva i plast" mas: Pidruchnyk / *V. Z. Klimenko// — K.: Vyshcha shko" la, 2000. — 304 s*
17. **Bazhenov V. A.** Budivselna mekhanika: Navchalnyi posibnyk / *V. A. Bazhenov, H. M. Ivanchenko, O. V. Shyshov, S. O. Pyskunov //– K.: Karavela, 2013.*
18. **Klovanich S. F.** Metod kintsevykh elementiv v neliniinykh zadachakh inzhenernoi mekhaniky / *S. F. Klovanich. – Zaporizhzhia: Vydavnytstvo Zhurnala "Svitheotekhniki", 2009, – 400 s.*

FEATURES OF DETERMINING THE ESTIMATED LENGTH OF POSITIVE ARCHES MADE OF LAMINATED WOOD

*Denis MYKHAYLOVSKYI,
Ihor SKLIAROV
Tetiana SKLIAROVA*

Summary. The issue of loss of stability of arched structures is very important in engineering practice and design. This issue is especially key from the point of view of reliability and safety and economic losses, since structures of this type are usually used in buildings with a consequence class of at least CC2. [1].

Laminated timber arches are long-span compression-bent elements in which the loss of stability plays a major role in determining the cross-sectional dimensions. In contrast to beams, an arch has a much larger ratio between the length of the element and its cross section, which in turn increases the risk of loss of stability. The loss of stability of an arch and its correctly determined design length are directly related. The design length is defined as the value at which an arch can lose its stability under the influence of external loads. The main aspects of this relationship are: the value of the design length of the arch; mechanisms of loss of stability; dependence on the material and shape; accuracy of engineering calculations.

It should be noted that recommendations for determining the design length of an arch are contained exclusively in the methodological literature and outdated regulatory documents, such as [7]. In the latest current regulatory document [8], this issue is resolved by checking the strength and stability of the element, without limiting the flexibility. Since the flexibility of the element depends on its design length, the issue of determining this parameter remains open and relies directly on the design engineer, or rather, on his experience and competence. This issue is very relevant, given that a minor error in determining the design length significantly affects the results of testing compressed-bent elements.

As a result of the work carried out, we analyzed the determination of the design lengths of hollow arches with different shapes and types of loading using two calculation methods: analytical formulas and the finite element method using the LIRA-SAPR-2019 software. Based on the calculations, recommendations for determining the design lengths of arches are given.

Keywords. Design length; flexibility of arches; loss of stability; positive arches.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2024