

Materials and Structures. – 1994, vol.23. – pp. 457–460. **15.** ДСТУ Б В. 2.7–227:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення характеристик тріщиностійкості (в'язкості руйнування) при статичному навантаженні. – 20 с. **16.** ГОСТ 29167–91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – 20 с. **17.** Вербецкий Г.П. Прочность и долговечность бетона в водной среде / Г.П. Вербецкий. – М.: Стройиздат, 1976. – 120 с. **18.** Мальцов К.А. Физический смысл условного предела прочности бетона на растяжение при изгибе / К.А. Мальцов // Бетон и железобетон. – 1958. – №3. – С. 18–20. **19.** Blakey F. A Note on Strains Distribution in Concrete Beams / F. Blakey, F. Beresford // Civil Engineering and Public Works Review. – 1955. – vol. 5. – №586. pp. 20–35. **20.** Яковлева М.В. Исследование деформативных свойств бетона одного состава / М.В. Яковлева. Сборник научных трудов. Куйбышевский филиал ВЗИИТ. Вып.3.–Куйбышев: – Куйбышевское кн. изд., 1971. – С. 25–30. **21.** Сроули Дж. Методы испытаний на вязкость разрушения / Дж. Сроули, У. Браун / Прикладные вопросы вязкости разрушения. Сб. статей. Пер. с англ. – М.: Мир, 1968. С. 213 – 297. **22.** Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов. – М.: Наука, 1974. – 640 с. **23.** Иванова В.М. Математическая статистика / В.М. Иванова, В.Н. Калинина, Л.А. Нешумова, И.О. Решетникова. – М.: Высш. шк., 1975. – 398с.

УДК 624.011

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ АРОК З КЛЕСНОЇ ДЕРЕВИНИ

SOME FEATURES OF CALCULATION ARCHES WITH LAMINATED WOOD

Михайловський Д.В. к.т.н. доцент; Бабич Т.С. магістр.(Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Mihailovskiy D.V. the candidate of technical sciences, assistant professor;
Babych T.S. master. (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Розглянуто питання врахування деформованої схеми в арках з клесної деревини. Наведено результати чисельних досліджень з рекомендаціями щодо проектування арок з клесної деревини.

Examined the questions of taking into account deformed schemes in the arches of laminated wood. The results of numerical studies with recommendations for design the arches of laminated wood.

Ключові слова:

Клесна деревина, геометрична нелінійність, деформована схема, арка.
Laminated wood, geometric nonlinearity, deformed scheme, arch.

Вступ. Дерев'яні конструкції набувають все більшого розповсюдження в усьому світі [1]. Особливо це стосується сучасних конструкцій з клеєної деревини (ККД), за допомогою яких можна перекивати великі і навіть дуже великі прольоти [2]. Ще в 60-х роках минулого сторіччя відомі приклади зведення арокних покриттів прольотами біля 100 м. Однак, питання щодо розрахунку таких ККД у вітчизняних нормативних документах висвітлено недостатньо [3].

Аналіз досліджень. В останньому радянському СНиП II-25-80 [4] відсутні конкретні вказівки, щодо визначення розрахункових напружень в арках з клеєної деревини, по замовченню рекомендується користуватись методикою для елементів, що працюють на стиск зі згином. Так, в Посібнику до СНиП II-25-80 [5] наведено приклад, в якому нормальні напруження в розрахунковому перерізі арки визначаються за допомогою формули проф. Заврієва К.С. Дана формула виведена з урахуванням деформованої схеми прямолінійних позакентрово-стиснутих елементів [6]. Для арокних, та в принципі і будь-яких криволінійних елементів, вона підходить досить відносно, і значно збільшує величину внутрішніх зусиль в розрахункових перерізах арки, що як наслідок, призводить до збільшення внутрішніх напружень.

В європейському нормативному документі EN 1995-1-1:2008 (ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010) [7], основні положення якого майже без змін прийняті в ДБН В.2.6 – 161:2010 «Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції» [8], міститься загальна рекомендація по необхідності врахування деформованої схеми при розрахунку ККД, однак будь-яких формул щодо розрахунку не наводиться.

Для криволінійних елементів в залежності від прикладеного навантаження прогин може як збільшувати, так і зменшувати кривизну елемента. Основною особливістю розрахунку в деформованому стані є те, що під початковим навантаженням з'являються переміщення, які змінюють початкове положення осі системи. При цьому порушується лінійна залежність між силами і переміщеннями. У геометрично-нелінійних задачах відсутня пряма пропорційність між деформаціями і напруженнями. Аналізуючи розрахунок і результати досвіду систем ламаного обрису, можна прийти до висновку, що врахування деформованого стану, наведеного у діючих до сьогодні нормативних документах необ'єктивно відображає дійсний напружено – деформований стан [9].

Постановка мети і задач досліджень. Метою дослідження є уточнення необхідності врахування деформованої схеми при розрахунку арок з клеєної деревини. Для досягнення даної мети були вирішені наступні задачі:

1) проведені чисельні дослідження по визначенню згинального моменту за ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012 [10] та методами будівельної механіки з врахуванням геометричної нелінійності та без її врахування для положистих та стрілчастих арок; 2) проведено аналіз отриманих чисельних досліджень і запропо-

новано методику розрахунку арок; 3) проаналізовано різницю між значеннями моментів; 4) порівняно витрати матеріалів за запропонованою методикою розрахунку та розрахунком за ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012.

Методика досліджень. Задачі розрахунку реалізуються в програмному комплексі Lira SAPR 2013 з використанням аналізу МСЕ в плоскій постановці двома способами. Постійне навантаження на арки прийняте для всіх типів однаковим - 7,846 кН/м. Снігове навантаження для положистих та стрілочастих арок прикладене згідно ДБН В.1.2-2:2006 « Навантаження і впливи» [11].

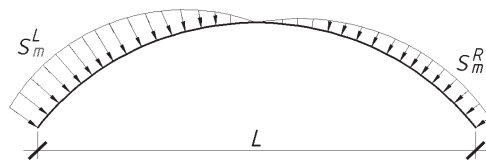


Рис.1. Снігове навантаження на положисту арку

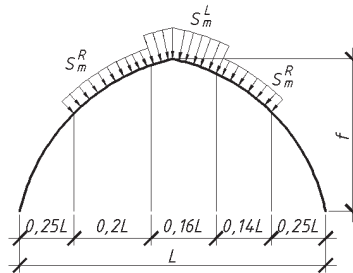


Рис.2. Снігове навантаження на стрілочасту арку

$S_m^L=18,62\text{кН/м}$, $S_m^R=9,31\text{кН/м}$.

Для лінійного розрахунку було використано скінченний елемент №10, типу – універсальний просторовий стержневий СЕ. Арки розбивались на 40 СЕ. Опори – шарнірні. Для нелінійного розрахунку СЕ був замінений на скінченний елемент №310, типу - геометрично нелінійний універсальний стержневий СЕ. Для моделювання нелінійного навантаження був заданий кроковий метод. Метод розрахунку – автоматичний вибір кроку з пошуком нових форм рівноваги. Мінімальна кількість ітерацій – 300, кількість кроків – 3. Всі кроки рівномірні з точністю 0,0001.

Арки, що моделювались, були трьох типів: 1) положисті двохарнірні; 2) положисті триарнірні; 3) стрілочасті; з різною величиною стріли підйому - від $f=1/4$ до $f=1/7$ для положистих та від $f=1/2$ до $f=1/3$ для стрілочастих арок. Скінченому елементу були надані властивості з наступними характеристиками: модуль пружності - $E = 10000$ МПа, густина - $\gamma = 600$ кг/м³, розміри поперечного перерізу змінювались залежно від величини прольоту арки.

Результати досліджень. Проведені чисельні дослідження по розрахунку арок за допомогою програмного комплексу Lira SAPR 2013 в геометрично-

нелінійній постановці (врахування деформованої схеми) показали суттєву відмінність одержаних результатів за методикою яка містилась в радянських нормативних документах і фактично без суттєвих змін була перенесена в норми проектування України, Білорусії та Росії [12], [13].

На графіках (рис. 3 - 8) показано відмінність результатів чисельних досліджень між величинами згинальних моментів за лінійним і нелінійним розрахунком в ПК, а також за ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012 з урахуванням коефіцієнта $k_{m,c}$ (коефіцієнт, який враховує появу додаткового згинального моменту в деформованій схемі елемента)

$$k_{m,c} = 1 - \frac{N_d}{\varphi_c \cdot f_{c,0,d} \cdot A_{br}} \quad (1)$$

Різниця між значеннями згинальних моментів у відсотках показані над графіками для лінійного і нелінійного розрахунку, і під графіками для нелінійного розрахунку та розрахунку за ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012. В даній статті приведені результати лише для положистих дво- і тришарнірних арок зі стрілою підйому $f=1/7$ та стрілчастих арок зі стрілою підйому $f=1/2$.

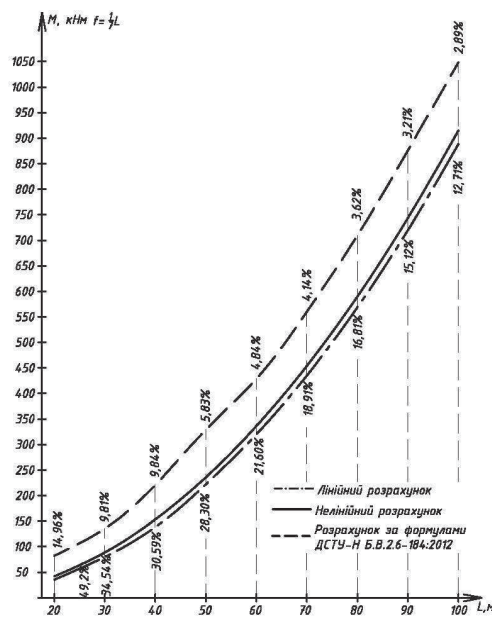


Рис.3. Згинальні моменти двошарнірних положистих арок

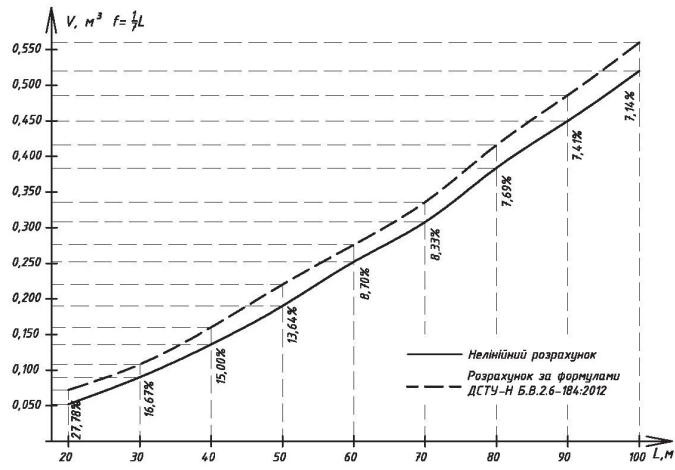


Рис.4. Витрати деревини на 1м.п. двошарнірних положистих арок

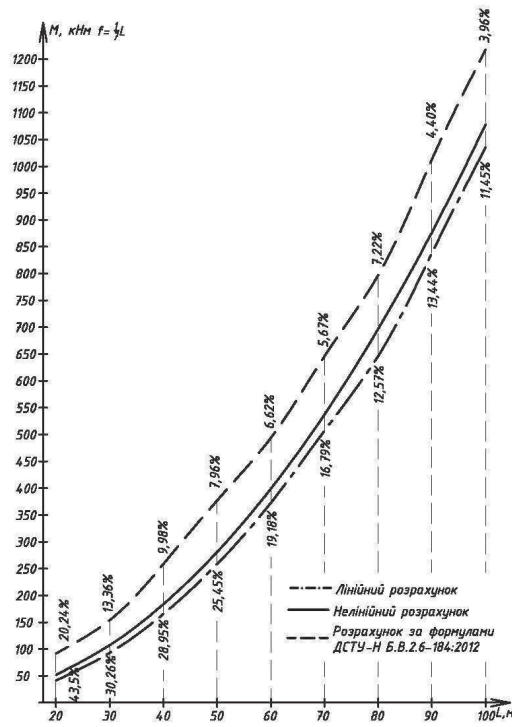


Рис.5. Згинальні моменти тришарнірних положистих арок

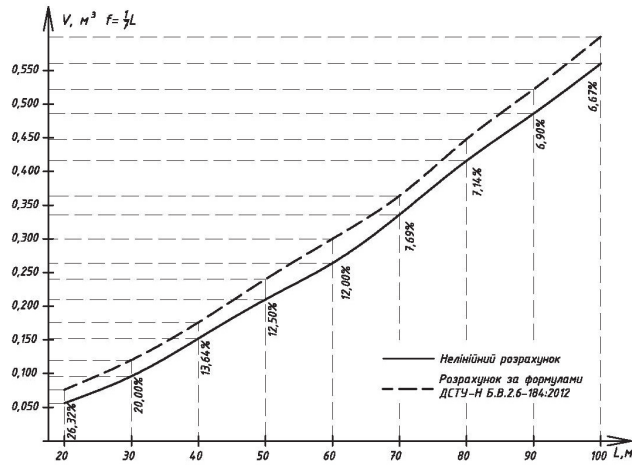


Рис.6. Витрати деревини на 1м.п. тришарнірних положистих арок

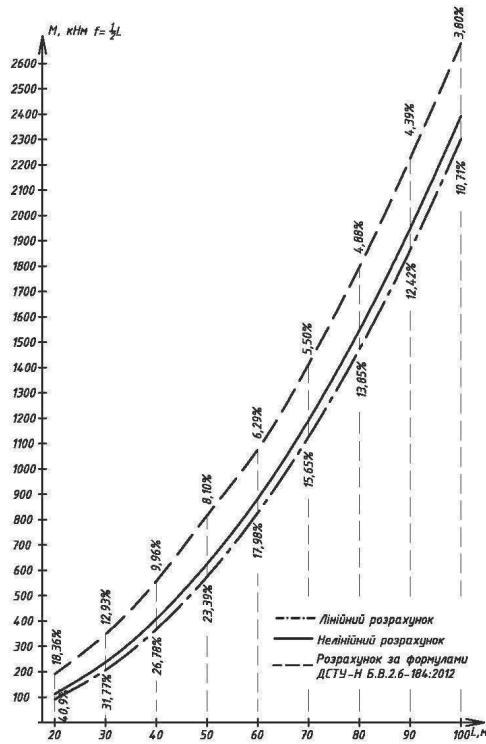


Рис.7 Згинальні моменти стрілочастих арок

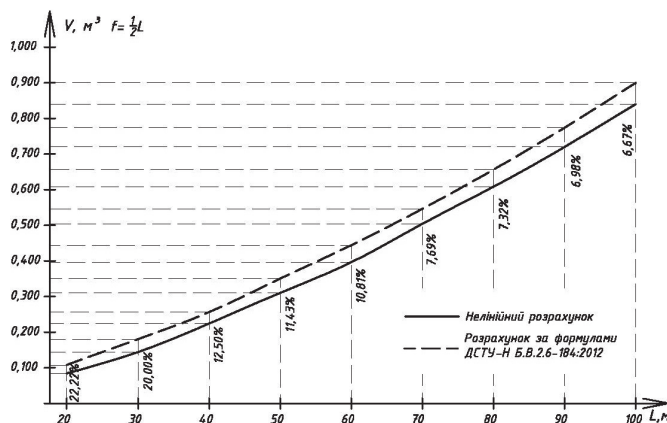


Рис.8. Витрати деревини на 1м.п. стрілочастих арок

Значення згинальних моментів з урахуванням деформованої схеми (геометричної нелінійності) та за звичайним розрахунком (без врахування геометричної нелінійності) в програмному комплексі Lira SAPR 2013 відрізняються:

- для положистих двошарнірних арок – від 2,89% до 14,96%,
- для положистих тришарнірних арок – від 3,96% до 20,24%
- для стрілочастих арок – від 3,8% до 18,36%.

Значення згинальних моментів з урахуванням деформованої схеми (геометричної нелінійності) за методикою норм та за результатами розрахунку в програмному комплексі становить:

- для положистих двошарнірних арок – від 12,71% до 49,2%,
- для положистих тришарнірних арок – від 11,45% до 43,5%
- для стрілочастих арок – від 10,71% до 40,9%

Точний розрахунок з використанням програмних комплексів і врахуванням геометричної нелінійності дозволяє зменшити витрати деревини:

- для положистих двошарнірних арок – від 7,14% до 27,78%;
- для положистих тришарнірних арок – від 6,67% до 26,32%;
- для стрілочастих арок – від 6,67% до 22,22%.

Результати приведені не для всіх типів арок, а саме для арок з найбільшим значенням різниці у розрахунках за нормативними документами та за запропонованою методикою (враховуючи деформовану схему).

Висновки. Така похибка у значеннях підтверджує необхідність використання саме геометрично-нелінійного розрахунку для криволінійних конструкцій з клеєної деревини. Таким чином рекомендується замість методики

ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012 (знаходження коефіцієнта $k_{m,c}$) при розрахунках арок використовувати сучасні програмні комплекси з розрахунком в геометрично-нелінійній постановці. А математичний апарат потребує уточнення.

Слід зазначити, що зменшення різниці значень згинальних моментів відбувається зі збільшенням прольоту арок.

Також встановлена закономірність, що різниця між значеннями згинальних моментів збільшується зі зростанням радіусу кривизни (або зменшенням стріли підйому) для положистих, і навпаки для стрілчастих арок.

Формула проф. Заврієва К.С. отримана в 30-ті роки минулого сторіччя для прямолінійних елементів що працюють на стиск зі згином використана в СНиП II-25-80 та ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012. Застосування цієї формули для розрахунку криволінійних елементів неприпустиме, оскільки вона не відображає дійсного напружено-деформованого стану конструкції і є не конкурентоздатною в умовах сучасної ринкової економіки.

Підсумовуючи все вище наведене, слід зазначити, що розроблення сучасної методики розрахунку арочних ККД є дуже актуальною і важливою науковою задачею.

1. «Клееные деревянные конструкции в современном строительстве». Карунас О.А., Чернова К.В., Елькина И.И. Актуальные проблемы архитектуры, строительства и энергосбережения. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2012. — Вып. 4. — 546 с.
2. «Клееная древесина – строительный материал будущего» А. Найчук, С. Васильев. Архитектура и строительство. Журнал №3, Выпуск 2009 р.
3. Калугин А.В. «Деревянные конструкции» Учебное пособие (конспект лекций).-М.: Издательство АСВ, 2003.-224.
4. СНиП II-25-80 Деревянные конструкции / Госстрой СССР- М.: Стройиздат, 1982. - 66с.
5. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко.- М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
6. Кліменко В.З. «Конструкції з дерева і пластмас»: Підручник / В.З. Кліменко – К.: «Вища школа», 2000 р. – 304 с.
7. ДСТУ –Н Б EN 1995-1-1:2010 «Єврокод5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд» – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 244 с.
8. ДБН В.2.6-161:2010 Конструкції будівель і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 102 с.
9. Ю.Д. Санников, А.Е. Серов; под ред. Е.Н. Серова «Проектирование деревянных конструкций» - М.:Издательство АВС, 2011.-563с.
10. ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012. Конструкції з цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування. – К.: Мінрегіонбуд, 2013 – 120 с.
11. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування.-К.: Мінбуд України,2006 – 60с.
12. СНБ 5.05.01-2000 Деревянные конструкции /Минстройархитектуры.-Минск.: Стройтехнорм, 2001.- 70с.
13. СТО 36554501-004-2006 "Деревянные клееные конструкции. Методы испытаний клеевых соединений при изготовлении".Москва, 2006. - 72с.