

УДК 624.011

Д.В. Михайловський, к.т.н., Т.С. Бабич,
КНУБіА, м. Київ

РАЦІОНАЛЬНА КОНСТРУКТИВНА СХЕМА АРОК З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ

АНОТАЦІЯ

Проведено аналіз чисельних досліджень внутрішніх зусиль в дво- та тришарнірних арках однакового обрису з клеєної деревини. Запропоновано методику розрахунку двошарнірних арок у загальному вигляді.

Ключові слова: клеєна деревина, арки, статично невизначувана система.

Вступ.

Назва арки походить з латинської "arcus", що перекладається як дуга. З цього перекладу зрозуміло, що конструкція повинна бути криволінійною, але останнім часом арками називають і конструкції з прямолінійних або ламаних елементів [1]. На сьогоднішній день дерев'яні арки є одними з найбільш розповсюджених несучих конструкцій споруд різного призначення. Їх виготовляють шляхом склеювання надійними синтетичними клеями гнутих елементів з клеєної деревини значної довжини. Особливістю арочної системи є те, що при дії вертикального навантаження в опорах виникає не лише вертикальна, а й горизонтальна складова реакції – розпір, тому арки ще називають розпірними системами. Саме ця здатність дає змогу перекривати прольоти від 12 до 100 м, а як показує практика і більше 100м.

Арки мають наступну класифікацію:

- за конструктивною схемою (тришарнірні, двошарнірні);
- за обрисом геометричної осі (колові, стрілочасті, параболічні, і т.д.);
- за типом поперечного перерізу (прямокутні, двотаврові);
- за сприйняттям розпору (металевими затяжками, залізобетонними фундаментами). [4].

Постановка проблеми.

У багатьох підручниках [2, 4, 5] така конструктивна форма як тришарнірна арка є однією з найбільш розповсюджених. Це пояснюється тим, що дана система є статично визначуваною (легко

розраховується за формулами будівельної механіки) та технологічною (наявність шарніра в гребені). Інформації щодо розрахунку двошарнірних арок в підручниках та навчальних посібниках майже немає. Питання правильного розрахунку двошарнірних арок є дуже важливим, враховуючи розповсюдженість застосування таких конструкцій.

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] та ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012 [9], містяться загальні рекомендації по проектуванню лише тришарнірних арок.

Всі роботи по визначенню раціональної форми зводяться до визначення обрису геометричної осі арки. Дана робота присвячена визначенню раціональної арки за конструктивною схемою.

Виклад основного матеріалу.

Згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012 [9] розрахунковим перерізом арки для кожного сполучення навантажень є переріз з максимальним згинальним моментом і відповідним в ньому нормальним поздовжнім зусиллям.

Використовуючи сучасні програмні комплекси можна проаналізувати внутрішні зусилля в різних конструктивних схемах.

Для порівняння взято дво- та тришарнірні арки з наступними характеристиками: (Рис. 1, 2)

- постійне навантаження $q_m = 5$ кН/м;
- снігове навантаження по трикутнику $S_m^L = 5$ кН/м, $S_m^R = 2,5$ кН/м;
- проліт арок від 20м до 100 м (крок 10м);
- стріла підйому від $f = 1/4L$ до $f = 1/7L$.
- геометричні характеристики поперечного перерізу – $b = 10$ см; $h = 80$ см;
- модуль пружності деревини вздовж волокон – $E = 10000$ МПа;
- густина деревини $R = 0,006$ МН/м³; або 600кг/м³

Задача виконується за допомогою програмного комплексу LIRA SAPR 2013 з використанням аналізу методу скінченних елементів (МСЕ) в плоскій постановці за допомогою скінченного елемента №10, типу – універсальний просторовий стержневий скінченний елемент.

Результати розрахунків представлені у вигляді графіків, що наведені нижче (Рис. 3, 4).

Вже з обрисів епюр згинальних моментів (Рис. 1, в, г та Рис. 2, в, г) можна помітити суттєву

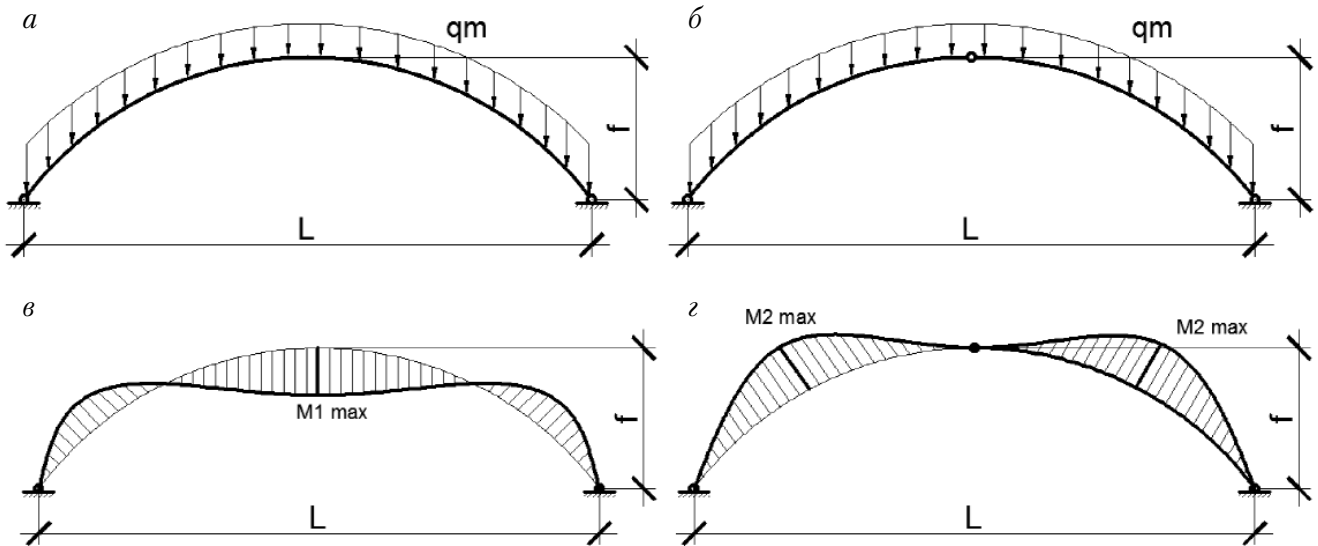


Рис. 1. Розрахункова схема арки та епюри згинальних моментів від постійного навантаження для: а), в) двошарнірної арки; б), г) тришарнірної арки

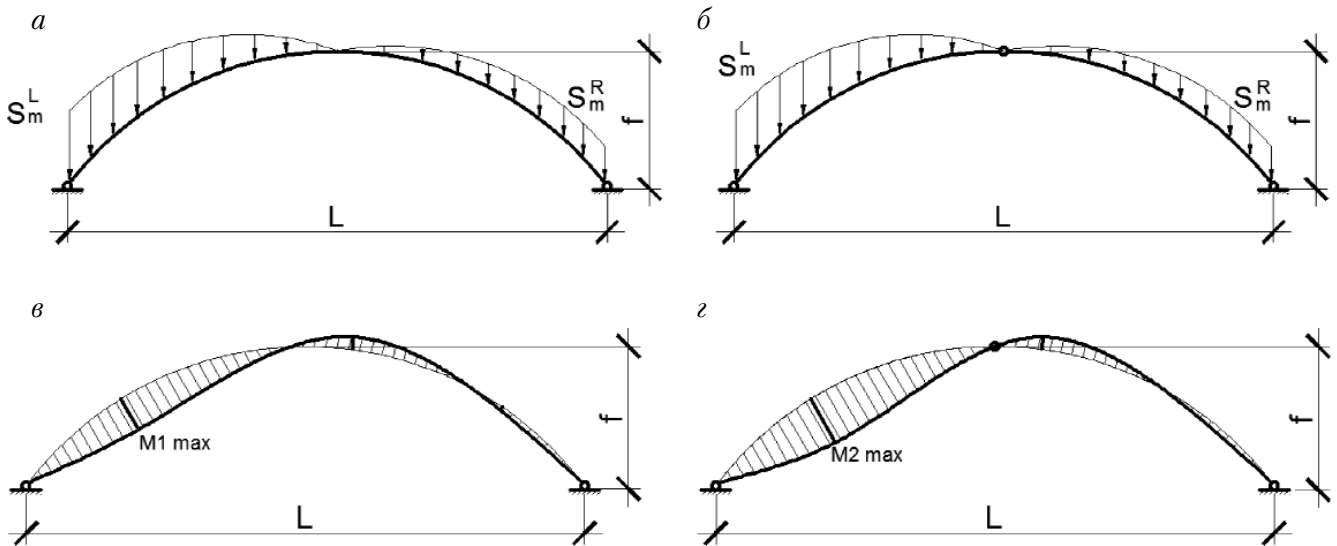


Рис. 2. Розрахункова схема арки та епюри згинальних моментів від снігового навантаження для: а), в) двошарнірної арки; б), г) тришарнірної арки

відмінність між значеннями максимальних моментів дво- та тришарнірних арок. Причому в обох випадках навантажень $M_1^{\max} < M_2^{\max}$

Значення згинальних моментів від постійного навантаження в двошарнірних арках менші ніж в тришарнірних і відрізняються на певну сталу величину, а саме :

- 26 – 27% для арок зі стрілою підйому $f=1/4L$;
- 8 – 9% для арок зі стрілою підйому $f=1/7L$.

Значення згинальних моментів від снігового навантаження по трикутнику в двошарнірних арках менші ніж в тришарнірних і відрізняються так

як і для постійного навантаження на певну сталу величину, а саме :

- 18-19 % для арок зі стрілою підйому $f=1/4L$;
- 17-18 % для арок зі стрілою підйому $f=1/7L$.

В європейському нормативному документі EN 1995-1-1:2008 (ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010) [7] перевірка несучої здатності виконується по кожній групі навантажень окремо, з введенням коефіцієнту k_{mod} до характеристичних значень міцності деревини при визначенні розрахункових значень міцності, який для постійного та снігового навантаження приймається різним.

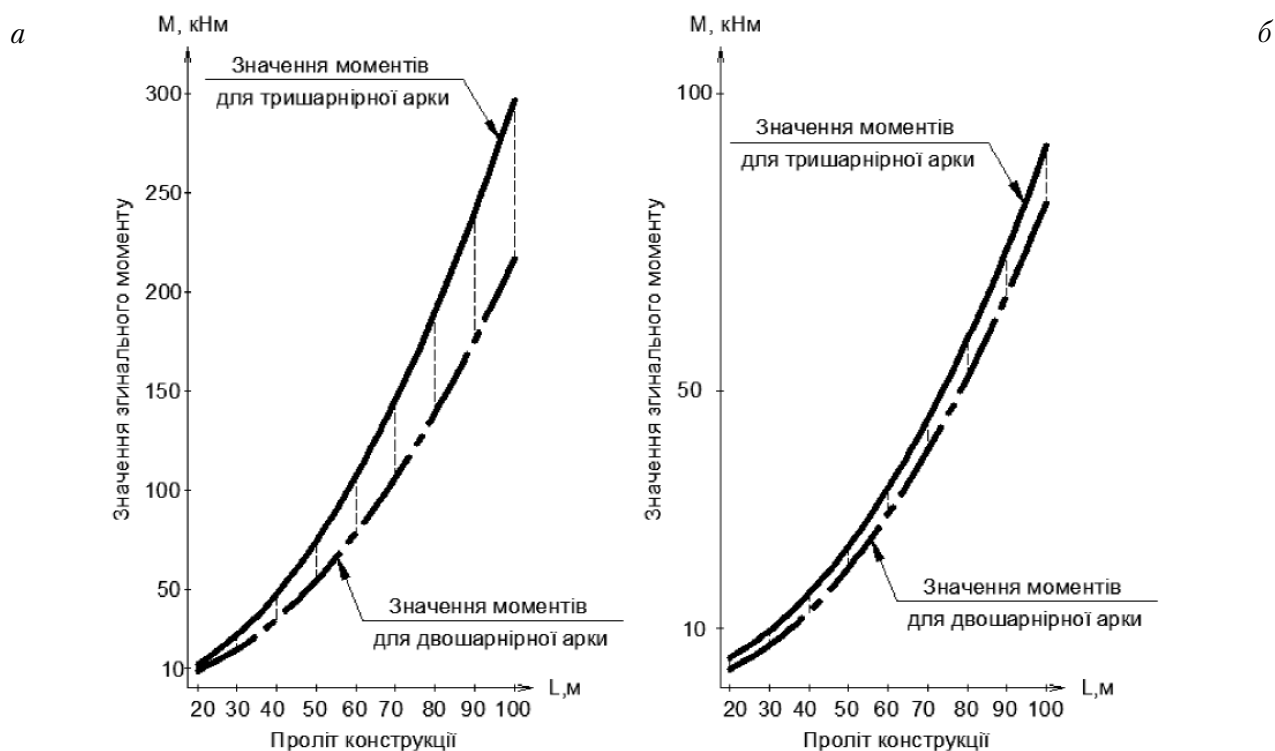


Рис. 3. Графіки залежності максимального значення згинального моменту від прольоту для постійного навантаження. а) при $f=1/4L$; б) при $f=1/7L$

Для прикладу. Розрахунок міцності елементів що працюють на згин слід виконувати за формулою:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}\right)^q + \left(\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}\right)^s \leq 1, \quad (1)$$

де $\sigma_{m,d}$ – розрахункове напруження згину; індекси q та s – позначають напруження від постійного та снігового навантаження відповідно;

$f_{m,d}$ – розрахункове значення міцності при згині визначається за формулою:

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}, \quad (2)$$

$f_{m,k}$ – характеристичне значення міцності при згині;

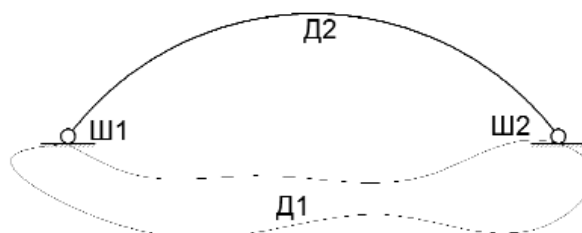
k_{mod} – коефіцієнт, що враховує вплив тривалості навантаження та вологості. Для клеєної деревини цей коефіцієнт має наступні значення: для постійного навантаження $k_{mod} = 0,5 \dots 0,6$; для снігового навантаження $k_{mod} = 0,65 \dots 0,8$, при різних умовах експлуатації конструкцій.

Таким чином доведено, що вплив постійного навантаження на загальну міцність конструкції арки значно більший.

Тобто, можна зробити висновок, що заміна тришарнірної арки, як конструктивної схеми на двошарнірну призведе до зменшення розрахункового згинального моменту, а отже і до зниження матеріалоємності конструкції.

Розрахунок двошарнірних арок не складно виконати за допомогою різних розрахункових програмних комплексів, але це не відміняє потребу у математичному апараті для вирішення даної задачі.

Несучі елементи споруд, які моделюються при розрахунку, повинні зберігати надану їм форму та положення, тобто їх розрахункова схема має бути геометрично незмінюваною і нерухомою. Для виконання цих вимог поєднання окремих дисків конструкції між собою та із "землею" необхідно здійснювати кінематичними в'язями, кількість яких не менша суми ступенів вільності окремих складових дисків споруди.



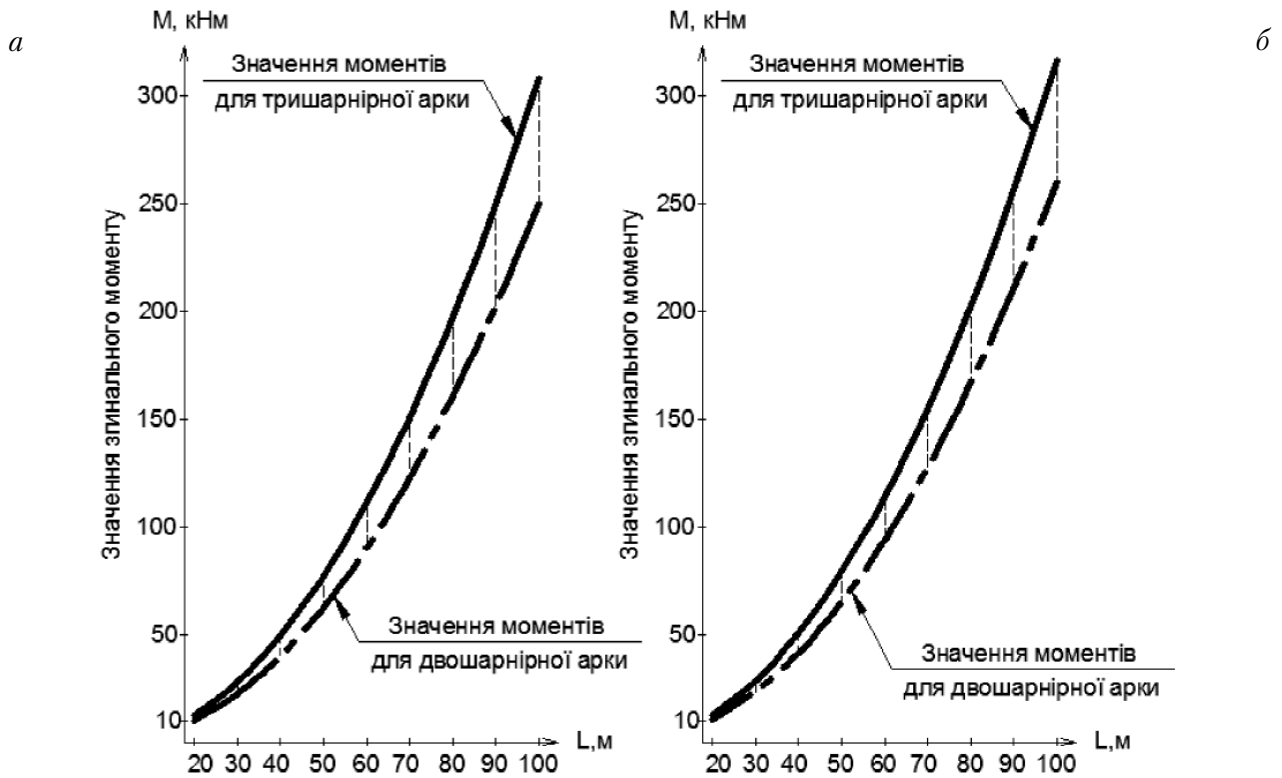


Рис. 4. Графіки залежності максимального значення згинального моменту від прольоту для снігового навантаження. а) при $f=1/4L$; б) при $f=1/7L$

Дослідження співвідношення між кількістю в'язей та дисків проводиться на кількісному етапі кінематичного аналізу.

$$\Gamma = 3 \text{ Д} + 2 \text{ В} - 3 \text{ П} - 2 \text{ Ш} - \text{С} - 3 = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 3 = -1.$$

Задана система має умовно "зайву" в'язь.

Наявність "зайвої" в'язі забезпечує більшу жорсткість арки та перерозподіл внутрішніх зусиль між її елементами, тому руйнування однієї в'язі не спричинить руйнування конструкції в цілому. Негативним аспектом перенасичення системи дисків в'язями є неможливість визначення внутрішніх зусиль в елементах конструкції, виходячи лише з умов рівноваги. Система із "зайвими" в'язями статично невизначувана.

Таку систему можна розв'язати за допомогою методу сил. За основну невідому методу сил приймаємо горизонтальну реакцію в опорі (розпір).

Запишемо канонічне рівняння методу сил:

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1p} = 0 \quad (3)$$

Основним методом обчислення переміщень у стержневих системах є метод Мора, що дозволяє визначати переміщення точок системи через зусил-

ля в двох її станах. У даному випадку $X_1 = H$, з рівняння (3), маємо:

$$H = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}}, \quad (4)$$

Для обчислення такого переміщення за означеним методом необхідно:

- Визначити внутрішні зусилля від зовнішнього навантаження (вантажний стан) в статично визначуваній системі;
- Обрати допоміжний стан і, відкинувши зовнішні навантаження і приклавши одиничну силу в напрямі, що відповідає шуканому переміщенню (Рис.5);

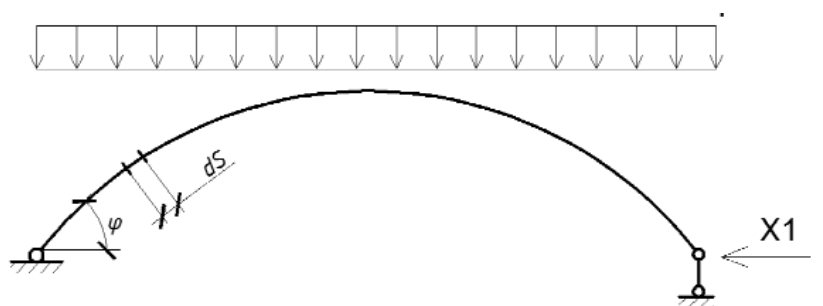


Рис.5. Схема для розрахунку двошарнірної арки

– Визначити внутрішні зусилля від одиничного навантаження (допоміжний стан);

– Визначити переміщення за формулами Максвелла-Мора:

$$\Delta_{1p} = \sum_0^S \int \frac{N_1 \cdot N_p}{EA} dS + \sum_0^S \int \frac{M_1 \cdot M_p}{EI} dS + \sum_0^S \int \frac{Q_1 \cdot Q_p}{GA}, \quad (5)$$

$$\delta_{11} = \sum_0^S \int \frac{N_1 \cdot N_1}{EA} dS + \sum_0^S \int \frac{M_1 \cdot M_1}{EI} dS + \sum_0^S \int \frac{Q_1 \cdot Q_1}{GA}, \quad (6)$$

Оскільки значення поперечної сили в порівнянні зі згинальним моментом та поздовжньою силою досить незначне, то останньою складовою формул (5 та 6) нехтуємо.

Ще однією особливістю при розрахунку інтеграла Максвелла-Мора є інтегрування по дузі (S), де :

$$dS = \frac{dx}{\cos \varphi}, \quad (7)$$

Визначивши невідому складову X1, можна знайти дійсні внутрішні зусилля в двохшарнірній арці.

Висновки.

Проведені чисельні дослідження показали, що при однаковій геометрії дво- та тришарнірних арок ефективнішою конструктивною схемою безумовно є двохшарнірні арки, оскільки вони мають менші внутрішні зусилля, і як наслідок – будуть мати менші витрати матеріалу на виготовлення.

Таким чином задача по розробці чіткої методики розрахунку двохшарнірних арок з врахуванням деформованої схеми та анізотропії фізико-механічних властивостей деревини, є важливою і потребує подальшого детального дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайловський Д. В. Розрахунок і конструювання арок з клеєної деревини. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи / Д. В. Михайловський, М. С. Коваленко, Д. М. Матющенко, Т. С. Бабич. // – К.: КНУБА, 2014-124с.

2. Кліменко В. З. Конструкції з дерева і пластмас: Підручник / В. З. Кліменко // – К.: Вища школа, 2000. – 304 с.

3. Серов Е. Н. Проектирование деревянных конструкций // Ю. Д. Санников, А. Е. Серов; под. ред. Е.Н. Серова – М.:Издательство АВС, 2011. – 563 с.

4. ДСТУ -Н Б EN 1995-1-1:2010 Єврокод 5. Проективання дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 244 с.

5. ДБН В.2.6-161:2010 Конструкції будівель і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 102 с.

6. ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012. Конструкції з цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування. – К.: Мінрегіонбуд, 2013 – 120 с.

АННОТАЦІЯ

Проведен анализ многочисленных исследований внутренних усилий в двух- и трехшарнирных арках одинакового очертания из клееной древесины. Предложена методика расчета двухшарнирных арок в общем виде.

Ключевые слова: клееная древесина, арки, статически неопределимая система.

ANNOTATION

The analysis of numerical studies of internal efforts in double-hinged and three-hinged arches same outline of laminated wood. Proposed a method of calculating the double-hinged arches in general terms.

Keywords: laminated wood, arches, statically undefined system.