

## КЛЕЄНА ДЕРЕВИНА В АРКОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ

### Аркова конструктивна форма

З різноманітних позитивних властивостей клеєної деревини, як конструкційного матеріалу [1], розглядається її пластичність, яка обумовлена природною структурою деревини. Ця властивість деревини давно людині відома і використовувалася в практичних цілях. Деревина стає більше пластичною зі збільшенням її вологості. Гнуті дерев'яні деталі для кораблів і в будівництві формували викривленням розпареного дерева. На гравюрі середньовіччя (рис.1) показано, як це відбувалося.

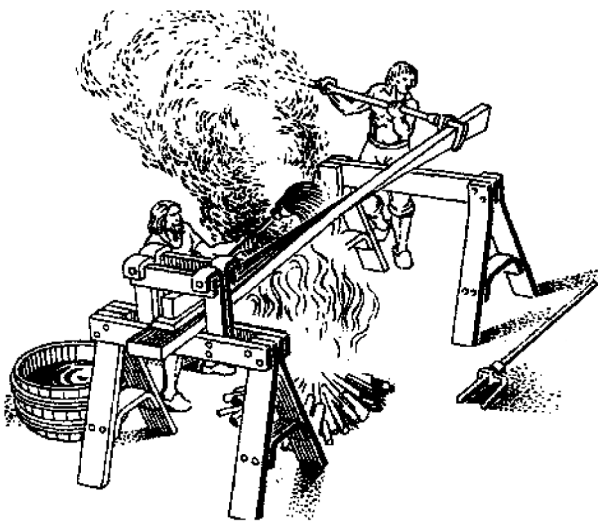


Рис. 1. Виготовлення криволінійного елемента

Для виготовлення клеєної деревини використовується сухий пиломатеріал (до 9%). В елементах дошки не треба скручувати, а тільки вигинати по довжині. Пластичності тонких сухих дошок для цього достатньо і завдяки цьому клеєна деревина знайшла широке застосування в криволінійних конструкціях,

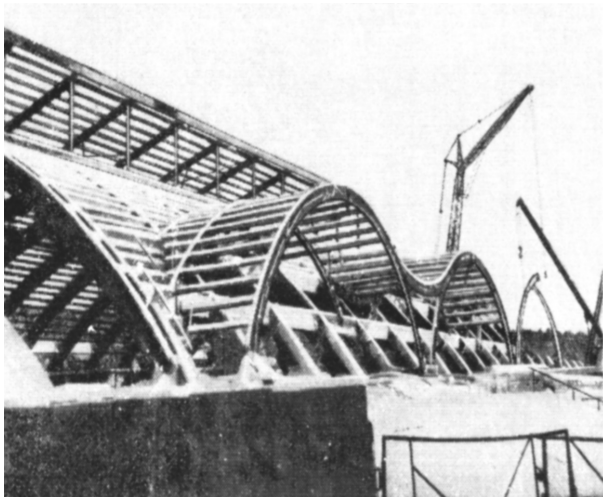


Рис. 2. Монтаж конструкцій покриття легкоатлетичного манежу прольотом 50 м

зокрема в арках. Ця конструктивна форма виявилася однією з раціональних для ефективного використання високої відносної міцності клеєної деревини. Одночасно в ній не суттєво виявляється недолік клеєної деревини, як конструкційного матеріалу, що полягає в її низькому модулі пружності. В арках максимально використовується міцність матеріалу і нівелюється його негативна властивість. Тому арки застосовуються в будівництві для перекриття середніх (до 60 м) і великих прогонів (до 150 м) [2,3]. На рис.2–6 наведено приклади з всесвітнього досвіду впровадження в капітальному будівництві аркових несучих конструкцій в покриттях будівель різного функціонального призначення.

Легкоатлетичний манеж (рис.2) має розміри в плані 129х57 м з трибунами для глядачів. Крок арок 6 м, переріз – 20х135 см. Просторова жорсткість покриття забезпечується прогонами, які виконують роль розпірок і суцільним скісним дощаним настилом. Бічні аркові прибудови, в просторі яких влаштовані входи і виходи для глядачів і кабінки коментарів, прикрашають зовнішній вигляд споруди.

Торговельна зала ринку (рис.3) розмірами 60х60 м перекрита тришарнірними арками колового обрису. Крок арок 6 м, переріз – 28х137,6 см, стріла підйому 10 м. Просторова жорсткість покриття забезпечується так само як в попередньому прикладі. Проліт арок покриття, яке показано на рис. 4 до 1990 р. був рекордним в світовій практиці будівництва дерев'яних арок з клеєної деревини. Покриття має сідлоподібну поверхню двоякої кривизни. В плані покриття розміром 128х48,3 м має форму близьку до трапеції з криволінійними сторонами.

Тому 15 головних арок мають різні прольоти і стріли підйому: три двошарнірні арки над трибунами мають проліт 128 м; з протилежного боку тришарнірна арка прольотом 108,5 м; прольоти проміжних арок зменшуються к середині покриття.

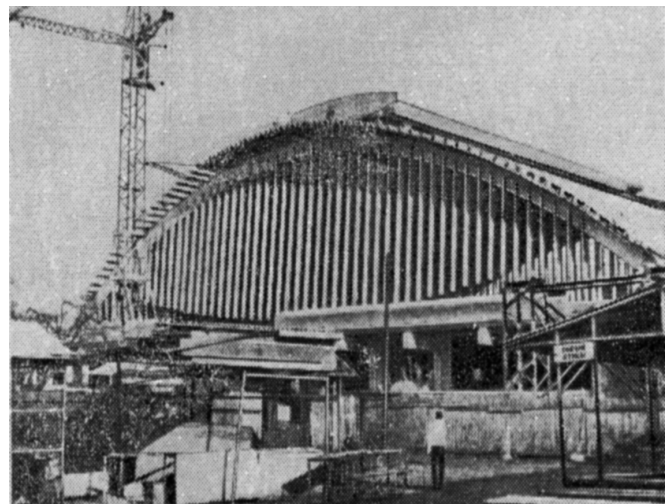


Рис. 3. Покриття продовольчого ринку прольотом 60 м

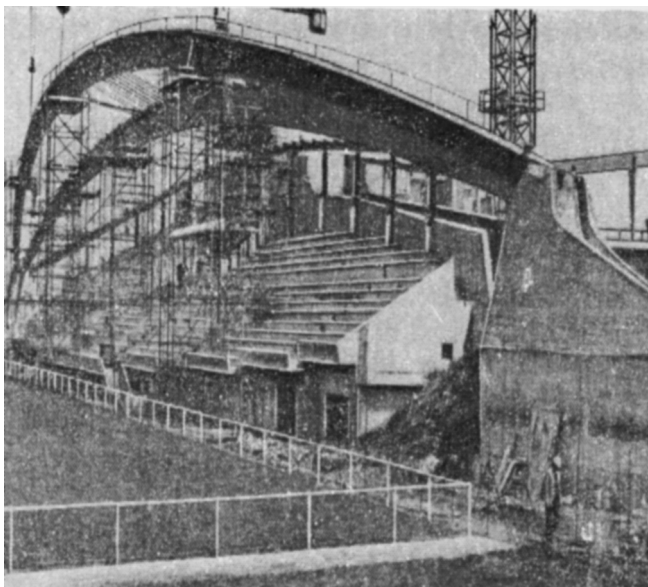


Рис. 4. Покриття будівлі спортивного призначення прольотом 128 м

Сідлоподібність поверхні утворена завдяки різним стрілам підйому арок.

Арки двохстінчасті, кожна стінка має ширину 16 см і змінну висоту: у крайовій арці від 114 см на опорі до 209 см в гребні; у середній арці відповідно від 146 см до 204 см.

Проліт арки 89,0 м:  $f = 19,4$  м (рис. 5). Арка тришарнірна, криволінійна, трицентрова, змінного перерізу. Крок 6,25 м. Висота двохстінного поперечного перерізу арки змінна: від 68 см в гребневому вузлі до 186 см в карнизному вузлі.

Проліт 100 м,  $f = 18$  м. (рис. 6). Арка колового обрису. Крок арок 10 м несучі арки виконані з двох клеєдощатих елементів, з'єднаних для сумісної роботи болтами.

На рисунку 7 показано покриття льодового стадіону, збудованого для зимових олімпійських ігор 2010р., м. Ванкувер, Канада. Двошарнірні арки з клеєної деревини мають проліт 100 м.

Проектування аркових конструкцій повинно виконуватися на нових сучасних правилах [4], які враховують специфічний напружено-деформований стан клеєної деревини в криволінійних елементах. Недо-

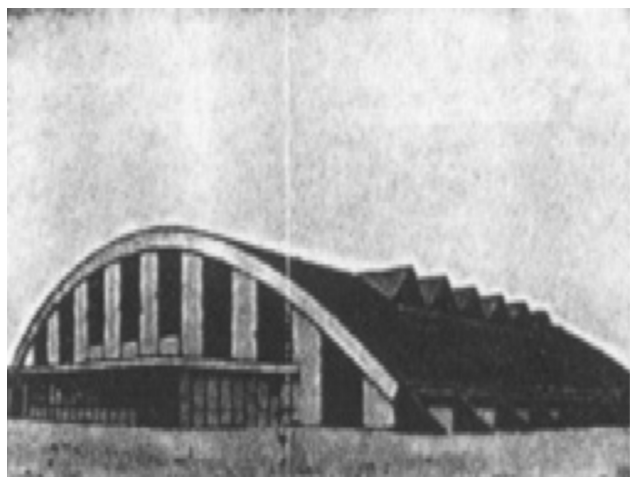


Рис.6. Виставковий павільйон

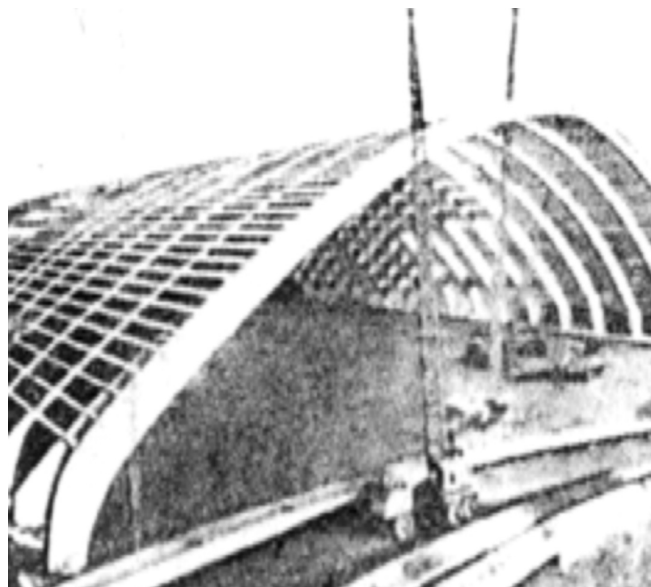
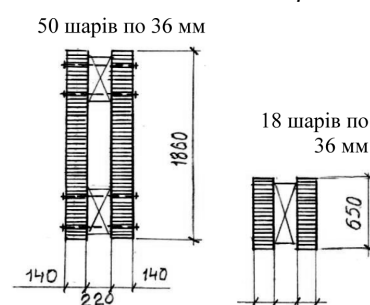


Рис.5. Критий стадіон



статньо робити перевірку міцності тих окремих перерізів, в яких діють максимальні напруження: поздовжні, згину, поперечні, радіальні. Обов'язковою є перевірка того перерізу, в якому формується складний напружений стан, викликаний спільною дією одночасно всіх згаданих напружень.

В нові норми проектування конструкцій з клеєної деревини включена відповідна методика розрахунку, теоретичні основи якої викладені в [5].

Перехід від балкових конструктивних форм до арок є, можливо, самою яскравою демонстрацією появи антропогенних технічних систем в галузі будівельних конструкцій під впливом законів розвитку ТС. Ступень ідеальності аркових конструкцій порівняно з балковими зростає багатократно. Досягається це як завдяки комплексному характеру дії різних ЗРТС, так і дії такого несподіваного, на перший погляд, фактору, як «пустота».

*Трохи філософії щодо пустоти*

*Мефістофель*

*-Достатньо ти знайомий з порожнечою?*

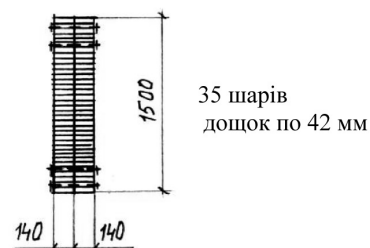
*Фауст*

*-Дух пустоти, я сподіваюся ухоплен мною*

*«Фауст» Й.О.Гете*

*(переклад автора)*

Ознайомимося з пустотою, яка пишеться без лапок. Розглянемо пустоту з філософської точки



зору, з якої ведеться бесіда між Мефістофелем і Фаустом, і з фізичної точки зору. Ці питання хвилюють людство вже багато століть. Ще в V ст.. до н.е. Левкіп і Демокріт



Рис. 7. Льодовий стадіон

дійшли висновку: усе в світі складається з атомів і пустоти, що їх роз'єднує. Важко уявити собі і повірити в пустоту. Тому в ті самі давні часи інший філософ стверджував: «Немає на світі ніде пустоти – і звідки їй узятися?» Словом, пустота не тільки не існує, навіть думати про неї неможливо. Сам Аристотель, князь мудреців, як його іменували протягом тисячоліть, додержувався такої думки – уявити собі пустоту все ж таки можна, але знайти її в світі неможливо (її існування входило в протиріччя з філософськими поглядами Аристотеля).

Вчені різних часів визнавали існування пустоти, прибічниками її були Г.Галілей, І.Ньютон, Б.Паскаль і інші. Але були і активні супротивники такої думки. З визнанням теорії відносності А.Ейнштейна суперечки щодо пустоти припинилися.

Короткий філософський екскурс у щось за ім'ям ніщо<sup>1)</sup> править містком для переходу до «пустоти» в технічних системах, зокрема, в будівельних конструкціях формах типу арок і рам.

Мова піде не про арки, які були відомі здавна в Стародавньому Римі, і які були введені римлянами

<sup>1</sup> Якщо когось з читачів зацікавило питання пустоти, пропонуємо дуже цікаву художньо-наукову книжку [6].

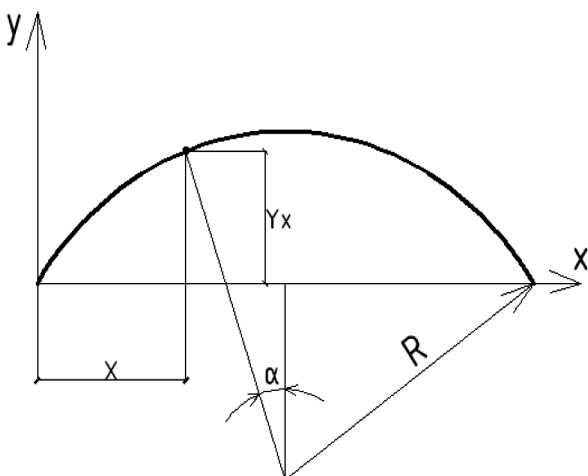


Рис. 8. До розрахунку арки

в культ (згадаємо триумфальні арки). Арки тих часів це результат візуального змикання у вертикальній перспективі двох стовпів. У тих спорудах, по суті, мало ознак будівельної конструкції з сучасної точки зору. Розглядається сучасна конструктивна форма, яка дозволяє перекивати великі і навіть дуже великі прольоти. Завдяки чому це досягається? Відповідь – завдяки «пустоті». На відміну від філософської категорії пустоти «пустота» будівельних конструкцій має чисельне вимірювання, що дозволяє враховувати її в інженерних розрахунках.

Ступінь ідеальності арок найбільший серед плоских конструктивних форм, оскільки досягається за рахунок відносно невеликих матеріальних витрат. Кількісне вимірювання ефекту «пустоти» можна підрахувати порівнянням величин згинальних моментів: балкового і в арках різного обрису, скориставшись відомою формулою для визначення згинального моменту в довільному перерізі арки

$$M_x = M_{0x} - X_{yx}$$

в якій  $y$  - є пустота (рис.8).

#### Основи технології виготовлення арок

Склеювання заготовок по довжині з використанням зубчастих шипів на клею виконується у пресах періодичної чи безперервної дії, одночасно запресовуючи групу стиків для отримання заготовок необхідної довжини. Для досягнення найбільшої міцності зубчастих з'єднань отвердження клею повинно відбуватися при нерухомому положенні заготовок в штабелях. Використовувати заготовки для формування багат шарового пакету можна тільки після набрання зубчастими з'єднаннями повної технологічної міцності.

Формування пакету для аркових конструкцій з розміщенням заготовок з деревини різного сорту по висоті пакету у відповідності з робочим проектом робиться безпосередньо в горизонтальних пресових установках. При запресуванні пакету повинно бути забезпечено прикладання і підтримка рівномірного по всій площині пакету тиску величиною до 1 МПа. В разі використання замість гідравлічних пресів гвин-

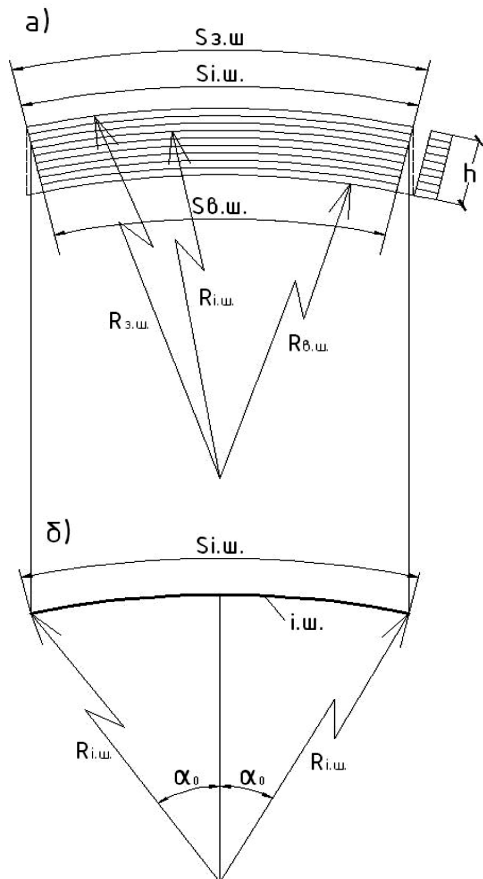


Рис. 9. Виготовлення багатошарового пакету:  
а-схема елемента, б-до визначення довжини окремого шару.

тових вони повинні бути оснащені компенсаційними пружинами, які дозволяють підтримувати необхідне притискання шарів. Горизонтальні пресові установки дозволяють обійтись в цехах без силової підлоги.

Слід враховувати, що після розпресування криволінійних елементів відбувається деяке їхнє випрямлення внаслідок пружності деревини. Тому радіус базової поверхні установки повинен бути менше за розрахунковий радіус прилеглого до поверхні шару пакету і визначається по формулі

$$R_0 = R_{b,n} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

де  $R_{b,n}$  – радіус внутрішньої поверхні арки, см;  
 $n$  – кількість шарів в пакеті.

При виготовленні арок з клеєної деревини слід дотримуватися вимог регламентів стосовно окремих технологічних операцій, а саме: підготовка пиломатеріалів і клеїв, збирання та запресування, режим склеювання, механічна обробка елементів, захисна обробка готових елементів, контроль якості конструкцій, що викладені в чинному керівництві<sup>2</sup>.

Враховуючи те, що висота поперечних перерізів

<sup>2</sup> В теперішній час чинним є Руководство [7]

арок середніх і великих прогонів становить від 70 см до 180 см, а можливо і більше, з метою економії пиломатеріалів при обробці торців готових елементів у відповідності до проектної документації рекомендується призначити оптимальну довжину окремих шарів в заготовках. Робиться це таким чином. Припустимо виготовляється цілком арка, пів-арка чи монтажна частина арки, показана на рис.9 а, з висотою поперечного перерізу 150 см. Довжина кожного шару  $S_{i-ш}$  (рис.9 б) знаходиться по формулі  $S_{i-ш} \times a_0$ , де  $a_0$  береться в радіанах.

Геометрія елемента в прикладі така, що кут  $\alpha = 75$ ,  $\text{arc}75 = 1,31$ .

Тоді різниця довжин зовнішніх шарів у пакеті становить

$$l_{ш} = 2(R_{з.ш.} - R_{б.ш.}) \times 1,31 = 2 \times 1,15 \times 1,31 = 3,93 \text{ м}$$

Формування багатошарового пакету з дотриманням цієї рекомендації дає помітну економію пиломатеріалів порівняно з тим, якби пакет формувався з шарів однакової довжини, як показано пунктиром на рис.9,а. При виготовленні клеєної деревини, особливо для криволінійних конструкцій, відходи на механічну обробку пиломатеріалів достатньо великі, тому будь який технологічний захід, направлений на економічну витрату матеріалу, є доцільним з економічної точки зору.

Україна має достатню сировинну матеріальну базу для відродження в ній сучасних конструкцій з клеєної деревини [8].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кліменко В.З. Ефективний конструкційний матеріал – клеєна деревина / Будівництво України. – №9–10. – 2009. – С. 10–20.
2. Кліменко В.З. Конструкції з клеєної деревини. Світовий досвід / Промислове будівництво та інженерні споруди. – № 1. – 2009. – С. 39–43.
3. Кліменко В.З. Вітчизняний досвід впровадження в капітальному будівництві конструкцій з клеєної деревини. Здобутки і проблеми / Будівництво України. – №5. – 2009. – С. 17–21.
4. Кліменко В.З. Конструкції з клеєної деревини. Сучасна концепція проектування. – Київ: «Сталь». – 2010. – 10 с.
5. Кліменко В.З. Нова концепція проектування великопрогонових конструкцій з клеєної деревини / Зб. наук. праць УкрНДІпроектстальконструкція. – Вип.6. Київ. – 2010. – С. 30–41.
6. Подольный Р.Г. Нечто по имени Ничто / ЖЗИ. – М.: Знание. – 1983. – 192 с.
7. Руководство по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М. – 76 с.
8. Кліменко В.З. Відродження і розвиток в Україні конструкцій з клеєної деревини // Строительные материалы и изделия. – №5. – 2010. – С. 2–6.