

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯDOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.60.247-267>

УДК 624.011

Михайловський Денис Віталійович,*Доктор технічних наук, доцент, професор кафедри металевих та дерев'яних конструкцій**Київський національний університет будівництва і архітектури*

mykhailovskyi.dv@knuba.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-7404-4757>**Склярова Тетяна Сергіївна,***Асистент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій**Київський національний університет будівництва і архітектури*

babych.ts@knuba.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0001-9162-3999>**Бондарчук Богдан Русланович,***Студент архітектурного факультету**Київський національний університет будівництва і архітектури*

Bbr94494@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5307-5159>**АРКИ З КЛЕСНОЇ ДЕРЕВЕНИ. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ**

Анотація: Будівельні конструкції з цільної та клеєної деревини давно набули широкого застосування в багатьох країнах світу. Арка – є одною з найцікавіших та найефективніших конструкцій, прикладом біонічного підходу до проектування, яка своєю формою несе як естетичне, так і практичне значення. Арки застосовувалися людством з давніх давен, і дотепер, що говорить про їх вічну актуальність та необхідність подальшого вдосконалення та розвитку даної конструктивної форми.

В роботі розглянуто процес становлення і розвитку арочних конструкцій, взагалі і зокрема з деревини, що допомагає більш точно зрозуміти процеси, які вплинули, впливають і будуть впливати на розрахунок і проектування арочних конструкцій.

Ключові слова: Арки; арочні конструкції; клеєна деревина; конструктивна форма.

Постановка проблеми. Будівельні конструкції з цільної та клеєної деревини давно набули широкого застосування в багатьох країнах світу. Це стосується не тільки традиційних малоповерхових будівель каркасного типу житлового та іншого призначення, а і офісних будівель, аудиторських корпусів навчальних закладів, великопрольотних покриттів громадських і спортивних будівель різноманітного призначення.

Однією з найбільш розповсюджених конструкцій з цільної та клеєної деревини є арки. Саме огляду арокних конструкцій і присвячена дана робота.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Детальний огляд появи арокних будівельних конструкцій проведено у роботі П. А. Дмитрієва та В. І. Жаданова «Арокные и рамные конструкции из цельной и клееной древесины». Опису роботи і розрахунку арок з клеєної деревини присвячено дослідження багатьох вчених: Юносов, Карен, Дмитрієв та Жаданов.

Метою публікації є розкриття еволюції арокних конструкцій та методів розрахунку арок з клеєної деревини.

Основна частина. Назва арки походить з латинської “arcus”, що перекладається як дуга, вигин [1]. З цього перекладу змістовно зрозуміло, що конструкція повинна бути криволінійною, але останнім часом арками називають і конструкції з прямолінійних або ломаних елементів. Арокна конструкція дає змогу перекривати прольоти від 12 до 100 м і навіть більше.

Важко сказати з якого часу почалось використання арок, так як за своєю суттю арки були завжди. В природі існують досить гарні приклади арокних конструкцій, від входів до печер, вимитих водою отворів в льодовиках (Рис. 1) і закінчуючи великопрольотними природними конструкціями, які вражають уяву (Рис. 2 - 3) [1].



Рис. 1 - Отвір, вимитий водою в льодовику



Рис. 2 - Пейзажна арка на території штату Юта в Північній Америці (Проліт арки 63 м., Найтонша частина становить 1,8 м)



Рис. 3 - Єдина в світі арка з водоспадом Tiansheng Qiao, проліт арки 73 метра

Арка – це розпірна конструкція. Розпір в арці може сприйматись безпосередньо фундаментами або за допомогою зтяжки. В залежності від призначення будівлі та архітектурних вимог арки можуть бути спроектовані різноманітних обрисів. Розрізняють положисті, з співвідношенням висоти підйому до прольоту в межах $1/7 \dots 1/3$ та стрілчасті арки, з співвідношенням висоти підйому до прольоту більше за $1/2$.

Раціонально підібраним вважається такий переріз арки який відповідає найменшій площі поперечного перерізу при значенні нормального напруження від стсику зі згином максимально наближеному до розрахункового значення міцності.

Арочні конструкції набули великого поширення в будівництві з давніх-давен. Особливо там, де потрібно було перекривати великі прольоти, фактично всі конструктивні рішення були арочними. Римляни стали першими використовувати арки великих розмірів, деякі з яких збереглися до наших днів. Одним із прикладів застосування аркових конструкцій в римській архітектурі є давньоримський акведук Пон-дю-Гар [2].

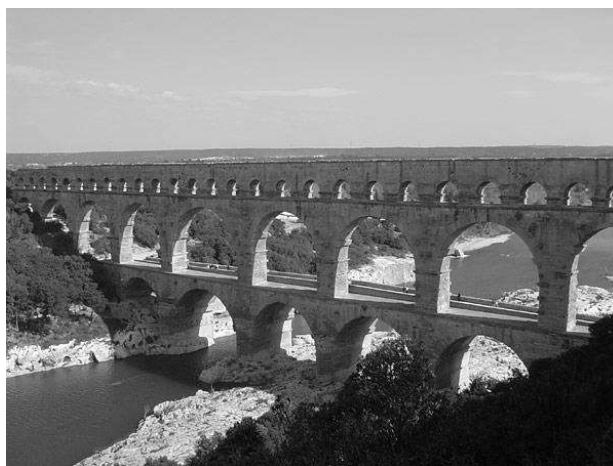


Рис. 4 - Давньоримський акведук Пон-дю-Гар

Акведук Пон-дю-Гар, зведений на висоту 49 метрів через долину річки Гардона для постачання водою римського міста Немауса. Для забезпечення необхідної висоти римляни зводять один над іншим три ряди арокних мостів. Нижній ряд складається з 6 арок різної висоти (сама висока 22 метри) і різних прольотів: 24,5 м, 19,5 м і 15,5 м. Середній ряд заввишки 19,5 м, налічує 11 арок тих же прольотів, що і нижній, і вже на ньому розташований верхній ряд заввишки 7 м. Верхній ряд складається з 35 однакових арок, кожна прольотом близько 4,5 м. По самому верху прокладений водопровід [3].

В 106 році нашої ери побудова Алькантарській міст (Рис. 5) через річку Тахо в іспанському місті Алькантара, поруч з португальської кордоном, побудований за наказом римського імператора Траяна і зберігся до нашого часу. Складається з шести рівних по довжині прольотів і має в довжину 194 метри. Висота 71 метр. Вцілілий навіть латинський напис з ім'ям зодчого - Юлій Лацер. Один з прольотів, зруйнований маврами, був відновлений в 1543 році. У минулому міст мав велике стратегічне значення, і сама назва міста Алькантара перекладається з арабського як «міст» [4].



Рис. 5 - Алькантарській міст через річку Тахо (Іспанія).

На колоні імператора Траяна, що стоїть на Римському форумі, є зображення дерев'яного моста, збудованого через р. Дунай (104 р.н.е.), за наказом імператора Траяна давньоримським інженером-будівельником Аполлодором Дамаським (Рис. 6). Загальна довжина моста становила тисяча сімдесят один метр, він мав 20 бетонно-кам'яних опор по яким влаштовувались дерев'яні арки прольотами по 35 метрів, що склалися з трьох брусів. Побудований міст в стислі терміни, напередодні готувалася Траяном війни з даками. Через 200 років імператор Авреліан, зіткнувшись з навалою готів, повелів зруйнувати його, щоб ускладнити ворогові переправу через Дунай [2].

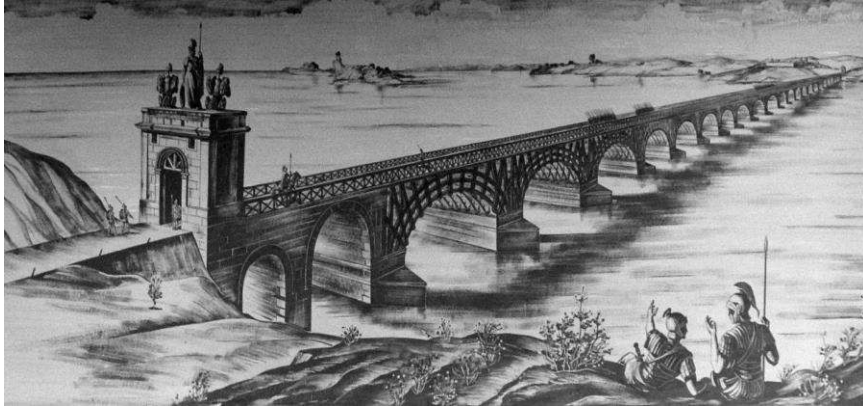


Рис. 6 - Загальний вигляд Траянського моста (старовинна гравюра), зведеного через р. Дунай за наказом імператора Траяна

Акведук Пон-дю-Гар був найзначнішою ааточною спорудою до середніх віків, поки не було зведено міст Сен-Бенезе (Франція) (Рис. 7).



Рис. 7 - Міст Сен-Бенезе (Франція).

Кам'яний міст в німецькому місті Регенсбурзі через Дунай (Рис. 8) загальною довжиною 300 м. Будівництво розпочато в 1135 році, закінчено через 11 років. До складу моста входять 16 арок, встановлених на великих штучних кам'яних островах. Ці острови звужили русло Дунаю і ускладнили судноплавство. Однак, практичні місцеві жителі для проходу суден побудували невеликий обвідний канал, а штучно створений посилений натиск води використали для обертання коліс водяних млинів, встановлених між арками моста.



Рис. 8 - Міст в місті Регенсбурзі (Німеччина) через Дунай

Розвиток різних конструктивних форм пов'язаний з видатним архітектором епохи відродження Андреа Палладіо в XVI ст. Він створював не тільки житлові палаци і громадські будівлі, в покриттях яких застосовував нові для свого часу гратчасті дерев'яні ферми, а й інженерні споруди – мости. Зі зростанням прольотів він від балкових схем перейшов на аркові, використовуючи наскрізну дерев'яну ферму (Рис. 9) [5].

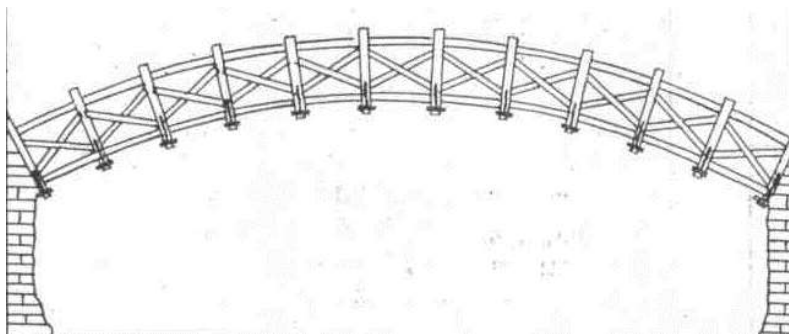


Рис. 9 - Арочний міст Андреа Палладіо

У 70-х роках XVIII сторіччя видатним російським винахідником-самоучкою І.П. Кулібіним запропоновано проект грандіозного однопрольотного арочного дерев'яного мосту через р. Неву в Петербурзі (Рис. 10) прольотом близько 298 метрів.

Обрис осі арки було вибрано за допомогою побудови мотузкових многокутників сил. Міст складався з системи арок, що сприймали вертикальні та горизонтальні навантаження. Була вперше застосована комбінована система, складена з основної несучої арки і арочної ферми багатогратчастого типу. В з'єднаннях елементів були застосовані лише лобові упори і болти. Нажаль, втілити цей проект в життя Кулібін І.П. так і не зміг, однак була зведена модель мосту в масштабі 1/10 натуральної величини. У 1776 році модель мосту була

випробувана, при чому повністю підтвердилися розрахункові припущення І.П. Кулібіна, при випробуваннях був присутній серед інших і академік Л. Ейлер, який підтвердив правильність розрахунків І.П. Кулібіна.

Запропонована Кулібінінм комбінована система у вигляді гнучкої арки, підсиленої елементами жорсткості, а також багатонгратчастої конструкції ферм справили сильний вплив на розвиток сучасних форм несучих дерев'яних конструкцій в мостових спорудах, покриттях і риштуваннях.

Відомий російський будівельник дерев'яних залізничних мостів Д.І. Журавський так оцінив цю роботу: «На ней печать гения; она построена по системе, признаваемой новейшею наукою самой рациональною; мост поддерживает арка, изгиб ее предупреждает раскосная система, которая по неизвестности того, что делается в России, называется американской». [1]

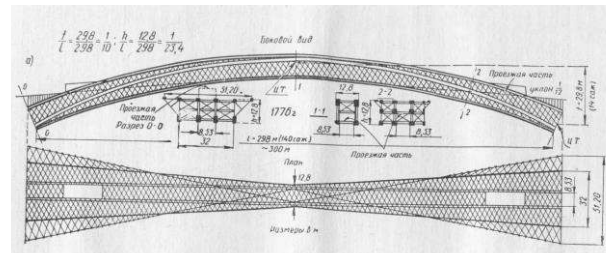
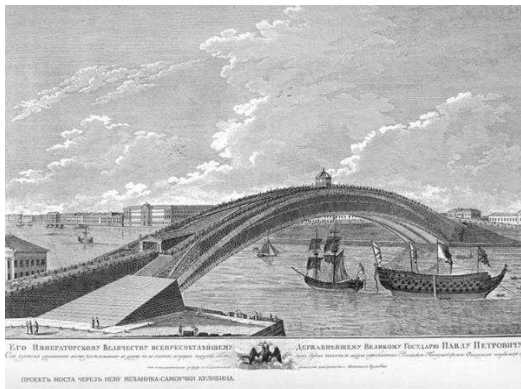


Рис. 10 - Міст Кулібіна І.П. через р. Нева в Петербурзі.

Дуже привабливою арочною конструкцією сходу можна вважати арочний міст Кінтана, Японія, зведений в 1673 році (Рис. 11). Прольот арок по 35,0 м. Арки виготовлені без використання цвяхів і болтів з гнутих брусів, для чого їх розпарювали, вигинали, висушували в зігнутому стані, потім збирали в арки, з'єднуючи бруси на хомутах і стикуючи їх «в розбіг» за допомогою металевих стрічок і затискачів. [2]



Рис. 11 - Арочний міст Кінтана, Японія

В XIX сторіччі в усьому світі розпочинається інтенсивне будівництво мостів пов'язане з розбудовою ліній залізничного транспорту. Залізничні мости будували з цільної деревини перекриваючи прольоти фермами (Гау, Тауна, Гау-Журавського, Лембке тощо) і арках, часто великопрольотних.

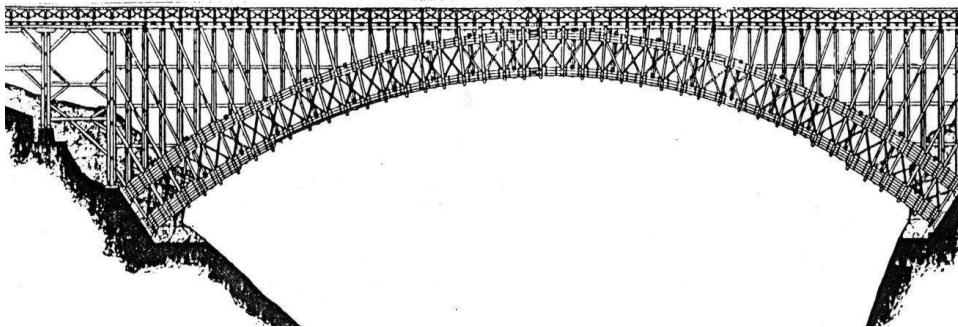


Рис. 12 - Залізничний міст через «Каскейд Глін» прольотом 84,0м, побудований в 1849 році.

Багато мостів будували по арках з вигнутих після пропарювання брусів, зєднуючи їх за допомогою врубок (прямих або з косим прирубом), пізніше на шпонках з використанням хомутів і болтів. Найбільший однопрольотний арочний міст був побудований через річку Вепрьж (рис. 13) в першій половині 40-х років XIX століття інженером Панцером, прольотом 76,8 м. Арки мосту мали прямокутний поперечний переріз з вигнутих брусів, з'єднаних на циліндричних дубових шпонках і болтах.

Через велику трудомісткість виготовлення арок з гнутих брусів російські мостобудівники від них відмовилися і вже при зведенні моста прольотом 47м через річку Куру в 1851 г (Тифліс) його арки були виготовлені з гнутих дощок без попереднього пропарювання, згуртованих на дубових нагелях [2].

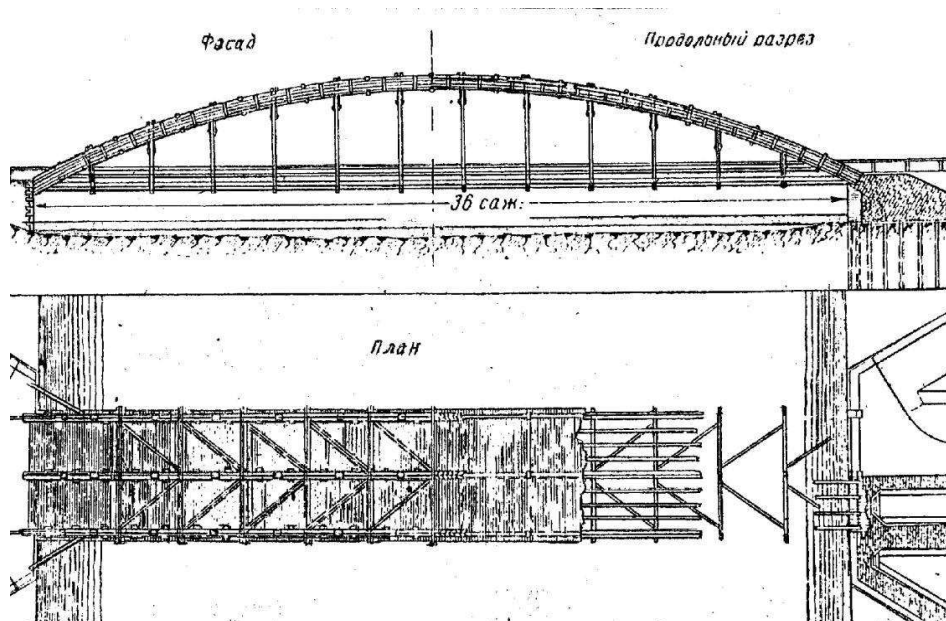


Рис. 13 - Найбільший однопрольотний арокний міст через річку Вепрьж.

Сталевий міст інженера Йосипа Земана (рис. 14), Чехословаччина, Орлик, зведено в 1967 році. Загальна довжина мосту 542 м, прольот арки 330 м, ширина 13 м. Основна несуча конструкція - двухшарнирна арка зі стрілою підйому 42,5 м. Висота коробчатого перерізу 5,0 м. Верхній і нижній пояси з'єднані вітровими в'язями, що забезпечує просторову жорсткість. Під час приймальних випробувань міст був навантажений за допомогою шести причепів-ваговозів із загальним навантаженням 360 тонн.

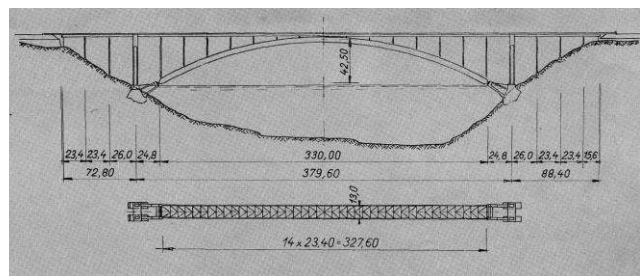


Рис. 14 - Міст інженера Йосипа Земана, Чехословаччина

Високі естетичні якості арок іноді використовують при зведенні престижних мостів в ознаменування або в пам'ять будь-яких історичних подій або особистостей, для демонстрації технологічних можливостей і високого інженерного рівня будівельних фірм, як місцеві визначні пам'ятки, туристичні об'єкти (Рис. 15, 16).

Дерев'яний пішохідно-велосипедний міст Леонардо да Вінчі (Рис. 15), Норвегія, 2001 рік. Міст запроектовано за записниками Леонардо да Вінчі в яких у 1996 році художником знайдено проект арокного моста прольотом

240 м. Саме Веб'орн Санд і став ініціатором будівництва цього моста в зменшеному масштабі. У розробленому проекті повністю збережений унікальний мінімалістичний дизайн - три несучі арки, широкі в основі і тонкі в місці з'єднання з полотном переходу. Міст виготовлений за унікальною технологією «шаруватої деревини» з клеєної норвезької сосни [2].



Рис. 15 - Пішохідно-велосипедний міст Леонардо да Вінчі, Норвегія

Пішохідно-велосипедний Гейтсхедській міст Тисячоліття (Рис. 16), Великобританія, через річку Тайн, між Гейтсхед і Ньюкаслем. Побудований на честь нового тисячоліття, сталевий міст підйомно-поворотного типу, встановлений на місце вже в зібраному вигляді. Прольот арок - 108 м, загальна довжина - 126 м. Основа моста - дві сталеві арки. Одна з них здіймається над поверхнею води на 50 м; за іншою, розташованою горизонтально, рухаються пішоходи і велосипедисти, а під нею можуть проходити судна невеликої висоти. Коли до мосту наближається високе судно, нездатне пройти під горизонтальною частиною, обидві арки як єдине ціле повертаються на 40° навколо осі, що з'єднує їх кінці: пішохідно-велосипедна палуба моста підіймається, верхня ж арка, навпаки, опускається. Поворот триває не більше 4,5 хвилин, в залежності від швидкості вітру. Коли він завершується, дві арки виявляються в піднятому положенні, в якому верхні точки арок підносяться над поверхнею води на 25 метрів. За цей маневр міст отримав прізвисько «Підморгуюче око».



Рис. 16 - Пішохідно-велосипедний Гейтсхедській міст Тисячоліття, Великобританія

Дерев'яні арки здавна використовували не тільки в мостобудуванні, а й в цивільному будівництві в покриттях будівель. Арки виготовляли з гнутих тонких дощок, використовуючи для з'єднання їх між собою цвяхи і болти. Такі арки в Європі здобули популярність як арки Емі (Рис. 17).

З дощок, поставлених на ребро, стали виготовляти кружальчасті арки, відомі як арки системи Делорма (Рис. 18). Обмежена висота ребер в кружальчастих арках Делорма а, отже, обмежена їх несуча здатність, підвищена гнучкість арок Емі з гнутих дощок через наростання в часі податливості з'єднань, які використовуються при сполучанні дощок, істотно звужили сферу застосування таких арок в будівництві, зокрема, арки Делорма і Емі використовували в якості несучих конструкцій в легких покриттях з прольотами, зазвичай, не більше 18,0 м.

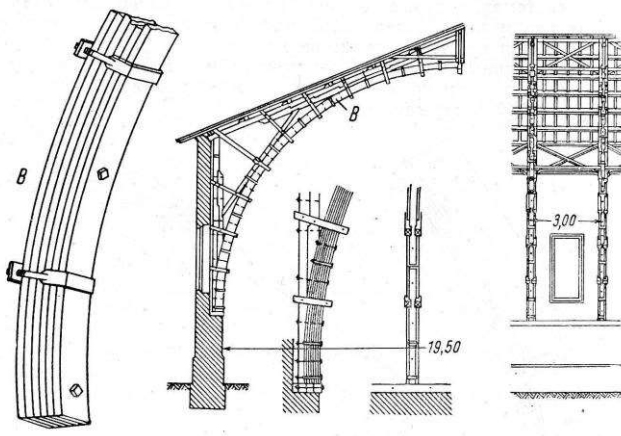


Рис. 17 - Арки Емі з гнутих дощок

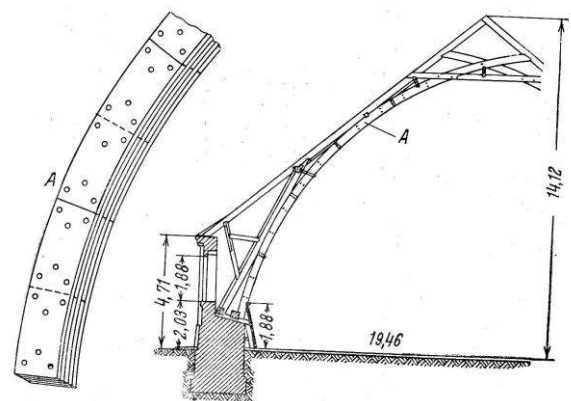


Рис. 18 - Кружальчасті арки системи Делорма в покритті будівлі

Легкість вигину дощок і доступність засобів сплачування їх в зігнутому стані, спонукали конструкторів до створення нових дощатих конструкцій абочного обрису, здатних перекривати великі прольоти без недоліків притаманним аркам Делорма і Емі. Наприклад, часто між точками розкріплення в двогілкових перерізах арок додавали ще й дошки, поставлені на ребро, з'єднуючи їх зі згаданими гілками. Такий конструктивний прийом дозволяв збільшити прольоти арок з гнутих дощок навіть до 30,0 м.

У 1873 році у Відні на міжнародній виставці був зведений павільйон з абочними несучими конструкціями, в кожній з яких поєднувалися арка Делорма з аркою Емі. Арки мали двотавровий поперечний переріз, в якому пояса були виконані з арок Емі, а стінкою служила арка Делорма, що виконує роль шаблону при наборі поясів, а під навантаженням працює на зсувне зусилля.

Це конструктивне рішення виявилось вдалим, а закладена в ньому ідея зробила суттєвий вплив на розвиток дощатоцвяхових суцільностінчатих і гратчастих арок з поясами з гнутих дощок і брусків. Такі конструкції були створені у вигляді двох і трьохшарнірних дощатоцвяхових і гратчастих абочних ферм з поясами з гнутих дощок і гратами з брусків для прольотів до 60,0 м і більше.

З появою водостійких синтетичних клеїв і створенням заводів по виготовленню конструкцій з клеєної деревини конкурентна спроможність арок зросла, і область їх використання так розширилася, що клеєні арки стали однією з найбільш розповсюджених в дерев'яному будівництві конструкцій. Їх стали застосовувати для перекриття прольотів від 8,0 м до 100 і більше метрів, при цьому досвід проектування і застосування показав, що ефективність клеєних арок зростає зі збільшенням прольоту. Найбільш широко клеєні арки використовують в покриттях громадських, сільськогосподарських і ряді промислових будівель, в транспортному будівництві в якості прогонових конструкцій мостів і мостових споруд (Рис. 19-22) [2].

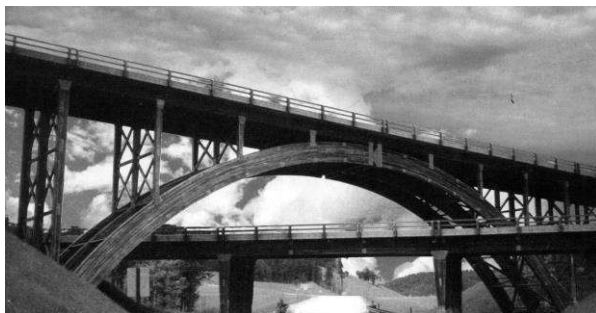


Рис. 19 - Абочний автодорожний міст (Keystone Wye Bridge), штат Південна Дакота, США [63].



Рис. 20 - Клаггенфуртський ярмарок, Австрія (1966 р), прольот 100 метрів



Рис. 21 - Арена Сальцбург, Австрія (максимальний прольот арок 89 м)

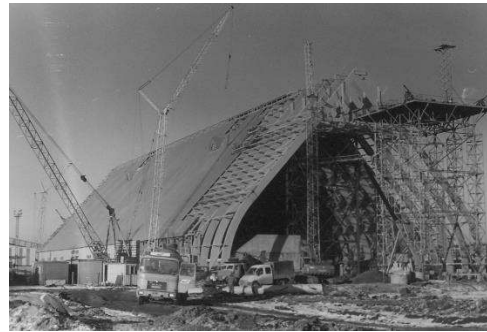


Рис. 22 - Каркас терміналу колійних луг прольотом 63м в м. Санкт-Петербург (Росія).

В останні часи спостерігається значне збільшення використання арок для перекриття будівель і споруд різноманітного призначення. У 2015 році в Абу-Дабі завершено будівництво терміналу аеропорту (Рис. 23), перекритого арками прольотами від 120 до 180 метрів. Всього в терміналі аеропорту буде 18 арок [6].



Рис. 23 - Термінал аеропорту в Абу-Дабі

Арка – це розпірна конструкція. Розпір в арці може сприйматись безпосередньо фундаментами або за допомогою затяжки. В залежності від призначення будівлі та архітектурних вимог арки можуть бути спроектовані різноманітних обрисів. Розрізняють положисті, з співвідношенням висоти підйому до прольоту в межах $1/7 \dots 1/3$ та стрілчасті арки, з співвідношенням висоти підйому до прольоту більше за $1/2$.

Висоту поперечного перерізу арок з клеєної деревини, попередньо, можна приймати в межах $(1/20 - 1/50) L$ (L – величина прольоту). Ширину перерізу балок слід приймати мінімальною, з умов спирання конструкцій покриття з забезпеченням монтажної жорсткості та локального зминання деревини поперек волокон. Рационально підібраним вважається такий переріз арки який

відповідає найменшій площі поперечного перерізу при значенні нормального напруження від стиску зі згином максимально наближеному до розрахункового значення міцності.

За своєю геометричною формою арки з клеєної деревини поділяються на: гнукклеєні (Рис. 24) та трикутні з прямолінійних елементів (Рис. 25) постійного та змінного по довжині поперечного перерізу. За статичною роботою арки з клеєної деревини поділяються на трьохшарнірні, двохшарнірні та безшарнірні. Основним типом поперечного перерізу всіх типів арок є прямокутний, однак за наявності техніко-економічного обґрунтування можливе використання і інших типів перерізів: двотавровий, коробчастий і двотаврово-коробчастий.

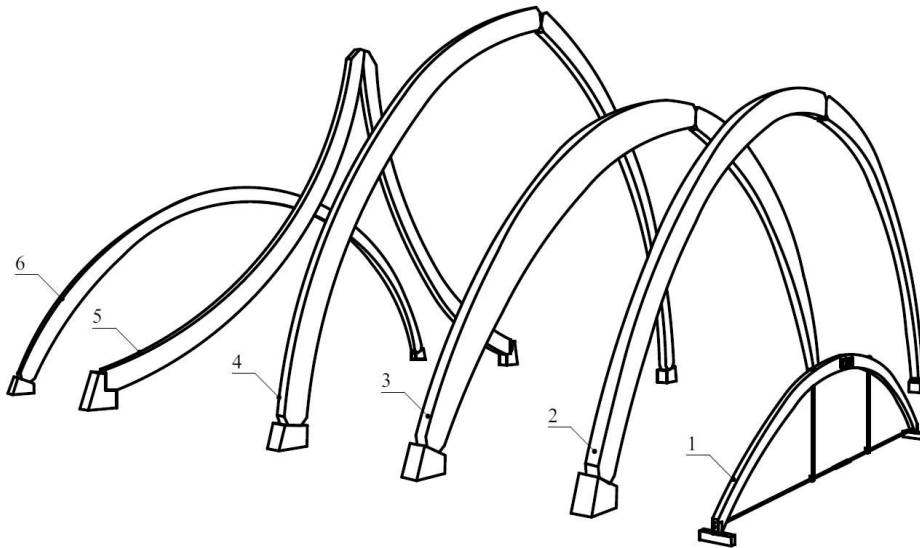


Рис. 24 - Гнукклеєні арки з клеєної деревини

1 – положиста трьохшарнірна арка з клеєної деревини з металевою затяжкою; 2 - положиста трьохшарнірна арка з клеєної деревини постійної висоти поперечного перерізу колового обрису; 3 - положиста трьохшарнірна арка з клеєної деревини змінної висоти поперечного перерізу; 4 - стрілчаста трьохшарнірна арка з клеєної деревини постійної висоти поперечного перерізу; 5 - стрілчаста трьохшарнірна арка з клеєної деревини постійної висоти поперечного перерізу кліновидного обрису; 6 - положиста двохшарнірна арка з клеєної деревини постійної висоти поперечного перерізу колового обрису.

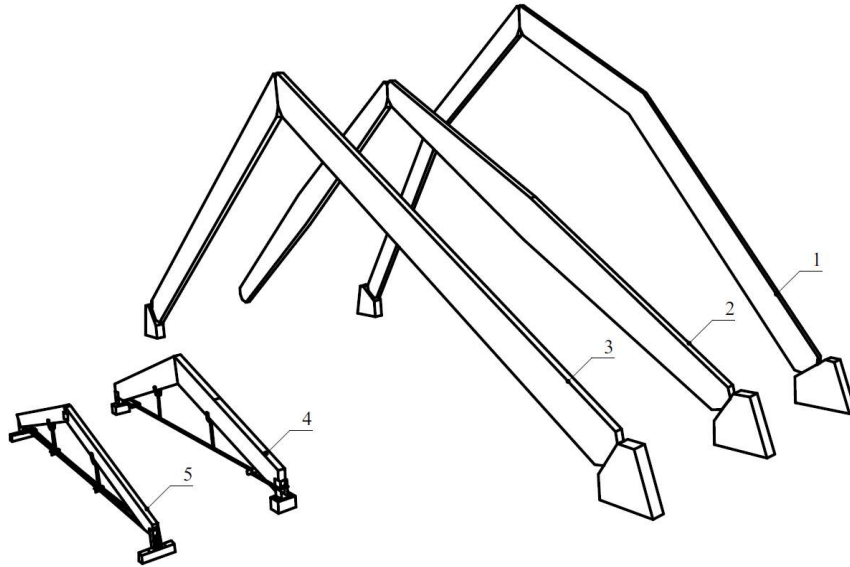


Рис. 25 - Арки з клеєної деревини з прямолінійних елементів

1 – стрілочаста трьохшарнірна арка з клеєної деревини ламаного обрису; 2 - положиста трьохшарнірна арка з клеєної деревини з прямолінійних елементів, змінної висоти поперечного перерізу; 3 - положиста трьохшарнірна арка з клеєної деревини з прямолінійних елементів, постійної висоти поперечного перерізу; 4 - положиста двошарнірна арка з клеєної деревини з прямолінійних елементів, постійної висоти поперечного перерізу з затяжкою; 5 - положиста трьохшарнірна арка з клеєної деревини з прямолінійних елементів, постійної висоти поперечного перерізу з затяжкою.

Арки з клеєної деревини слід розраховувати за граничними станами несучої здатності та експлуатаційної придатності. Розрахунок арок з клеєної деревини ведеться за відомими формулами опору матеріалів для елементів, що працюють на стиск зі згином, з введенням поправочних коефіцієнтів до геометричних характеристик і розрахункових значень міцності деревини на стиск та згин.

Перевірку міцності елементів що працюють на стиск зі згином, а саме цей вид роботи притаманний аркам, за ДБН В.2.6-161:2017 слід виконувати за методикою наведеною нижче. У випадку коли згин відбувається тільки відносно однієї осі елемента (відносно осі z):

при $\lambda_{rel} \leq 0.3$ повинна виконуватись умова:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1; \quad (1)$$

при $\lambda_{rel} > 0.3$ повинна виконуватись умова:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (2)$$

Відносна гнучкість стійки $\lambda_{rel,z}$ відносно осі z :

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3)$$

де $f_{c,0,k}$ – характеристичне значення міцності деревини при стиску вздовж волокон у відповідності з табл. Д 36 (додаток 19); λ_z – гнучкість стійки відносно осі z (в напрямку меншої сторони); $E_{0,05}$ – 5%-й квантіль модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за табл. Д 36 або визначається за формулою $E_{0,05} = 0,67 E_{0,mean}$, в розрахунках умовно можна прийняти $E_{0,mean} = E$;

Нормальні напруження від стискаючої сили, визначаються за формулою:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_d}, \quad (4)$$

де $N_{c,0,d}$ – розрахункова стискаюча сила, A_d – розрахункова площа поперечного перерізу.

Нормальні напруження від згину відносно осі z , визначаються за формулою:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_d}, \quad (5)$$

де M_d – розрахунковий згинальний момент відносно осі z , W_d – розрахунковий момент опору поперечного перерізу відносно осі z .

Коефіцієнт повздовжнього згину $k_{c,z}$ відносно осі:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6)$$

Розрахунковий опір деревини при згині слід визначати за формулою:

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} k_h, \quad (7)$$

в якій k_{mod} – коефіцієнт модифікації міцності визначається для класу експлуатації та тривалості дії навантаження; $f_{m,k}$ – характеристичне значення міцності деревини при згині; γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом; k_h – коефіцієнт який застосовується при розрахунку клеєної деревини прямокутного перерізу на стиск зі згином при висоті поперечного перерізу менше 600 мм.

Для висоти поперечного перерізу елемента з клеєної деревини менше ніж 600 мм характеристичні значення $f_{m,k}$ можна збільшувати на коефіцієнт

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1}, 1,1 \right\}, \quad (8)$$

Окрему увагу слід приділяти розрахунку опорних вузлів та приопорних зон арок, де з'являються небезпечні зони концентрації напружень поперек волокон та сколюючих [7].

Висновки. Підбиваючи підсумки можна сміливо сказати, що арка це вдалий приклад поєднання естетичного і практичного використання матеріалу в будівельних конструкціях. Завдяки арочним формам можна формувати виразну і неповторну архітектуру, та найбільш раціонально використовувати матеріал. Саме тому, будь які дослідження присвячені удосконаленню арочних конструкцій, як за формою так і за методикою розрахунку, є дуже важливими.

Список джерел

1. Арочные и рамные конструкции из цельной и клееной древесины. / П. А. Дмитриев, В. И. Жаданов – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет», 2014 – С. 6 – 21.
2. Арочные конструкции, востребованные временем, в строительной науке и архитектуре / А. С. Юносов – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»: Инженерный весник Дона 2006
3. Офіційний сайт Пон-дю-Гар [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.pontdugard.fr/fr?langue=GB/> (дата звернення: 05.12.20)
4. Кауфман С. А., Николаев И. С., Цирес А. Г. Всеобщая история архитектуры. Том 2. Книга 2. Архитектура древнего Рима. — М.: Издательство академии архитектуры СССР, 1948. — 438 с.
5. Марк Витрувий Поллион, 10 книг об архитектуре – Архитектура-С. Москва. 2006 – 327 с.
6. Карен П. Мост Тысячелетия в г. Гейтсхед (Великобритания) // Мостостроение мира. — М., 2006. — № 1—2. — С. 44—49.
7. ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення» [чинний від 01. 02. 2017] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 123 с.
8. Архитектура і монументальне мистецтво: Терміни та поняття./ Тимофієнко В. І. - Академія мистецтв України; Інститут проблем сучасного мистецтва. — К.: Видавництво Інституту проблем сучасного мистецтва, 2002. — 472 с.

9. Архитектурное конструирование / В. А. Пономарёв. — М.: Архитектура-С, 2008. — 736 с.
10. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции / Лебедева Н. В. — М.: Архитектура-С, 2006. — 120 с.
11. Атлас деревянных конструкций: Пер. с нем. Александровой Н.И. / Гётц К.-Г., Хоор Д., Мёлер К., Наттерер Ю. - М.: Стройиздат, 1985. — 272с., ил.
12. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по спец. «Промышленное и гражданское строительство»./ Зубарев Г. Н.- 2-е изд. перераб. и доп..-М.: Высшая школа, 1990,-287 с.
13. Конструкции из дерева и пластмасс: Общий курс: Учебник./ Прокофьев А. С.- М.: Стройиздат, 1996.-218 с.
14. Українська радянська енциклопедія : у 12 т. / гол. ред. М. П. Бажан ; редкол.: О. К. Антонов та ін. — 2-ге вид. — К. : Головна редакція УРЕ, 1974—1985.
15. Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмассы): Справочник / Ю. А. Дыховичный, Э. З. Жуковский, В. В. Ермолов и др. — М.: Стройиздат, 1991. — 543 с.

References

1. Dmitriev P. A., V. I. Zhadanov V. I. (2014). Arched and frame structures made of solid and glued wood. Arochnyye i ramnyye konstruksii iz tsel'noy i kleyeny drevesiny. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Orenburg State University", 6-12.(in Russian)
2. Yunosov A. S. (2006). Arched structures demanded by time in construction science and architecture. Arochnyye konstruksii, vstrebovannyye vremenem, v stroitel'noy nauke i arkhitekture. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Southern Federal University": Engineering Vesennik Don, 11-25. (in Russian)
3. Official site of Pont-du-Gar [Electronic resource]Ofitsiynyy sayt Pon-dyu-Har - Access mode: <https://www.pontdugard.fr/fr?langue=GB/> (access date: 05.12.20)(in France)
4. Kaufman S. A., Nikolaev I. S., Tsires A. G. (1948). Ancient Rome architecture. General history of architecture. Arkhitektura Starodavn'oho Rymu. Zahal'na istoriya arkhitektury. (2), 438. (in Russian)
5. Mark Vitruvius Pollio (2006). 10 books on architecture. 10 knyh z arkhitektury. 327. (in Russian)
6. Karen P. A. (2006) Millennium Bridge in Gateshead (UK). Mist Tysyacholittya v Heyt-skhedii (Velykobrytaniya). Bridge building of the world. 1-2, 44-49. (in Russian)

7. DBN B.2.6-161(2017) "Wooden structures. Basic provisions "[effective from 01. 02. 2017]. "Derev"yani konstruktsiyi. Osnovni polozhennya "[nabyraye chynnosti z 01.02.2017].Ministry of Regional Development, Construction and Housing of Ukraine, 2017. - 123 p. (in Ukrainian)
8. Timofienko V.I.(2002) Architecture and monumental art: Terms and concepts. Arkhitektura i monumental'ne mystetstvo: Terminy ta ponyattya. Academy of Arts of Ukraine; Institute of Contemporary Art. - Kyiv: Publishing House of the Institute of Contemporary Art, 2002. - 472 p. (in Ukrainian)
9. Ponomarev V. A.(2008) Architectural design. Arkhitekturnoye konstruirovaniye Architecture-S, 736 p. (in Russian)
10. Lebedeva N.V.(2006) Trusses, arches, thin-walled spatial structures. Fermy, arki, tonkostennyye prostranstvennyye konstruktsii. Architecture-S. 120 p. (in Russian)
11. Goetz K.-G., Hoor D., Möhler K., Natterer Yu.(1085) Atlas of timber structures. Atlas derevyannykh konstruktsiy. Stroyizdat, 272s. (in Russian)
12. Zubarev G.N.(1990) Structures made of wood and plastics: Textbook. manual for university students, training. by special "Industrial and Civil Engineering". Konstruktsii iz dereva i plastmass: Ucheb. posobiye dlya studentov vuzov, obuch. po spets. «Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo». Higher school, 287 p. (in Russian)
13. Prokofiev A.S.(1996) Structures made of wood and plastics: General course: Textbook. Konstruktsii iz dereva i plastmass: Obshchiy kurs: Uchebnik. Stroyizdat. 218 p. (in Russian)
14. Antonov O. K.(1974-1985) Ukrainian Soviet Encyclopedia. Ukrayins'ka radyans'ka entsyklopediya. Main edition of URE. 223p. (in Ukrainian)
15. Dykhovichny U. A.(1991) Modern spatial structures (reinforced concrete, metal, wood, plastics): Handbook. Sovremennyye prostranstvennyye konstruktsii (zhelezobeton, metall, derevo, plastmassy): Spravochnik. Stroyizdat. 543 p. (in Russian)

Аннотация

Михайловский Денис Витальевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры деревянных и металлических конструкций, Киевский национальный университет строительства и архитектуры.

СклярOVA Татьяна Сергеевна, ассистент кафедры деревянных и металлических конструкций, Киевский национальный университет строительства и архитектуры.

Бондарчук Богдан Русланович, студент архитектурного факультета, Киевский национальный университет строительства и архитектуры.

Арки с клееной древесины. История развития.

Строительные конструкции из цельной и клееной древесины давно получили широкое применение во многих странах мира, они существуют уже в течении нескольких веков. Их появление обусловлено тем, что имеющейся материал дерево натурального происхождения зачастую не мог быть получен нужного сечения и качества. Наиболее простым решением данной проблемы оказалось склеивание деревянных фрагментов в один цельный монолитный элемент. С появлением эффективных технологий появились всевозможные производства большого количества разнообразных деревянных конструкций, что открыло намного больше возможностей для проектирования с клееной древесиной, а ее способность гнуться и принимать нужную форму, поспособствовало их применению в изготовлении арочных конструкций.

Арка - является одной из самых интересных и эффективных конструкций, формы в виде арки являются весьма часто встречающимися в природе, что говорит об бионическом подходе к проектированию, которая своей формой несет как эстетическое, так и практическое значение. Арки применялись человечеством с давних времен, а если быть точным, то впервые они появились во II тысячелетии до н.э в архитектуре Древнего Востока, Древнего Египта, Древней Месопотамии, древней и эллинической Сирии, и продолжают применяться до сих пор, что говорит об их вечной актуальности и необходимости дальнейшего совершенствования и развития данной конструктивной формы.

В работе рассмотрен процесс становления и развития арочных конструкций, вообще и в частности из древесины. Данная работа сможет помочь более точно понять процессы, которые повлияли, влияют и будут влиять на расчет и проектирование арочных конструкций, что в свою очередь поможет сформулировать более грамотный подход к проектированию и модифицированию данной конструктивной формы. Также в которой раз раскроются плюсы проектирования из клееной древесины, ее наилучшее применение в строительстве и архитектуре, а также плюсы применения арочных конструкций.

Ключевые слова: Арки; арочные конструкции; клееная древесина; древесина; конструктивная форма; строительные конструкции; расчет; проектирование; история; происхождение; развитие; применение; использование.

Annotation

Denis Mikhailovsky, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Wooden and Metal Structures, Kiev National University of Construction and Architecture.

Tatiana Skliarova, Assistant of the Department of Wooden and Metal Structures, Kiev National University of Construction and Architecture.

Bogdan Bondarchuk, student of the Faculty of Architecture, Kiev National University of Construction and Architecture.

Arches with glued wood. The history of development.

Building structures made of solid and glued timber have long been widely used in many countries of the world, they have existed for several centuries. Their appearance is due to the fact that the available material, wood of natural origin, often could not be obtained with the desired section and quality. The simplest solution to this problem was the flaking of wooden fragments into one solid monolithic element. With the advent of effective technologies, all kinds of production of a large number of various wooden structures appeared, which opened up much more opportunities for designing with glued timber, and its ability to bend and fit into the desired shape, contributed to their use in the manufacture of arched structures.

The arch is one of the most interesting and effective designs, the shape of an arch is very common in nature, which speaks of a bionic approach to design, which, by its form, bears both aesthetic and practical significance. Arches have been used by mankind since ancient times, and to be precise, they first appeared in the II millennium BC in the architecture of the Ancient East, Ancient Egypt, Ancient Mesopotamia, ancient and Hellenic Syria, and continue to be used to this day, which speaks of their eternal relevance and the need for further improvement and development of this constructive form.

The paper considers the process of formation and development of arched structures, in general, and in particular from wood. This work will be able to help to more accurately understand the processes that have influenced, influence and will influence the calculation and design of arched structures, which in turn will help formulate a more competent approach to the design and modification of this structural form. Also, the advantages of glued timber design, its best application in construction and architecture, as well as the advantages of using arched structures will be revealed again.

Key words: Arches; arched structures; glued timber; timber; structural form; building structures; calculation; design; history; origin; development; application; use.