

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

DOI: 10.32347/2786-7269.2022.1.43-55

УДК 69.07

к.т.н., доцент Гетун Г.В.,

galinagetun@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3317-3456,

к.т.н., доцент Безклубенко І.С.,

i.bezklubenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9149-4178,

к.т.н., доцент Баліна О.І.,

elena.i.balina@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6925-0794,

Київський національний університет будівництва і архітектури,

к.ф.-м.н., доцент Буценко Ю.П.,

armchairdoc@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4806-9587

НТТУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського

**ПРИНЦИПИ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ
СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ АРОК**

Поштовхом до пошуків нових форм будівель і споруд та розвитку нового розуміння простору стала поява нових типів конструкцій та пов'язаних з ними технологій будівництва. Техніко-економічні розрахунки показують, що площі покриттів у будівлях з зальними приміщеннями великих розмірів, як правило, перевищують сумарні площі інших огороджувальних конструкцій, а тому вартість покриттів з урахуванням монтувальних робіт займає в кошторисах на будівництво переважające значення. Просторові форми покриттів зальних приміщень суттєво впливають на архітектурну виразність будівель, а тому питання вибору форм, матеріалів та раціональних конструктивних рішень покриттів є надзвичайно актуальними.

Найважливішими складовими систем покриттів будівель і споруд є несучі конструкції, які мають необмежені можливості інтерпретації форм і матеріалів, можуть бути прихованими або відкритими та перетворюватися в елементи архітектури. Очевидно, що в процесі проектування покриттів будівель і споруд необхідно розглядати і аналізувати різні варіанти їх конструктивних рішень.

У статті проаналізовано види арок, наведена їх класифікація, умови використання в якості несучих конструкцій покриттів будівель, а також деякі проблеми їх статичної роботи, які пов'язані з вибором форми та умовами їх спирання і членування на конструктивні елементи. Авторами розглянуті проблеми розрахунків та конструювання арок, вибору раціональних форм арок, які забезпечують запобігання втрати їх стійкості з площини згинання та

високий естетичний рівень. Наведені основні принципи і методи конструювання та статичного розрахунку арок.

Ключові слова: площинні конструкції; арка; статична схема; конструктивні рішення; надійність; аркові ферми.

На стадії проєктування будівель і споруд із складними конструктивними рішеннями, для оцінки їх надійності, найважливішим є етап формування розрахункових моделей, який є основою для конструювання їх основних несучих конструкцій. Основним на цьому етапі є адекватність прийнятої розрахункової моделі дійсній роботі основних несучих конструкцій.

Однією з головних особливостей арочних конструкцій покриття, яка впливає на рішення фасадів об'єктів будівництва, є відсутність традиційного розділення будівель на стіни і покриття. Тому важливою умовою оцінки надійності роботи будівель з арочними покриттями є забезпечення сумісної роботи їх наземних частин з фундаментами і ґрунтовими основами, що особливо важливо в випадках використання підвищених арок, коли досить суттєвими є вітрові навантаження, які можуть змінювати картини напружених станів і відхилення кривих тисків від осей арок, викликати від'ємні опорні реакції [9] та навіть відривання конструкцій від опор.

Арки – розпірні площинні конструкції криволінійних окреслень, які перекривають прогони будівель між двома опорами (колонами, пілонами, фундаментами). Архітектурне поняття про арки пов'язане з їх криволінійним окресленням (лат. arcus – дуга). Але з інженерної точки зору визначальними ознаками арок є не кривизна їх окреслень, а наявність розпорів, які викликані незміщенням опор. Характерною особливістю арок є їх робота переважно на стискання і у меншій мірі на згинання, що обумовило їх використання для перекриття приміщень кам'яних будівель великих розмірів у давні часи [7]. Крім архітектурної виразності арки мають переваги перед балковими і рамними конструкціями завдяки значно меншим моментам на згинання.

Основними розмірами арки є прогін (l), стріла підйому (f) і висота перерізу (h). В залежності від співвідношення стріли підйому до прогону, арки поділяють (рис. 1) на пологі ($f/l < 1/4 \dots 1/110$) та високі або підвищені ($f/l > 1/4 \dots 1$) [1, 2].

Найбільш вигідним окресленням арок є максимально наближені до їх кривих тисків від основних сполучень навантажень. Під впливом рівномірно розподілених навантажень оптимальними є квадратні параболи [8,10], які часто замінюють дугами кіл, що в пологих арках не призводять до суттєвих змін зусиль, хоча спрощують технології виготовлення. Для високих арок доцільними є форми, окреслені по ланцюгових лініях (катеноїдах). Звичними окресленнями арок є параболічне, колове, трикутне, стрілоподібне (рис.1). Зрідка

використовують арки еліпсоподібні, трицентрові, полігональні та «повзучі», якщо опори розташовані на різних рівнях.

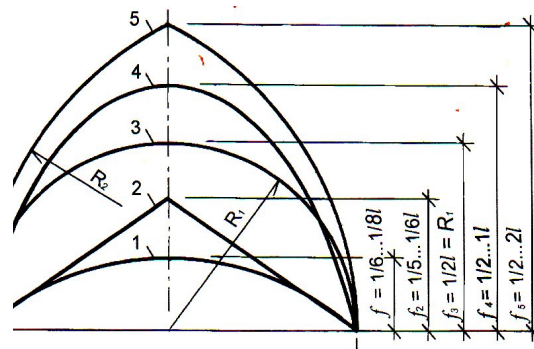


Рис. 1. Окреслення осей арок і залежність стріли підйому від прогону:
 1 – полога (кругова, параболічна); 2 – прямолінійна (трикутна);
 3 – півкругла (півциркульна); 4 – підвищена (параболічна); 5 – стрілоподібна

Статична робота арок та їх тектоніка безпосередньо зв'язані з наявністю або відсутністю опорних і ключових шарнірів. Тому за статичними схемами роботи арки поділяють на: **тришарнірні**, **двошарнірні** і **безшарнірні** (рис. 2) і табл. 1 [1, 3].

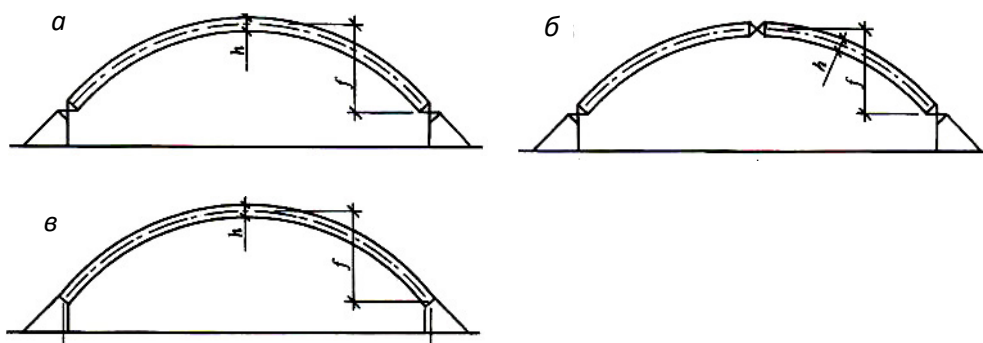


Рис. 2. Статичні схеми арок:
 а – двошарнірна; б – тришарнірна;
 в – безшарнірна.

Тришарнірні арки статично визначені, нечутливі до нерівномірних осадок опор і коливань температури. Наявність ключового шарніра ускладнює та здорожчує конструкцію, але такі арки зручні при монтуванні та перевезенні у вигляді парних піварок. Проте через нерівномірний розподіл згинальних моментів за довжиною тришарнірні арки найбільш матеріалоемні.

Двошарнірні арки один раз статично невизначені. Горизонтальний розпір на опорах трохи менший, ніж у тришарнірних. Це пояснюється тим, що зміщенню опор під впливом навантаження чинить опір розгинанню сама арка.

При вертикальних осадках опор і температурних впливах додаткові напруження в двошарнірних арках розвиваються слабо завдяки їх вільному деформуванню, яке забезпечує наявність опорних шарнірів. В таких арках більш сприятливо розподіляється згинальний момент за довжиною, а тому вони більш економічні за витратами матеріалу й отримали найширше застосування в будівництві.

Безшарнірні арки тричі статично невизначені. З точки зору статичної роботи вони більш досконалі, ніж шарнірні. Повне затиснення опор арок у фундаментах сприяє більш рівномірному розподілу моментів за довжиною, завдяки чому можна конструювати більш легкі конструкції. Але наявність опорних моментів вимагає забезпечення надійного затиснення кінців арок. Тому вони чутливі до нерівномірних осадок опор і температурних впливів. Безшарнірні арки потребують надійних ґрунтових основ і потужних фундаментів, що не завжди раціонально за технічними і економічними причинами [1, 3].

Таблиця 1

Залежність тектонічних форм арок від статичних схем

		Тришарнірні	Двошарнірні	Безшарнірні
Статичні Схеми				
Епюри згинальних моментів				
Перевернуті епюри та їх лінії огинання				
Тектонічні Форми				
Конструктивні форми	Суцільного профілю			
	Наскрізні			

Арки є розпірними конструкціями. Величини розпорів, у залежності від величин навантажень, розмірів прогонів і стріл підйому, можуть змінюватися в

значних межах. Величини розпорів пологих арок значно більші, ніж у підвищених (рис. 3).

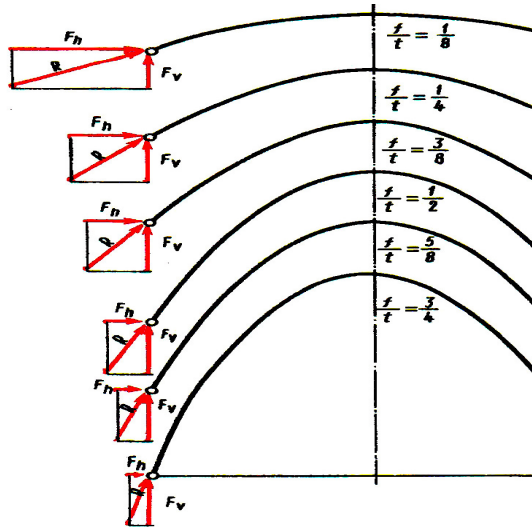


Рис. 3. Залежність розпорів від конфігурацій арок. Із збільшенням стріли підйому арки f розпір F_h зменшується, а вертикальна складова опорної реакції F_v залишається незмінною

Арки, які є розпірними площинними конструкціями проектують для покриттів будівель з великими прогонами. Вони починають успішно конкурувати з фермами (площинними безрозпірними конструкціями) при прогонах понад 30 м. Розпори арок сприймають безпосередньо фундаменти, затяжки або жорсткі опорні конструкції. Пологі арки найчастіше проектують із затяжками і передачею на вертикальні опори (стіни, колони) лише вертикальних складових опорних реакцій (рис. 4, б). Підвищені арки найчастіше встановлюють на ґрунтові основи з передачею розпору на фундаменти, які розраховують повні опорні реакції (рис. 4, а).

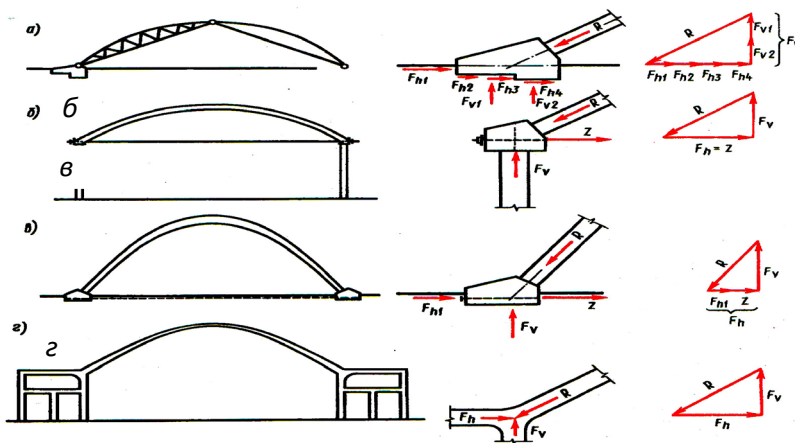


Рис. 4. Варіанти сприйняття розпору в арках: а – фундаментами і ґрунтовими основами; б – затяжкою в рівні опорних вузлів; в – затяжкою в рівні підлоги і фундаментами; г – конструкціями прибудованих рам

За наявності слабких ґрунтових основ і небезпеки зсування фундаментів в площинах підлог або під підлогою встановлюють затяжки, які повністю або частково сприймають розпори (рис. 4, в, 5, з).

Розпір можна також передавати на спеціальні пілони або контрфорси (рис.5, б), конструкції трибун в спортивних спорудах (рис.5, б) або безпосередньо на високі фундаменти, які розраховують на повну опорну реакцію. Варіанти вузлів спирання арок і способи гасіння розпорів наведені на рис. 4 і 5 [1, 2, 3].

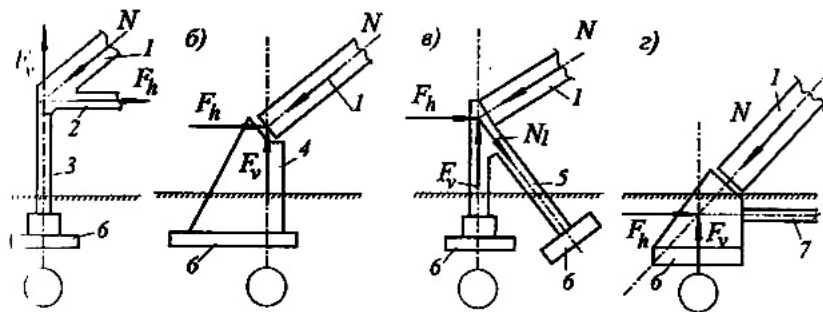


Рис.5. Варіанти спирання арок і способи гасіння розпорів: а – затяжкою; б – контрфорсом; в – рамою; з – фундаментом; 2 – затяжка; 3 – колона; 4 – пілон; 5 – рама; 6 – фундамент; 7 – підпільна затяжка

Пологі арки можна порівнювати з фермами сегментного окреслення без внутрішніх ґрат. Якщо окреслення верхніх поясів ферм сумістити з кривими тиску, тоді зусилля в ґратах ферм можуть не виникати, нижні пояси стануть затяжками, а зусилля в них розпорами. Якщо видалити і затяжки, а розпір передати масивним конструкціям нижче розташованих будов або фундаментам, тоді від ферм залишаться лише верхні пояси. Але з втратою ґрат робота верхніх поясів ферм, які перетворюються в арки, ускладнюється: розрахункові довжини арок l_{ef} для оцінки стійкості дорівнюють приблизно половині довжин їх дуг, тоді як у ферм вони дорівнюють лише довжинам панелей верхніх поясів; односторонні навантаження від вітру і снігу викликають в арках згинальні моменти, а у ферм за вузлових прикладаннях навантажень всі елементи працюють на осеві зусилля стискання або розтягування [11,12]. Тому верхні пояси арок мають більші перерізи, ніж у ферм, а вибір між фермою або полоγοю аркою у кожному конкретному випадку вирішується з урахуванням архітектурних і техніко-економічних міркувань.

Арки, окреслення яких співпадають з кривими тисків, працюють лише на стискання. У випадках розходження таких ліній в арках виникають згинальні моменти, які тим більші, чим помітніше віддалені осі арок від кривих тиску, що наочно ілюструють розподіли згинальних моментів в арках (рис. 6).

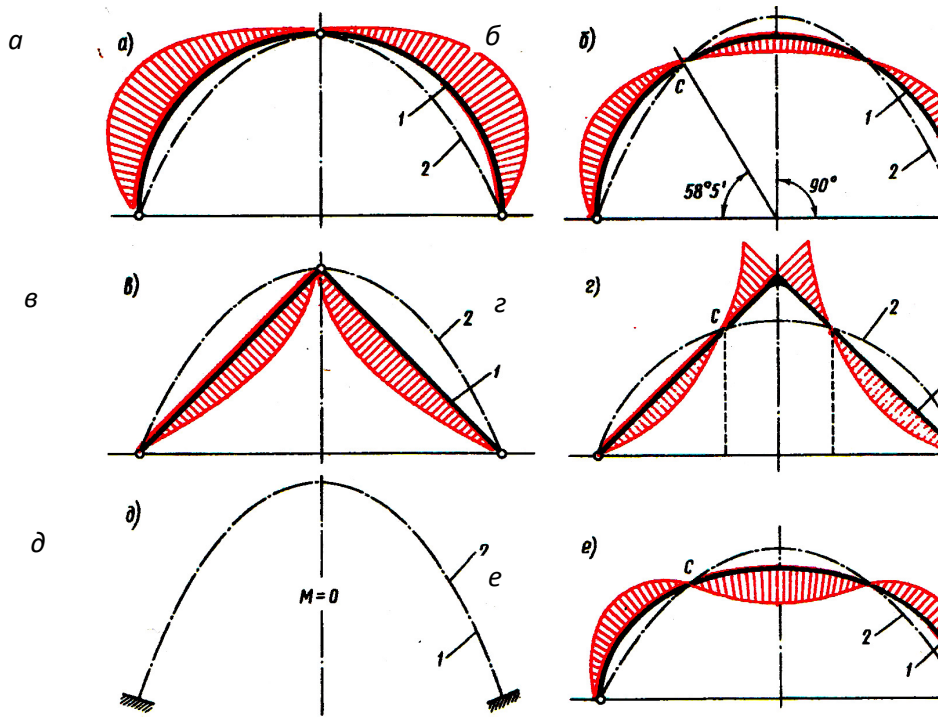


Рис. 6. Епюри згинальних моментів в арках:

а – кругова тришарнірна; *б* – кругова двошарнірна; *в* – трикутна тришарнірна; *г* – трикутна двошарнірна; *д* – параболічна всіх типів; *е* – еліптична двошарнірна;

Оскільки криві тиску в арках є ланцюговими багатокутниками (гранично – ланцюгові криві) вони можуть моделюватися ланцюгами. Якщо взяти ланцюги, довжини яких дорівнюють довжинам дуг арок та їх завантажити, можна отримати моделі кривих тисків (рис.7). Окреслення осей арок вибирають у залежності від переважання того або іншого виду вантажу [2].

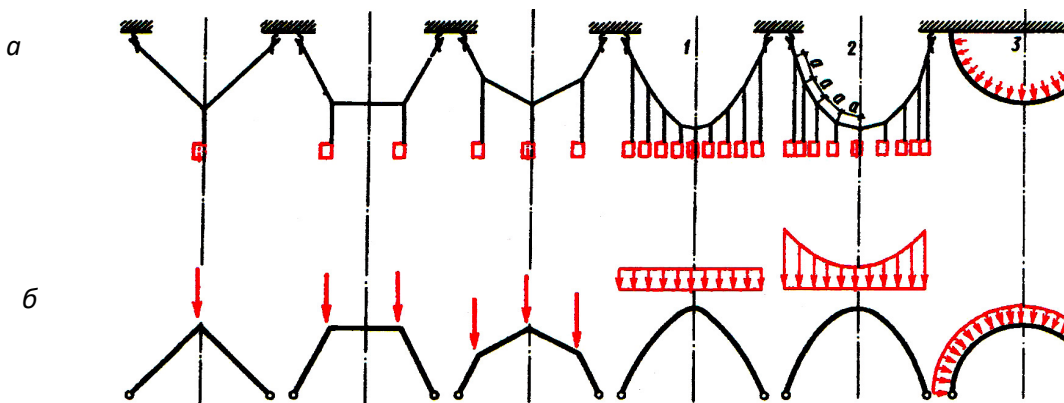


Рис. 7. Вибір раціональних форм арок в залежності від видів завантажень: *а* – гнучкі ланцюги; *б* – перевернуті моделі кривих тисків; *1* – параболою; *2* – ланцюгова лінія; *3* – коло

Пологі арки найчастіше проєктують круговими. Відхилення кола від параболи або ланцюгової лінії тим менше, чим більш полого арка.

Статичний розрахунок арок починається з визначення опорних реакцій M_{on} , F_v , F_h . Зазвичай для цього користуються готовими формулами, які є в багатьох довідниках. Подальший розрахунок полягає у визначенні згинальних моментів M_x поздовжніх N_x і поперечних Q_x сил за довжиною арки за наступними формулами для розглядання перерізів арки з координатами x, y (рис.8):

$$M_x = M_{on} + M_c^{\bar{o}} - F_h \cdot y, \quad (1)$$

Де M_{onc} – опорний момент; F_h – розпір арки, який визначається за формулою

$$F_h = k \cdot M_c^{\bar{o}} - F_h / f, \quad (2)$$

де $M_c^{\bar{o}}$ – момент простої балки в середині прогону; f – стріла підйому арки; k – коефіцієнт, який враховує геометричні та фізичні властивості арок [2].

$$N_x = -Q_x^{\bar{o}} \sin \alpha - F_h \cos \alpha, \quad (3)$$

де $Q_x^{\bar{o}}$ – поперечна сила простої балки; α – кут між дотичною до осі арки у перерізі, що розглядається, і горизонталлю.

$$Q_x = -Q_x^{\bar{o}} \cos \alpha - F_h \sin \alpha. \quad (4)$$

Формули (1)...(4) дають можливість уявити собі напружений стан арки, повну картину якої дають епюри M , N і Q , побудовані за всією довжиною арки. Тектонічні особливості арок трьох основних типів виявляються при співставленні епюр згинальних моментів під впливом рівномірно розподілених навантажень, які наведені у табл. 1.

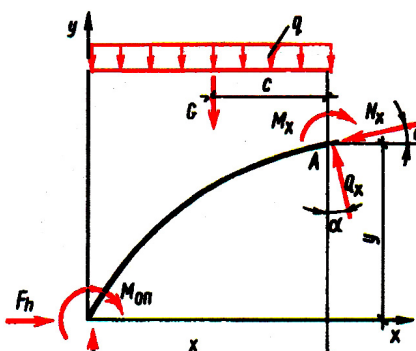


Рис.8. Схеми визначення M , N і Q в точці $A(x, y)$ арки

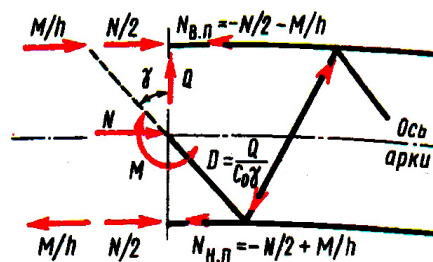


Рис 9. Схеми зусиль в елементах грат, верхньому і нижньому поясах наскрізної арки

Для підвищених арок суттєвими є вітрові навантаження, які можуть змінити картини напружених станів і відхилення кривих тисків від осей арок, викликати від'ємні опорні реакції та навіть відривання конструкцій від опор.

Всі впливи на арки (власна вага, сніг, вітер) знаходять своє виявлення у вигляді відповідних епюр, вектори яких сумують і знаходять найбільш не вигідні поєднання. Для конструктивних розрахунків арок суцільних перерізів достатньо визначення M , N і Q в їх характерних точках (на опорах, в середині та у чвертях прогонів).

Зусилля в поясах і гратах арок наскрізних конструкцій знаходять, виходячи з наступних міркувань. Припускають, що поздовжня сила N розподіляється між верхнім і нижнім поясами у відповідності з їх віддаленням від осі арки, а моменту M протидіє момент внутрішньої пари сил – зусиль у поясах. В арках з паралельними поясами зусилля в них можуть бути виражені формулами (рис. 9):

у верхньому (зовнішньому) поясі

$$N_{en} = -N/2 - M/h, \quad (5)$$

у нижньому (внутрішньому) поясі

$$N_{nn} = -N/2 + M/h. \quad (6)$$

Зусилля в елементах ґрат визначають як проєкцію поперечної сили Q в перерізі, що розглядають, у напрямі кожного елемента:

$$D = +Q/\cos \gamma, \quad (7)$$

де γ – кут між напрямком елементів ґрат і нормаллю до осі арки (напрямоком поперечної сили).

Зусилля в елементах серпоподібних арок з непаралельними поясами і невеликою кількістю панелей зручно визначати графічно, шляхом побудови діаграми Максвелла-Кремони.

Стійкість арки в площині її згинання (за незначних моментах згинання) оцінюють критичною силою

$$N_{er} = \pi^2 E \cdot I / l_{ef}^2, \quad (8)$$

де I – момент інерції перерізу арки у чверті прогону; для ґратчастої (наскрізної) арки $I = (0,35 \dots 0,40) A h^2$; $l_{ef} = \mu \cdot S$ – розрахункова довжина; S – повна довжина дуги арки; μ – коефіцієнт, який залежить від типу арки, її матеріалу і відношення f/l (табл. 2). Величина N_{er} повинна на 20...30% перевищувати поздовжню силу N в арці, яка визначена статичним розрахунком.

Таблиця 2

Коефіцієнти μ розрахункової довжини арок

Тип арки	Металеві за f/l				Залізобетонні	Дерев'яні
	1/20	1/5	1/3	1/2,5		
Тришарнірні	0,6	0,6	0,6	0,65	0,58	0,58
Двошарнірні	0,5	0,55	0,6	0,65	0,54	0,35
Безшарнірні	0,35	0,38	0,4	0,43	0,36	–

Стійкість арки з площини згинання перевіряють якщо розрахункова довжина дорівнює відстані між точками кріплення зв'язків (рис. 4.25).

Наявність розпору, який викликає появу поздовжніх зусиль стискання, що розвиваються в обох поясах арок, примушує приймати конструктивні заходи, які запобігають втраті стійкості арок з площини згинання. Це досягається збільшенням ширини перерізів арок (відносно вертикальної осі O_y) або більш густою розстановкою вертикальних зв'язків.

Однією з головних особливостей арочних форм, яка впливає на рішення фасадів, є відсутність традиційного розділення будівлі на стіни і покриття. Тому конструктивні рішення покрівель таких будівель повинні мати високий естетичний рівень.

За радіального розташування арок утворюється форма, яка є перехідною до купольних просторових систем. Ступінь «просторовості» структури визначається взаємним зв'язком радіальних арок з кільцевими елементами форм, можливістю їх включення в роботу. Тому покриття з радіально розташованими арками можуть розглядатися, в залежності від конструктивно-статичних особливостей, або як площинні, або як просторові конструкції. Крім того, для арок властиве утворення структур на основі контурних і радіальних їх розташувань. Можливість варіювати формами забезпечується конфігураціями арок і прогонів між ними, співвідношеннями висот радіальних і контурних арок. Такі прийоми використовуються для будівель з багатокутними центричними планами.

Очевидно, що в процесі проектування необхідно розглядати і аналізувати варіантні конструктивні рішення системи. Аналізуючи види, класифікацію арок, умови їх використання в проектуванні будівель, а також деякі проблеми в роботі конструкцій, які пов'язані з вибором тих чи інших арок, використаних при їх проектуванні.

Висновки. За результатами проведеного дослідження, базуючись на методиці статистичних розрахунків арок, виявлені найбільш доцільні їх форми і конструктивні рішення для покриттів будівель і споруд, з урахуванням переваг і застережень за багатьма параметрами.

Проаналізовані авторами типи арок, їх розрахункові схеми, умови використання, а також деякі проблеми в роботі конструкцій показують широкі можливості для їх практичного використання в якості покриттів нежитлових будівель із зальними приміщеннями великих розмірів.

Список літератури

1. Гетун Г.В., Куліков П.М., Плоский В.О., Чернишев Д.О. Конструкції будівель і споруд. Книга 2. Нежитлові будівлі: Підручник для вищих навчальних закладів. / Гетун Г.В., Куліков П.М., Плоский В.О., Чернишев Д.О. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Рута». 2022 р. – 900 с.: іл.

2. *Голосов В.Н., Ермолов В.В., Лебедев Н.В.* и др. Инженерные конструкции: Учебник для вузов / Голосов В.Н., Ермолов В.В., Лебедев Н.В. и др. под общ. ред. Ермолова В.В. – М.: Высшая школа, 1991. – 408 с.: ил.
3. *Куліков П.М., Плоский В.О., Гетун Г.В.* Архітектура будівель та споруд. Книга 5. Промислові будівлі: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П.М., Плоский В.О., Гетун Г.В. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Рута». 2020 р. – 820 с.: іл.
4. *Куліков П.М., Плоский В.О., Гетун Г.В.* Конструкції будівель і споруд. Книга 1: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П.М., Плоский В.О., Гетун Г.В. – К.: Видавництво «Ліра-К». 2021 р. – 820 с.: іл.
5. *Мардер А.П.* Металл в архитектуре / А.П. Мардер. – М.: Стройиздат, 1980. – 232 с
6. *Плоский В.О., Гетун Г.В.* Архітектура будівель та споруд. Книга 2. Житлові будинки: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання третє, перероблене і доповнене / Плоский В.О., Гетун Г.В. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Рута». 2017 р. – 736 с.: іл.
7. *Плоский В.О., Гетун Г.В., Віроцький В.Д.* Архітектура будівель та споруд. Книга 3. Історія архітектури і будівництва: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання друге, перероблене і доповнене / Плоский В.О., Гетун Г.В., Віроцький В.Д. – К: Видавництво «Ліра-К», 2016 р. – 816 с.: іл.
8. *Гетун Г.В.* Дифузійні процеси з накопичувальними характеристиками при експлуатації будівель / Гетун Г.В., Буценко Ю.П., Баліна О.І., Безклубенко І.С., Соломін А.В. // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2019. №102. – С. 243-252.
9. *Безклубенко І. С.* Методи ранжування критеріїв в задачі оптимізації потокорозподілу інженерної мережі. Управління розвитком складних систем. 2018. № 34. С. 111-114.
10. *Безклубенко І.С., Лесько В.І.* Принципи системного підходу – як основа розробки САПР інженерних мереж. – Збірник «Містобудування і територіальне планування». – Випуск 62, ч.1, 2016р. – с.56-58
11. *G.V. Getun, O.I. Balina, Y.P. Butsenko, V.A. Labzhynsky, I.S. Bezklubenko, A.V. Solomin* Situation forecasting and decision-making optimization based on using markov finite chains for areas with industrial polutions// Опір матеріалів та теорія споруд: Наук.-техн. збірник. - К.: КНУБА, 2020. – Вип. 104. - С.164 -175
12. *Гетун Г., Лесько В.І., Баліна О., Безклубенко І., Буценко Ю.* Використання стохастичних моделей для забезпечення параметричної надійності будівельних машин // Опір матеріалів та теорія споруд: Наук.-техн. збірник. - К.: КНУБА, 2021. – Вип. 106. - С.262 -273.
13. *V.A. Bazhenov, V.V. Gaidaichuk, A.P. Koshevoi* Stability of multiply connected ribbed shells and plates in a magnetic field. – Journal of Soviet Mathematics. Vol.66/ Issue. 6, 1993, p. 2631-2636.

Ph.D., associate professor **Getun Galina**,
Ph.D., associate professor **Bezklubenko Iryna**,
Ph.D., associate professor **Balina Olena**,
Kyiv National University of Construction and Architecture,
Ph.D., associate professor **Butsenko Yuriy**,
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

CONSTRUCTION PRINCIPLES AND FEATURES STATIC CALCULATION OF ARCHES

The emergence of new types of structures and construction technologies related to them became the impetus for the search for new forms of buildings and structures

and the development of a new understanding of space. Technical and economic calculations show that the area of coverings in buildings with large hall rooms, as a rule, exceeds the total area of other enclosing structures, and therefore the cost of coverings, taking into account installation work, is of predominant importance in construction estimates. Spatial forms of coverings of hall rooms significantly affect the architectural expressiveness of buildings, and therefore the issue of choosing forms, materials and rational constructive solutions of coverings is extremely relevant.

The most important components of the covering systems of buildings and structures are supporting structures, which have unlimited possibilities of interpretation of forms and materials, can be hidden or open and turn into architectural elements. It is obvious that in the process of designing the coverings of buildings and structures, it is necessary to consider and analyze various options for their constructive solutions.

The article analyzes the types of arches, their classification, the conditions of use as load-bearing structures of building coatings, as well as some problems of their static operation, which are related to the choice of form and conditions of their support and division into structural elements. The authors considered the problems of calculating and designing arches, choosing rational forms of arches that ensure the prevention of loss of their stability from the bending plane and a high aesthetic level. The main principles and methods of construction and static calculation of arches are presented.

Key words: metal structures; steel; vault; constructive rationalism; metal farms; dome structures; arched farms; asymmetrical surfaces.

REFERENCES

1. Getun G.V., Kulikov P.M., Plosky V.O., Chernyshev D.O. Arkhitektura budivel' ta sporud. Kniga 2. Pidruchnik dlya vishchikh navchal'nikh zakladiv / Getun G. V., Kulikov P. M., Plosky V. O., Chernyshev D. O. – Kam'yanets'-Podil's'kiy: Vidavnitstvo «Ruta». 2022 r. – 900 s.: il. {in Ukrainian}
2. Golosov V.N., Yermolov V.V., Lebedev N.V. i dr. Inzhenernyye konstruktсии: Uchebnik dlya vuzov / Golosov V.N., Yermolov V.V., Lebedev N.V. i dr. pod obshch. red. Yermolova V.V. – M.: Vysshaya shkola, 1991. – 408 s.: il. {in Russian}
3. Kulikov P.M., Ploskiy V.O., Getun G.V. Arkhitektura budivel' ta sporud. Kniga 5. Promislovi budivli: Pidruchnik dlya vishchikh navchal'nikh zakladiv / Kulikov P.M., Ploskiy V.O., Getun G.V. – Kam'yanets'-Podil's'kiy: Vidavnitstvo «Ruta». 2020 r. – 820 s.: il. {in Ukrainian}
4. Kulikov P.M., Ploskiy V.O., Getun G.V. Konstruktsii budivel' i sporud. Kniga 1: Pidruchnik dlya vishchikh navchal'nikh zakladiv / Kulikov P.M., Ploskiy V.O., Getun G.V. – K.: Vidavnitstvo «Lira-K». 2021 r. – 820 s.: il. {in Ukrainian}
5. Marder A.P. Metall v arkhitekture / A. P. Marder. – M.: Stroyizdat, 1980. – 232 s. {in Russian}

6. Ploskiy V.O., Getun G.V. Arkhitektura budivel' ta sporud. Kniga 2. Zhitlovi budinki: Pidruchnik dlya vishchikh navchal'nikh zakladiv. – Vidannya tretê, pereroblene i dopovnene / Ploskiy V.O., Getun G.V. – Kam'yanets'-Podil's'kiy: Vidavnistvo «Ruta». 2017 r. – 736 s.: il. {in Ukrainian}
7. Ploskiy V.O., Getun G.V., Viots'kiy V.D. Arkhitektura budivel' ta sporud. Kniga 3. Istoriya arkhitekturi i budivnitstva: Pidruchnik dlya vishchikh navchal'nikh zakladiv. – Vidannya druge, pereroblene i dopovnene / Ploskiy V.O., Getun G.V., Viots'kiy V.D. – K: Vidavnistvo «Lira-K», 2016 r. – 816 s.: il. {in Ukrainian}
8. Getun G.V. Difuzijni protsesy z nakopichival'nimi charakteristykami pry ekspluatatsii budivel' / Getun G.V., Butsenko Y.P., Balina O.I., Bezklubenko I.S., Solomin A.V. // Opir materialiv ta teoriya sporud. – 2019.№. 102. - s. 243-252. {in Ukrainian}
9. Bezklubenko I.S. Metody ranzhuvaniya kryteriiv v zadachakh optimizastii potokorozpodilu inzhenernoi merezhi. Upravlinniya Rozvytkom Skladnykh System. 2018r. № 34. s. 111-114. {in Ukrainian}
10. Bezklubenko I.S., Lesko V.I. Pryntsypy systemnogo pidkhody- yak osnova SAPR inzhenernykh merezh. ///Mistobydyvanniya ta teritorial'ne planuvanniya. – № 62, Kniga 1, 2016r. - s. 56-58 {in Ukrainian}
11. G.V. Getun, O.I. Balina, Y.P. Butsenko, V.A. Labzhynsky, I.S. Bezklubenko, A.V. Solomin Situation forecasting and decision-making optimization based on using markov finite chains for areas with industrial pollutions// Resistance of materials and theory of structures: Science and technology. collection. - K.: KNUBA, 2020. – Issue 104. - P.164 -175 {in English}
12. Getun G., Lesko V., Balina O., Bezklubenko I., Butsenko Yu.. Vykorystanniya stokhastychnykh modelej dlya parametrychnoi nadijnosti budivel'nykh maszyn. // Opir materialiv ta teoriya sporud. - K.: KNUBA, 2021r. – № 106. - s.262 - 273. {in Ukrainian}
13. Bazhenov V.A., Gaidaichuk V.V., Koshevoi A.P. Stability of multiply connected ribbed shells and plates in a magnetic field. – Journal of Soviet Mathematics. Vol.66/ Issue. 6, 1993, p. 2631-2636. {in English}