

## **ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АРОЧНИХ АНГАРІВ**

*В статті наведено результати розрахунку та проаналізовано 72 типи арок з різними геометричними параметрами. Отримано оптимальні геометричні характеристики арки з точки зору внутрішніх зусиль, згідно з якими було запропоновано конструкцію арки ангару для м. Полтава та виконано її порівняння з типовою конструкцією арок. Вказані переваги запропонованої конструкції перед типовою конструкцією арки ангару.*

***Ключові слова:** наскрізна арка, оптимальні геометричні параметри, конструктивна форма, обрис арки, вага.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими й практичними завданнями.** На сьогоднішній день існує декілька конструкцій типових ангарів: арковий ангар, шатровий ангар, полігональний ангар, прямостінний ангар. Розвиток науки, промисловості і сільського господарства з кожним днем призводить до збільшення попиту на даний вид конструкцій і вимагає постійного пошуку нових конструктивних форм арок ангарів, які б призвели до зменшення їх маси та вартості.

**Аналіз останніх публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Питанням оптимізації конструкції арки займались Богза В., Гомон В.В., Грудев І.Д., Денисов О.О., Киселев В.А., Кузнецов І.Л., Руднев В.І., Салимов А.Ф., Скальська О.О., Супрунук В.В., Юдин Ф. [3-7] та інші. Призначенням оптимального обрису арок з уніфікованих елементів займався Кузнецов І.Л. [3]. В його роботі приводиться алгоритм, програма і приклади знаходження оптимального обрису арки.

**Виділення невирішеної раніше частини проблеми.** Історія досліджень раціональних форм арок нараховує понад 150 років. Однак, незважаючи на це, а також на те, що цим питанням займались відомі вітчизняні та закордонні інженери та вчені, окремі питання пошуку раціональної форми обрису, співвідношення стріли підйому до прольоту та оптимізації перерізів наскрізних арок ангарів невеликого прольоту, особливо виконаних з прямолінійних сегментів, потребують додаткового вивчення.

**Метою даної статті є аналіз сучасних типових конструкцій ангарів, пошук нових конструктивних форм та знаходження оптимального типу арок за такими характеристиками:** обрис арки, розрахункова схема, співвідношення стріли підйому до прольоту арки  $f/L$ . Порівняння запропонованого типу арок з типовою конструкцією.

**Виклад основного матеріалу статті.** Арка є одним з найстаріших структурних елементів традиційної архітектури. Історично вона з'являється в двох типових формах: жорстка арка побудована з кам'яної кладки або гнучка арка побудована з дерева або бамбука. Жорстка арка стала дуже важливою в архітектурі давнини і вперше повною мірою використовувалась римлянами в якості базової структури для мостів, акведуків і дренажних систем, пізніше для перекриття великих прольотів соборів Європи. Форма традиційної арки розвивалась емпіричним (дослідним) шляхом протягом тривалого періоду часу, перша загальна форма арки є кругова арка, пізніше замінена на стрільчасту арку, а потім замінена

знов на кругову арку в епоху Відродження античності. Сучасний досвід будівництва і проектування показує, що арочні конструкції доцільно використовувати і в легких будівлях, що використовуються як склади, гаражі, павільйони, сільськогосподарські приміщення і т.п.

Для пошуку оптимальної конструктивної форми арки для м. Полтава, були прийняті наступні параметри розрахунку:

- 1) Тип обрису арки: за квадратною параболою та по дузі окружності (рис. 1).
- 2) Розрахункова схема арок: безшарнірна, двошарнірна та тришарнірна.
- 3) Співвідношення стріли арки  $f$  до прольоту  $L$ : 0,2; 0,3; 0,4; 0,5.
- 4) Прольот арки: 12м, 18м та 24м.
- 5) Навантаження на арку:
  - Постійне навантаження на арку – 0,5 кПа;
  - Снігове навантаження - для 5-го снігового району.
  - Вітрове навантаження - для 3-го вітрового району.
  -

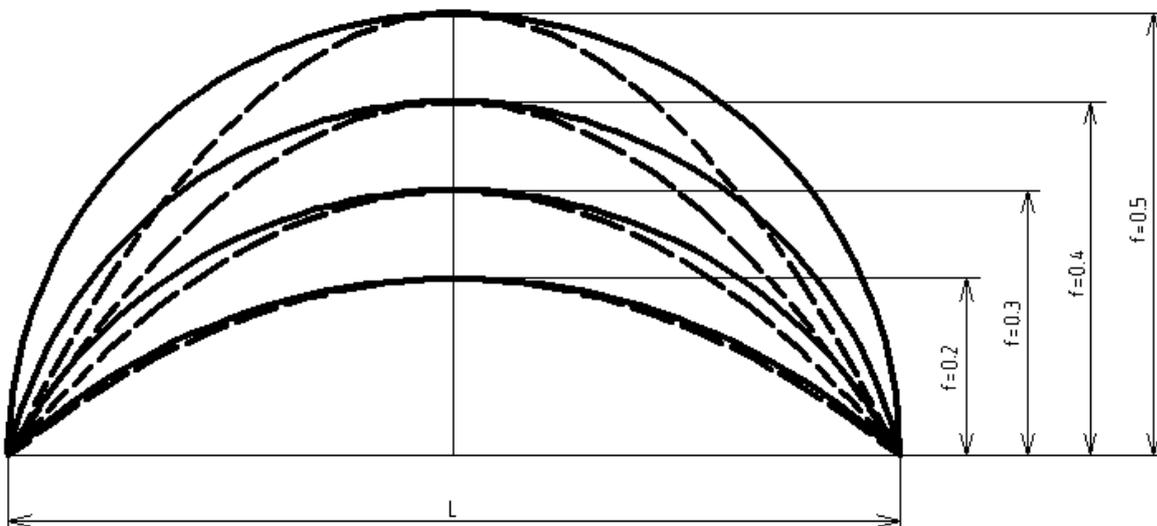


Рисунок 1 – Форми обрису арок:

----- по дузі окружності; ---- за квадратною параболою

Розраховано 72 варіанти типів плоских арок. Розрахунки виконано за допомогою програмного комплексу SCAD Office 11, в основу розрахунку якого покладено метод кінцевих елементів. Отримано дані для аналізу і пошуку оптимальної арки за трьома характеристиками: зміна обрису арки, розрахункової схеми арки і співвідношення  $f/L$  для трьох варіантів прольотів.

#### Аналіз арок на основі зміни даних в залежності від типу обрису арок

Таблиця 1

Максимальні значення зміни параметрів  $M$ ,  $H$ ,  $N$  і  $Q$  при переході від параболічної арки до арки, окресленої по дузі окружності

Проліт	M	H	N	Q
12м	167.9%	-12.7%	-5.7%	22.9%
18м	161.7%	-13.7%	-9.8%	21.8%
24м	151.1%	-12.2%	-5.5%	23.6%

Як показали результати розрахунків, значення згинальних моментів  $M$  значно збільшуються (до 167,94%) при переході від параболічної форми арки до арки по дузі окружності. В той же час значення розпору  $N$  в більшості випадків помірно зменшуються

(до -13,68%). Значення позадвжньої сили  $N$  також незначно зменшується (до -9,85%), а значення поперечної сили  $Q$  зростає (до 23,62%).

Проаналізувавши отримані дані, можна зробити висновок, що для всіх трьох прольотів параболічна форма арки значно ефективніша, ніж арка, окреслена за дугою окружності з точки зору внутрішніх зусиль.

**Аналіз арок на основі зміни даних в залежності від розрахункової схеми арок**  
Дані одержані в результаті розрахунків представлені в табл. 2–5

Таблиця 2

*Відсоткове відношення зміни згинальних моментів  $M$*

Розрахункова схема	Проліт					
	12м		18м		24м	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Безшарнірна	45,1%	5.8%	44.7%	2.4%	40.2%	1.2%
Двошарнірна	38.6%	-13.1%	32.1%	-13.4%	32.6%	-12.6%
Тришарнірна						

Таблиця 3

*Відсоткове відношення зміни розпору  $H$*

Розрахункова схема	Проліт					
	12м		18м		24м	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Безшарнірна	2.2%	-12.5%	1.5%	-11.1%	0.6%	-11.8%
Двошарнірна	9.3%	-3.8%	14.0%	-4.3%	8.6%	-4.1%
Тришарнірна						

Таблиця 4

*Відсоткове відношення зміни позадвжньої сили  $N$*

Розрахункова схема	Проліт					
	12м		18м		24м	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Безшарнірна	3.2%	-2.4%	3.5%	-2.79%	4.2%	-2.6%
Двошарнірна	1.4%	-2.4%	1.4%	-2.7%	1.4%	-2.6%
Тришарнірна						

Таблиця 5

*Відсоткове відношення зміни поперечної сили  $Q$*

Розрахункова схема	Проліт					
	12м		18м		24м	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Безшарнірна	17.9%	2.3%	16.6%	3.8%	17.5%	4.2%
Двошарнірна	-1.1%	-3.2%	-1.1%	-3.6%	-0.4%	-3.5%
Тришарнірна						

Відсоткові відношення збільшення згинального моменту  $M$  (до 45 %) значно перевищують відсоткове відношення зменшення розпору  $H$  (до -12,5 %) при переході від безшарнірної до двошарнірної схеми і від двошарнірної до тришарнірної. Значення повздовжньої сили  $N$  незначно зменшуються в межах від -2,7 %. Зміна значень поперечної сили  $Q$  мають закономірний характер: зростають до 17,9 % при переході від безшарнірної до двошарнірної розрахункової схеми і спадають до -3,6 % при переході від двошарнірної до тришарнірної розрахункової схеми.

З вищесказаного можна зробити висновок, що найбільш ефективною розрахунковою схемою є безшарнірна з точки зору внутрішніх зусиль і підбору перерізів елементів сегментів арки. Це видно з характеру зміни значень згинального моменту  $M$  та поперечної сили  $Q$ . Однозначно визначитись з наступною по ефективності розрахунковою схемою складно, так як для різних співвідношень  $f/L$  і форми обрису арки, вона буде різною.

#### Аналіз арок на основі зміни даних в залежності від співвідношення $f/L$ :

Таблиця 6

Відсоткове відношення зміни  $M$ ,  $H$ ,  $N$  і  $Q$  в залежності від  $f/L$ :

Співвідношення $f/L$	Проліт			Проліт			Проліт			Проліт		
	12м	18м	24м	12м	18м	24м	12м	18м	24м	12м	18м	24м
0.2	M			H			N			Q		
	120.22%	109.11%	101.52%	-32.97%	-32.98%	-32.77%	-23.29%	-23.29%	-22.42%	20.51%	20.64%	20.64%
0.3	M			H			N			Q		
	77.93%	77.26%	82.10%	-21.89%	-22.04%	-20.86%	-12.81%	-13.17%	-13.37%	19.59%	19.39%	21.31%
0.4	M			H			N			Q		
	54.78%	57.58%	58.94%	-13.76%	-15.10%	-11.10%	-6.86%	-11.25%	-6.50%	15.31%	15.86%	16.45%
0.5	M			H			N			Q		

Значення згинальних моментів  $M$  значно збільшуються (до 120,22%) при збільшенні співвідношення  $f/L$ , але одночасно значно зменшується значення розпору  $H$  (від -32,98%). Значення повздовжньої сили  $N$  також зменшується (до -23,29%) при збільшенні співвідношення  $f/L$ , значення поперечної сили  $Q$  при цьому навпаки збільшується (до 20,64%).

В результаті аналізу зміни згинального моменту  $M$  та розпору  $H$  дано рекомендації щодо оптимальних значень співвідношення  $f/L$  для різних обрисів арок, різних прольотів (табл. 7).

Таблиця 7

Рекомендовані оптимальні значення співвідношень  $f/L$ :

Обрис арки	Проліт		
	12м	18м	24м
За квадратною параболою	> 0.5	0.5	0.4
По дузі окружності	0.4	0.35	0.3

**Оптимальна конструкція арки ангари.** Отримавши результати пошуку оптимального типу арок, можна рекомендувати до застосування ангари з такими геометричними характеристиками: форма обрису арок – параболічна, розрахункова схема – безшарнірна, співвідношення стріли підйому до прольоту арки  $f/L=0,5$ .

Використовуючи одержані оптимальні значення геометричних параметрів арок виконано розрахунок наскрізних арок, виконаних з прямолінійних сегментів. В якості прикладу виконано детальний розрахунок арки прольотом 18м.

Для порівняння обрано типову конструкцію ангари, що має такі характеристики арок: форма обрису арок – окреслена по дузі окружності, розрахункова схема безшарнірна, співвідношення стріли підйому до прольоту арки  $f/L=0,5$ . Приймаємо висоту

перерізу сегменту 0,4 м, що відповідає рекомендаціям [7]. Кут нахилу розкосів решітки до поясів становить 45°. Конструкція запропонованої арки, окресленої за формою параболи, складається з 6-ти сегментів, так само, як і типова конструкція арки, окресленої по дузі окружності.

Рекомендована нами конструкція наскрізної арки ангара показана на рис.2. Типова конструкція арки ангара, окреслена по дузі окружності, показана на рис.3.

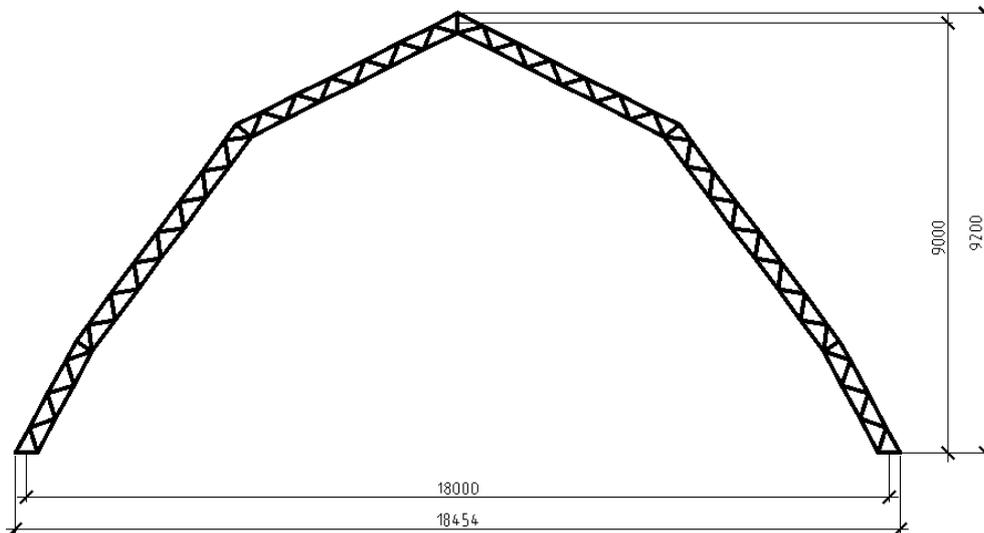


Рисунок 2 – Схема наскрізної арки ангара, окресленої за формою параболи

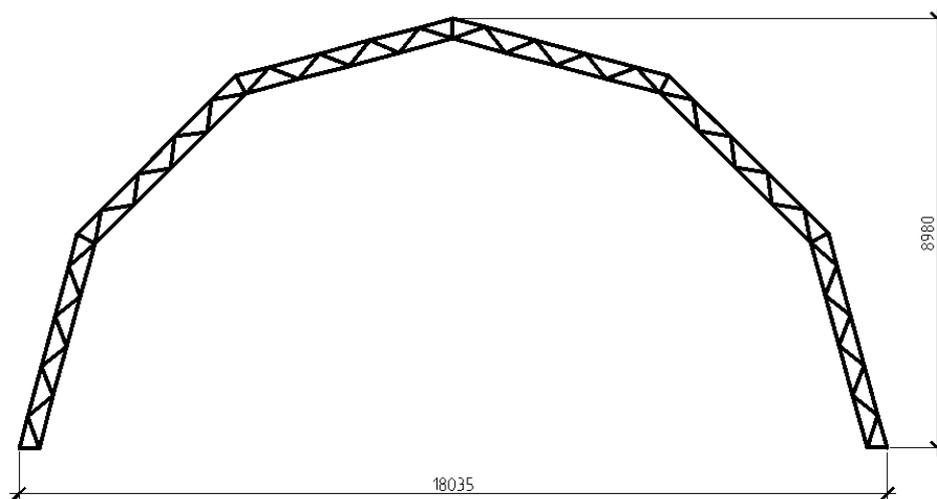


Рисунок 3 – Схема наскрізної арки ангара, окресленої по дузі окружності

Отримані в результаті розрахунку значення внутрішніх зусиль для обох типів арок представлені в табл. 8-9.

Таблиця 8

*Внутрішні зусилля в арках*

Максимальні зусилля N, кН	Арка з затяжкою			Арка без затяжки		
	Парабола	По дузі окружності	%	Парабола	По дузі окружності	%
Верхній пояс	-97.98	-169.67	73.17	-102.83	-173.66	68.88
Нижній пояс	-88.75	-99.84	12.50	-85.63	-99.29	15.95
Решітка	-18.43	-37.14	101.52	-18.09	-37.84	109.18
Затяжка	34.57	35.16	1.71			

Запропонована конструкція арки має менші значення максимальних зусиль в поясах арок, ніж типова конструкція арки ангару відповідно: на 73,17% у верхньому поясі арки, на 12,5% у нижньому поясі арки, на 101,52% в решітці і на 1,41% в затяжці.

Підібрані перерізи елементів наскрізних сегментів арок та витрати металу представлені в табл. 10.

Таблиця 9

Максимальні зусилля в поясах наскрізних арок

Проліт	Співвідношення f/L	Безшарнірна			Двошарнірна			Тришарнірна		
		N <sub>max</sub> , кН		%	N <sub>max</sub> , кН		%	N <sub>max</sub> , кН		%
		Парабола	Окружність		Парабола	Окружність		Парабола	Окружність	
12м	0.2	46.6	49.1	5.3	52.4	54.2	3.5	58.8	54.1	-8.0
	0.3	44.5	60.9	37.0	52.5	62.3	18.8	54.2	64.9	19.7
	0.4	52.0	78.4	50.8	57.9	83.9	44.8	56.6	93.0	64.3
	0.5	61.7	96.8	57.0	69.2	113.5	64.1	62.9	131.6	109.2
18м	0.2	82.8	89.4	8.0	95.2	98.8	3.8	108.2	97.4	-10.0
	0.3	82.5	120.9	46.5	101.4	121.8	20.1	103.9	127.4	22.5
	0.4	96.2	160.5	66.8	117.9	172.3	46.1	114.6	192.2	67.7
	0.5	124.4	206.7	66.1	143.9	243.2	69.0	128.9	283.8	120.1
24м	0.2	124.2	140.3	13.0	145.9	154.0	5.6	169.7	150.8	-11.1
	0.3	129.8	200.7	54.5	159.4	201.2	26.2	166.2	210.4	26.6
	0.4	171.4	279.9	63.3	198.9	300.9	51.3	186.6	335.5	79.8
	0.5	225.0	369.8	64.4	256.3	437.3	70.6	228.9	507.4	121.7

Загальна маса арки, окресленої по дузі окружності, більша ніж загальна маса арки, окресленої по формі параболи, на 42,3%. Це означає, що впровадження даного типу арки в будівництво замість типової арки дає значну економію (42,3%) на вартості арки з точки зору витрат сталі, при збереженні повної функціональності конструкції.

Таблиця 10

Визначення загальної маси арки, окресленої по формі параболи

Арка, окреслена за формою параболи 18м - 9м				
	Довжина, м	Переріз	g, кг/мп	ΣG, кг
Верхній пояс	27.16	Шв.№6,5	5.9	160
Нижній пояс	25.6	Шв.№6,5	5.9	151
Решітка	42.48	L30x4	1.78	76
Затяжка	17.55	L30x4	1.78	31
Сумарна вага арки				<b>418</b>

Таблиця 11

Визначення загальної маси арки, окресленої по дузі окружності

Арка, окреслена по дузі окружності 18м - 9м				
	Довжина, м	Переріз	g, кг/мп	ΣG, кг
Верхній пояс	27.18	Шв.№10	8.59	233
Нижній пояс	26.64	Шв.№10	8.59	229
Решітка	42	L40x4	2.42	102

Затяжка	17.18	L30x4	1.78	31
Сумарна вага арки				<b>595</b>

**Висновки.** На основі аналізу сучасних типових конструкцій арок ангарів, були обрані геометричні параметри арок ангара для їх розрахунку і подальшого аналізу. Отримано оптимальні геометричні характеристики арок з точки зору внутрішніх зусиль: форма обрису арок – параболічна, розрахункова схема – безшарнірна. Згідно з отриманими оптимальними геометричними параметрами була запропонована конструкція арки для м.Полтава. Вона має менші значення максимальних зусиль в поясах арок, ніж типова конструкція арки ангара відповідно: на 73,2% у верхньому поясі арки, на 12,5% у нижньому поясі арки, на 101,5% в решітці і на 1,4% в затяжці. Впровадження даного типу арки в будівництво замість типової арки дає значну економію на вартості арки (42,3%) з точки зору витрат сталі, при збереженні повної функціональності конструкції.

#### Література

1. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
2. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции. Нормы проектирования.- М.,1990.
3. Кузнецов И.Л., Фахрутдинов А.Э. Назначение оптимального очертания оси арки из унифицированных элементов // Известия КазГАСУ, 2011, № 1 (15). – С. 115-121.
4. Кузнецов И.Л. Облегченные конструкции арочных зданий (Исследование, разработка, внедрение). Автореферат диссертации на соиск. уч. ст. д. т. н. Казань: КазИСИ, 1995.- 33с.
5. Богза В., Богданов С. Практическая методика поиска оптимальной формы арок облегченной конструкции // MOTROL, 2008, 10В, – С. 246-255.
6. Грудев И.Д., Симон Н.Ю., Дворников В.А. Форма оси, конструкция и расчет устойчивости арок // Промышленное и гражданское строительство, 2008, №5.- С.22-24.
7. Скальська О.О. Аналіз типових рішень циліндричних ангарів для України. Магістерська кваліфікаційна робота – Полтава: ПолтНТУ, 2011. - 170с.

*М.В. Бібік, к.т.н., доц., В.М. Бібік, ст. викл., К.С. Дяченко, магістр  
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АРОЧНЫХ АНГАРОВ

*В статье приведены результаты расчета и проанализировано 72 типа арок с разными геометрическими параметрами. Получено оптимальные геометрические характеристики арок с точки зрения внутренних усилий, согласно которым предложено конструкцию арки ангара для г. Полтава и выполнено ее сравнение с типовой конструкцией арок. Указаны преимущества предложенной конструкции перед типовой конструкцией арки ангара.*

**Ключевые слова:** *сквозная арка, оптимальные геометрические параметры, конструктивная форма, очертание арки, масса.*

*М. V. Bibik, Ph.D., docent., V.M. Bibik Senior Lecturer, K.S. Dyachenko, MA  
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

## SEARCH OF OPTIMAL GEOMETRIC PARAMETERS OF ARCH HANGARES FOR POLTAVA

*72 types of arches with different geometrical parameters were calculated and analyzed in the article. The optimal geometrical parameters of lattice arches were obtained. Arch hangar structure was proposed for Poltava and compared to typical hangar structure. Proposed structure's advantages over typical structure were indicated.*

**Keywords:** *lattice arch, optimal geometric parameters, arch shape, constructive form, weight.*

*Надійшла до редакції 5.10.2012*

*© М.В. Бібік, В.М. Бібік, К.С. Дяченко*