

УДК 692.444

Тонкачєєв В.Г.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕБРИСТО-КІЛЬЦЕВИХ КУПОЛІВ ПОКРИТТЯ ПРИМІЩЕНЬ З КОРИСНОЮ ПЛОЩЕЮ 200....500 м<sup>2</sup>.**

*Розглянута проблема визначення оптимальних конструктивних параметрів ребристо-кільцевих куполів покриття приміщень з площею 200....500 м<sup>2</sup>. за критерієм собівартості. Виконано оцінювання витрат, які пов'язані з геометричною формою сферичних куполів. До першої групи віднесені витрати на покриття і стелі з урахуванням витрат на виконання робіт та витрат на подальшу експлуатацію споруди. При переході на пологі форми куполу витрати першої групи зменшуються. До другої групи витрат віднесені витрати на зведення каркасу купола. При переході на пологі форми куполу витрати другої групи збільшуються.*

*За результатами дослідження були знайдені оптимальні значення відношення стріли підйому купола до діаметра опорного кола. За оптимальне значення слід прийняти відношення 1/5...1/6, яке обрано для подальшого дослідження геометрії та конструктивних рішень куполів на предмет забезпечення стійкості верхнього ярусу від проклацування.*

*Ключові слова: купол, собівартість, пологість, геометрія, форма, маса, критерій, стійкість, проклацування.*

### **Постановка проблеми**

При виборі обрису та утворюючої купольного покриття враховують архітектурні та технологічні вимоги, а також техніко-економічні, що включають: мінімальні витрати матеріалу на зведення купола; простоту, зручність виготовлення та монтажу елементів; довговічність, можливість догляду за конструкцією; відповідність конструктивного рішення купола характеру діючих навантажень [1].

Пошук оптимальних параметрів куполів – процедура прийняття конструктивного рішення на початковій стадії проектування. Від правильного вибору залежить ефективність купола на всіх етапах життєвого циклу споруди.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Проблему оптимізації конструктивних рішень куполів розглянуто в роботі [2]. За критерій пошуку оптимальних рішень прийнято розхід матеріалу куполу на один метр квадратний корисної площі споруди, що перекривається. Не враховуються затрати на огорожуючі конструкції та на подальшу

експлуатацію споруди. При оцінюванні варіантів важлива не тільки економічність конструкцій на стадії виготовлення, транспортування і монтажу, але й ефективність на стадії експлуатації [3].

Аналіз та узагальнення досліджень, проведених іншими авторами [2, 3], дозволили визначити прийнятий в даній роботі науковий напрям досліджень.

### **Формулювання цілей та завдання статті.**

Мета статті – пошук оптимальних конструктивних параметрів ребристо-кільцевих куполів перекриття приміщень з корисною площиною 200-500 м<sup>2</sup> за критерієм питомої собівартості з урахування подальших витрат на експлуатацію споруди, яка вкривається куполом.

### **Основна частина**

Одним з найважливіших факторів підвищення ефективності куполів є вибір конструктивної системи. При гометричному конструюванні ребристо-кільцевих куполів виділяються два основних напрямки: визначення загальної форми поверхні; вибір схеми каркасу і визначення його характеристик. При обранні загальної форми куполу визначальними є такі вимоги:

- функціональні;
- об'ємно-планувальні;
- конструктивно-розрахункові;
- технологічності за критеріями виготовлення і монтажу;
- техніко-економічні;
- естетичні.

Ці вимоги повинні враховуватися комплексно, але ж в залежності від умов проектування будь яка з вимог може бути прийнятою як основна.

Купола за конструкцією і формою розділяються на пологі ( $H_c/D_c$  від 1/6 до 1/10) і підйомні ( $H_c/D_c$  від 1/2 до 1/5) (рис. 1). Купольні конструкції належать до найбільш економічним просторовим конструкціям, застосовуються в покриттях діаметром до 150 м при умовній товщині оболонки в 1/600...1/800 діаметра покриття [4].

Застосування пологих куполів дає істотне зменшення неексплуатованого підкупольного простору і мінімальне відношення поверхні покриття, наведеної до одиниці площі зали, що вкривається. В межах відношення стріли підйому до діаметру нижнього опорного кільця сегменту  $H_c/D_c = 1/2...1/10$  знаходиться оптимальне конструктивне рішення, пошуку якого присвячена дана робота.

Для врахування всіх особливостей купольних покриттів та вибору критеріїв були розглянуті роботи [5, 6], у яких, на наш погляд, надані найбільш повні характеристики ефективності купольних покриттів.

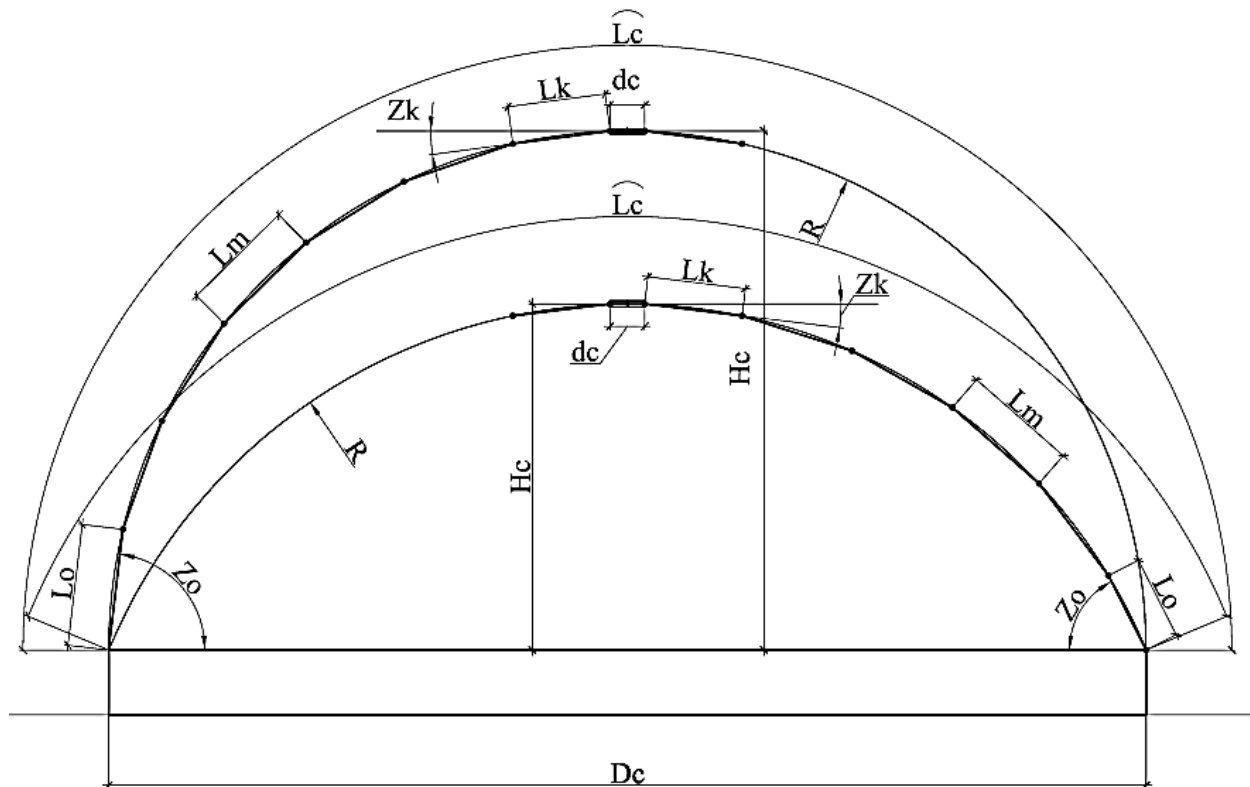


Рис. 1. Схема та позначення параметрів елементів ребристих куполів, які досліджувались:

$D_c$  – діаметр опорного кола;  $R$  – радіус купола;  $H_c$  – висота купола (стріла підйому);  $d_c$  – діаметр верхнього опорного кільця;  $L_k$  – довжина верхнього елемента ребра;  $L_m$  – довжина середнього елемента ребра;  $L_o$  – довжина опорного елемента ребра;  $Z_k$  – кут нахилу верхнього елемента ребра по відношенню до горизонту;  $Z_o$  – кут нахилу нижнього опорного елемента ребра по відношенню до горизонту.

Економія енергії на опалення та охолодження приміщення. Зовнішня площа пологих куполів з такою ж корисною площею менше ніж у підйомних. Обігрів та вентиляція пологих куполів дешевше. Ефективний повітрообмін всередині купола тільки сприяє ще більшої економії коштів на опаленні і кондиціонуванні; викривлена поверхню купола сприяє натуральній циркуляції повітря в приміщенні. Завдяки аеродинамічному ефекту конструкції купола зовні, вітер огинає його з меншим опором.

Якісні характеристики комфорту. Особливості інтер'єру купольної конструкції дадуть незрівнянно більшу свободу планування, збірні стелі, рівномірність розподілу світла, тепла і звуку. Куполи відрізняються чудовими світловими характеристиками, так як сферичні форми підсилюють світло. У багатьох випадках всередині купола світліше, ніж на вулиці, навіть без внутрішнього освітлення (через відбиття світла від стін і його фокусування в напрямку центра купола). Акустичні переваги включають рівномірний розподіл звуку, відсутність резонуючого звуку і на 30% менше зовнішніх шумів.

Економія матеріалів і витрат праці. При будівництві сферичних споруд потрібно менше матеріалів і витрат праці на виготовлення, транспортування і монтаж елементів куполів. Зменшення стріли підйому купола ( $H_c$ ) супроводжується збільшенням горизонтальної складової (розпору) опорних реакцій конструкції, тому маса купола зростатиме.

Отже, використання пологих купольних покриттів призводить до зменшення експлуатаційних витрат, зменшення розходу матеріалів на огорожуючи конструкції, на опорядження. Призводить до економії трудових витрат, але при цьому, супроводжується збільшенням маси металевих конструкцій каркасу купола і тих витрат, які пов'язані з цим зростанням маси.

Економічна ефективність конструкції купола в значній мірі визначається конструкцією вузлового з'єднання, яке повинно забезпечувати достатню несучу здатність, низьку трудомісткість виготовлення і збірки елементів, малу матеріаломісткість. Конструкція вузлового з'єднання залежить від геометричної схеми каркаса купола. У процесі конструювання вузлів важливо забезпечити осьову передачу зусиль на елементи купола [7].

Рішення питання вибору схеми каркасу також багатоваріантне. Існують різні способи побудови геометричної схеми ребристо-кільцевих куполів. Вибір схем залежить від умов виготовлення елементів, умов технології та організації їх монтажу, від техніко-економічних показників.

З всього різноманіття геометричних схем ребристо-кільцевих каркасів в даній роботі розглядаються ребристо-кільцеві куполи з ломаними меридіональними та ломаними кільцевими елементами з прямокутних та квадратних сталевих труб, як найбільш технологічних з точки зору виготовлення та монтажу.

Схема розбивки каркасу на елементи представлена двома способами: за однаковими відстаннями між кільцями та за однаковими довжинами відрізків меридіональних ребер. Перший спосіб характеризується рівномірним зменшенням довжин кільцевих елементів. Другий – зменшенням кількості типорозмірів меридіональних елементів, що є більш технологічним рішенням. В куполах з великими прольотами (24...60 м) меридіональні елементи при однаковій довжині будуть мати різні перерізи, що не зменшує кількість типорозмірів. Другий спосіб розбивання каркасу на елементи є більш раціональним для куполів невеликих прольотів (12...24 м).

Для дослідження було обрано комбінований спосіб з різними довжинами елементів меридіональних ребер:  $L_k$  – довжина елемента верхнього ярусу,  $L_m$  – середніх ярусів,  $L_o$  – нижнього ярусу (див. рис. 1).

За критерій ефективності конструкції куполу було обрано собівартість одного метру квадратного корисної площі споруди, що вкривається (грн./м<sup>2</sup>).

Отримані залежності (рис. 2):  $C_1$  – собівартість влаштування покриття, стелі та вартість на обслуговування приміщення, які зменшуються зі зменшенням відношення ( $H_c/D_c$ );  $C_2$  – собівартість конструкції власно купола, яка зростає при зменшенні відношення ( $H_c/D_c$ ) [8]. За результуючою отримані оптимальні значення, при яких  $C \rightarrow \min$ .

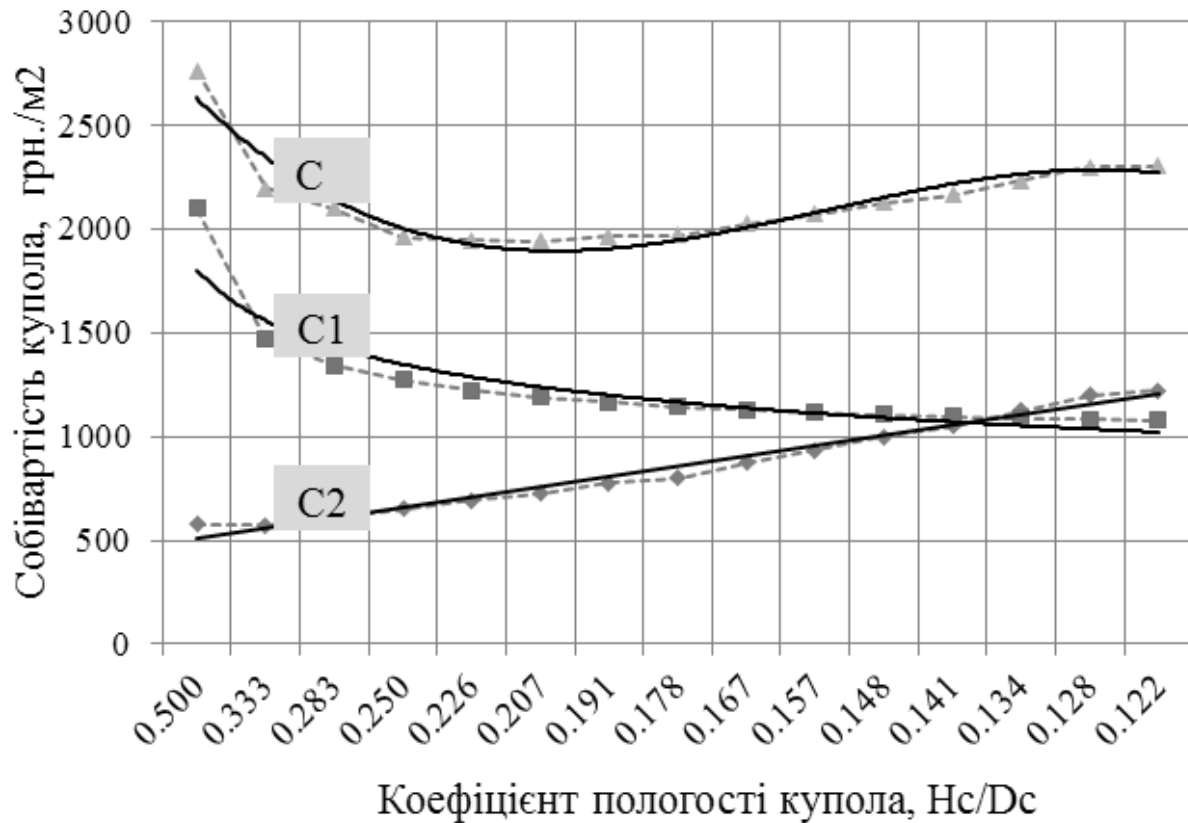


Рис. 2. Графіки залежності собівартості купола від коефіцієнту пологості.

### Висновки.

За собівартістю одного метра квадратного корисної площі споруди, яка вкривається купольними конструкціями, з урахуванням подальших витрат на експлуатацію, за оптимальну конструктивну характеристику куполу слід приймати коефіцієнт пологості куполу в межах  $H_c/D_c = 1/4 \dots 1/6$  (0,25...0,165).

При виборі форми куполу слід звертати увагу на кут нахилу верхнього елемента ребра по відношенню до горизонту ( $Zk$ ). Відповідно до зменшення коефіцієнту пологості кут зменшується від 6 до 5...4 град., тому при намаганні отримати більш пологий купол, може виникнути проблема зі стійкістю верхнього ярусу купола, пов'язаної з негативним ефектом проклацування.

Для подальшого дослідження конструктивних рішень куполів на предмет проклацування слід розглядати геометрію купола з коефіцієнтом пологості в межах  $H_c/D_c = 0,2 \dots 0,175$ .

### Список використаної літератури.

1. Лебедева Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции: учеб. пособие. М.: «Архитектура-С», 2006. 120 с.
2. Молев И.В. Стержневые звездчатые купола. Техно-экономический анализ: учеб. пособие. Горький, ГИСИ, 1990. 76 с.
3. Барышиков А.В., Харламов И.В. Выбор рациональной конструктивной формы металлических конструкций с учетом приведенных затрат. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул), 2016. 3 с. URL: <http://edu.secna.ru/media/f/strkonstr.pdf> (дата звернення 06.11.2016).
4. Купольные конструкции. ООО Строитель. 2012. URL: <http://www.firma-stroitel.ru/kupola.html> (дата звернення 25.10.2016).
5. Веселова Е.А., Комарова М.Л. Исследование архитектурно-конструктивных особенностей купольных покрытий зданий. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. URL: [http://www.rusnauka.com/18\\_ADEN\\_2012/Stroitelstvo/1\\_113467.doc.htm](http://www.rusnauka.com/18_ADEN_2012/Stroitelstvo/1_113467.doc.htm) (дата звернення 06.11.2016).
6. Виталий Гребнев: Преимущества купольных (сферических домов) 2013. URL: <http://athunder.livejournal.com/161078.html> March 6th, 2013 (дата звернення 25.10.2016).
7. Синяков А.И. Численные исследования металлических ребристо-кольцевых куполов. *Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського*. Київ. 2008. Вип. 2. С.
8. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Металеві конструкції (Збірник 9): ДСТУ Б Д.2.2-9:2012 (чинний з 1.01.2014 р.). Київ: Мінрегіон України, 2012. 35 с.

### АННОТАЦИЯ

Тонкачев В.Г. Определение оптимальных конструктивных параметров ребристо-кольцевых куполов покрытия помещений с площадью 200...500 м<sup>2</sup>.

Рассмотрена проблема определения оптимальных конструктивных параметров ребристо-кольцевых куполов покрытия помещений с площадью 200...500 м<sup>2</sup> по критерию себестоимость. Произведена оценка расходов, связанных с геометрической формой сферических куполов. К первой группе отнесены расходы на устройство покрытия и потолка с учетом затрат на дальнейшую эксплуатацию здания. При переходе на пологие формы купола расходы первой группы уменьшаются. Ко второй группе расходов отнесены

расходы на возведение каркаса купола. При переходе на пологие формы купола расходы второй группы увеличиваются.

По результатам исследования были найдены оптимальные значения отношение стрелы подъема купола к диаметру опорного контура. В качестве оптимального значения следует принять отношение  $1/5 \dots 1/6$ , которое выбрано для дальнейшего исследования геометрии и конструктивных решений куполов на предмет обеспечения устойчивости верхнего яруса от прощелкивания.

Ключевые слова: купол, форма, пологость, геометрия, масса, себестоимость, критерий, устойчивость, прощелкивание.

### ANNOTATION

V. Tonkacheiev. Determination of the optimal design parameters of ribbed domes with rings to cover the spaces with an area of 200...500 m<sup>2</sup>.

The problem of determining the optimal design parameters of ribbed domes with rings to cover the spaces with an area of 200...500 m<sup>2</sup> on the criterion costs was considered. The expense estimation connected with a geometrical form of the spherical domes was made. To the first group were assigned the costs to the device of roof-coverings and ceiling including the cost of continued operation of the building. Upon transition to flat shapes of a dome the expenses of the first group are decreasing. To the second group of expenses were assigned the costs of the construction of the dome's frame. Upon transition to flat shapes of a dome the expenses of the second group are increasing.

By results of a research the optimal values of the relation of height of a dome to diameter of a lower support contour were found. As an optimum value it is necessary to accept the ratio  $1/5 \dots 1/6$ , which is chosen for a further research of geometry and design solutions of domes for ensuring stability of the top tier from the buckling down.

**Keywords:** dome, shape, flatness, geometry, weight, cost, test, stability, buckling down.