

С.І. Білик, В.Г. Тонкачєєв

## ПРОБЛЕМИ КОНСТРУЮВАННЯ РЕБРИСТО-КІЛЬЦЕВИХ КУПОЛІВ

*Анотація. Мета статті – виявлення проблем формоутворення і конструювання ребристо-кільцевих куполів для проведення подальшого дослідження несучої здатності і стійкості пологих куполів. Розглянуті проблеми конструювання ребристо-кільцевих куполів, які розкладено на дві групи: проблеми формоутворення куполів та проблеми теоретико-методичного інструментарію конструювання ребристо-кільцевих пологих куполів. Систематизовані фактори, що впливають на вибір форми куполів. Виявлені важливіші проблемні питання з конструювання, до яких віднесено недостатньо вивчене явище проклацування оболонки куполів у верхньому ярусі. Сформульовані основні задачі для вирішення відібраних для теоретичного та експериментального дослідження проблемних питань.*

*Ключові слова: купол, ефективність, форма, конструювання, стійкість.*

**Вступ.** Використання гнутих зварних квадратних та прямокутних тонкостінних сталевих труб в конструкціях ребристо-кільцевих куполів суттєво розширило можливості для проектувальників куполів, що підтверджується масовим застосуванням таких елементів в купольних покриттях будівель і споруд із відносно невеликими прольотами 9...36 м.

Розв'язання задач формоутворення і конструювання куполів з точки зору їх ефективності і надійності ускладнено постійним підвищенням функціональних вимог до будівель та споруд, зміною витратних характеристик з їх експлуатації, недосконалістю теоретичного та методичного забезпечення процесу конструювання верхніх ярусів ребристо-кільцевих куполів.

**Теоретична частина.** Проблемі формоутворення куполів з точки зору їх ефективності присвячено декілька робіт [1, 2, 3, 4], у яких, в основному, дослідження проводились у напрямку визначення оптимального співвідношення стріли підйому до прольоту купольної

конструкції, яке включає вивчення і визначення багатьох факторів, від яких залежить остаточний вибір форми і конструкції.

Теоретико-методичне забезпечення процесу конструювання просторових конструкцій і куполів розглядається в роботах [3, 5, 6, 7, 8], з аналізу яких встановлено, що питанням забезпечення стійкості верхнього ярусу ребристо-кільцевих куполів приділялося недостатньо уваги.

Процес розробки полегшених купольних конструкцій базується на методі науково обґрунтованого конструювання, в якому доведено, що на формування оптимальної форми і конструктивної системи купольних покриттів впливає велика кількість змінних факторів як якісних, так і кількісних.

Форма та конструкція куполу залежить від відношення стріли підйому до діаметру купола. У дослідженнях [5, 8] відмічається, що при виборі проектів купольних покриттів для будівництва необхідно керуватися принципами високого рівня уніфікації, мінімальної маси, технологічності виготовлення, транспортабельності й підвищеної заводської готовності. Найбільш повно всім вимогам, що висуваються до сучасних виробничих споруд із застосуванням сталевих конструкцій, відповідають пологі купольні покриття із використанням тонкостінних гнутих профільних елементів.

Істотне зменшення в пологих купольних покриттях не експлуатованого підкупольного простору і мінімальне відношення поверхні покриття до одиниці площі зали, що вкривається, забезпечує економію коштів на опалення, кондиціювання; сприяє натуральній циркуляції повітря в приміщенні. Забезпечує приміщенням чудові світлові характеристики, рівномірний розподіл звуку, відсутність резонуючого звуку. Випукла форма купольних покриттів забезпечує просту систему водовідведення

При будівництві сферичних споруд потрібно менше матеріалів і витрат праці на виготовлення, транспортування і монтаж елементів куполів.

Використання пологих купольних покриттів, з одного боку, призводить до зменшення експлуатаційних витрат, зменшення витрати матеріалів на огорожуючі конструкції, на опорядження, до економії трудових витрат, але, з іншого боку, супроводжується

збільшенням маси металевих конструкцій каркасу купола і тих витрат, які пов'язані з цим зростанням маси [9].

Найчастіше при виборі конструктивних форм керуються наявністю готових рішень, простотою та мінімальною металоємністю. Багатьма важливими показниками нехтують, що призводить до збільшення витрат на утримання будинків та споруд. Ці показники є також вирішальними при обранні раціональної форми конструктивних рішень, тому повинні враховуватися при визначенні критерію ефективності форми і конструктивної системи куполу.

Дослідження [1] підтверджують, що зміна конструкції куполу на менш раціональний, з великими перерізами, більшою масою та меншою кількістю елементів, призводить іноді до зменшення витрат на експлуатацію, та виявляється більш економним рішенням.

В роботі [3] затверджується, що чим більше вартість огорожувальних конструкцій у порівнянні із вартістю несучих конструкцій куполу, тим ефективніше становиться більш пологий купол.

При виборі загальної форми куполу проблемними залишаються питання дотримання вимог: функціональних; об'ємно-планувальних; конструктивно-розрахункових; технологічних; естетичні та ін. Ці вимоги повинні враховуватись комплексно, але в залежності від умов проектування будь яка з вимог може бути прийнята як основна.

За результатами аналізу попередніх досліджень в цьому напрямку визначилися основні тенденції підвищення ефективності ребристо-кільцевих металевих куполів, до яких віднесені: застосування сталевих легких конструкцій - пологих купольних покриттів із використанням тонкостінних гнутих профільних та гнутих зварних труб, які є економічними за витратами матеріалу, відносно легкі у збірці та монтажі.

При цьому не слід нехтувати вимогами зниження трудомісткості виготовлення та монтажу куполів такими, як заводські умови виготовлення, компактність при транспортуванні, легко збираємість та взаємозамінність.

В дослідженнях Молева І.В. [3] виділяються два основних напрямки конструювання ребристо-кільцевого куполу: з однаковими відстанями між кільцями; з однаковими довжинами відрізків меридіональних ребер при нерівних відстанях між кільцями. На жаль автор не побачив, що окрім двох існує безліч комбінованих

варіантів схем куполів, дослідженню яких практично ніким не приділялося уваги.

Не зрозуміло, чому дослідники при проектуванні куполів відштовхуються від будівельного модулю і не передбачають для унікальних споруд, якими є куполи, інші розміри. Доцільно, на наш погляд, розглядати при дослідженнях іншу, більш дрібну градацію прольотів куполів.

Слід погодитись з висновком в роботі [3], що істотним недоліком ребристо-кільцевих куполів є той факт, що несучі елементи ребер зібрано в верхній частині, де так багато елементів не потрібно, а в нижній частині вони розріджені, де їх не вистачає, що потребує встановлення додаткових меридіональних елементів. Але ж, методичних науково-обґрунтованих пропозицій по цьому питанню автор не надає.

Кількості ярусів куполу по роботі [5] рекомендована така: при діаметрі куполу до 8 м приймається 2, 3 яруси; при діаметрі куполу 8...16 м — 3, 4 яруси; при діаметрі куполу 16...24 м — 4, 5 ярусів. Незрозуміло, за якими умовами здійснюється перехід від нижньої межі до верхньої, а також, як пов'язати ці рекомендації з методами розбивки куполу на яруси по роботі [3].

Результати теоретичних і практичних досліджень проблеми проклацування оболонки куполів у верхньому ярусі не дозволяють в повній мірі забезпечити уявлення процесів проклацування, а що стосується пологих куполів із тонкостінних гнутих зварних труб, то теоретико-методичний інструментарій для конструювання з урахуванням цього явища відсутній.

**Висновки.** Виходячи з вище наведеного, з метою удосконалення теоретико-методичного інструментарію конструювання ребристо-кільцевих пологих куполів з підвищенням ефективності застосування тонкостінних легких гнутих зварних стрижнів замкнутого профілю із з'єднаннями жорсткими вузлами, слід вирішити наступні задачі:

- провести дослідження конструктивних рішень ребристо-кільцевих куполів, виявити і дослідити фактори і критерії, що впливають на ефективність конструкцій куполів та обґрунтувати форму і параметри куполу для проведення подальшого дослідження;
- виконати теоретичні та експериментальні дослідження стійкості верхнього ярусу ребристо-кільцевих куполів з дослідженням

явища проклацування та впливу на нього жорсткості вузлів каркасу куполів із гнутих зварних труб;

- підготувати і провести натурний експеримент на зразках ребристо-кільцевого куполу у натуральну величину з втрати стійкості елементів верхнього ярусу куполу при жорсткому та шарнірному вузлах.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Алпатов В. Ю., Холопов И. С. Оптимизация геометрической формы пространственно-стержневых конструкций // Металлические конструкции. 2009. № 1. Т. 15. С. 47—57.
2. Барышников А. В. Выбор рациональной конструктивной формы металлических конструкций по технико-экономическому анализу с учетом приведенных затрат // Алтайский гос.техн. университет им. И.И. Ползунова, 18-27 December 2012  
URL:<http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/december-2012> (дата звернення 25. 11. 2017).
3. Молев И.В. Стержневые звездчатые купола. Техничко-економический анализ: учеб.пособ. / И.В. Молев. Горький ГИСИ, 1990. 76 с.
4. Широков В.С. Поиск оптимальных соотношений стрелы подъема и пролета структурной купольной конструкции // Вестник МГСУ, Москва, 2013. №9. С. 32 – 40.
5. Рекомендации по расчету и конструированию сетчатых куполов со стержнями из холодногнутих тонкостенных профилей / сост.: В. И. Тур, А. В. Тур, И. С. Холопов. Ульяновск: УлГТУ, 2012. 38 с.
6. Савельев В. А. Теоретические основы проектирования металлических куполов: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.23.01 / Савельев Виталий Алексеевич. – Москва, 1995. - 32 с.
7. Свердлов В. Д. Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытия: Дис....канд. техн. наук: 05.23.01 / В. Д. Свердлов. Киев, КИСИ, 1977. 153 с.
8. Сиянов А.И. Численные исследования металлических ребристо-кольцевых куполов // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. Вип. №2, 2008. С. 54 – 64.
9. Тонкачєєв В. Г. Визначення оптимальних конструктивних параметрів ребристо-кільцевих куполів покриття приміщень з корисною площею 200....500 м<sup>2</sup> // Містобудування та територіальне планування: наук. техн. зб. наук. пр. – К.: КНУБА, 2016. Вип. 62. Ч. 1. С. 525–531.