УДК 69.057.1

А. С. Грошовенко
В. О. Попов

РАЦІОНАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗВЕДЕННЯ ВЕЛИКОРОЗМІРНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ КУПОЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено технологічні особливості зведення великорозмірних мобільних каркасно-тентових куполів на прикладі споруди діаметром 19 м без улаштування стаціонарних заглиблених фундаментів. Проаналізовано способи монтажу просторових сітчастих систем та обґрунтовано раціональність застосування методу поелементного складання в умовах міської та рекреаційної забудови. Описано послідовність монтажних операцій: підготовку основи, збирання модульного тридцятикутного подіуму, поярусне нарощування ікосаедричного стрижневого каркаса з беззварними одноболтовими шарнірними вузлами, улаштування контурного баласту та монтаж тентового покриття.

Ключові слова: геодезичний купол, технологія монтажу, поелементне складання, модульний подіум, шарнірний вузол, баластна система, тентове покриття.

Abstract

The technological features of the erection of large-scale mobile frame-and-tent domes on example of structures with a diameter of 19 m without the installation of permanent buried foundations are investigated. Methods of spatial lattice system erection are analyzed, and the rationality of using the element-by-element assembly method in conditions of urban and recreational development is justified. The sequence of assembly operations is described: foundation preparation, assembly of a modular 30-gon podium, tiered erection of an icosahedral space-truss frame with weld-free single-bolt hinged joints, installation of perimeter ballast, and tensile membrane assembly.

Keywords: geodesic dome, erection technology, element-by-element assembly, modular podium, hinged joint, ballast system, fabric cladding.

Вступ

Швидкий розвиток індустрії розваг, проведення виставок, фестивалів та розгортання мобільних оглядових павільйонів чи планетаріїв потребує ефективних великопрогонових конструктивних систем, придатних для тимчасової експлуатації. Завдяки ефективній сферичній формі та ікосаедричній тріангуляції геодезичні сітчасті куполи забезпечують перекриття значного вільного внутрішнього простору без улаштування проміжних опор за мінімальної власної ваги каркасу. Геодезичний каркас таких систем спирається виключно на опорне кільце, розташоване по периметру конструкції. Тому зведення каркасу такого розміру з мінімальною кількістю опорних елементів вимагає нестандартних технологічних рішень із залученням специфічного комплекту машин і механізмів.

У практиці будівництва просторових каркасних купольних конструкцій виділяють три базові способи монтажу: поелементне складання, монтаж укрупненими блоками та великоблоковий монтаж. Використання великих монтажних блоків або кранового підйому зібраного купола в умовах щільної міської забудови, історичних ареалів чи орендованих майданчиків часто є неможливим через просторові обмеження, заборону використання важкої техніки та високу вартість машино-змін. У зв’язку з цим найбільш раціональним є метод поелементного складання, який передбачає ручний або маломеханізований монтаж високого ступеня заводської готовності за принципом модульного конструктора.

Підготовка основи та монтаж опорного подіуму

Технологічна послідовність зведення споруди розглядається на прикладі безфундаментного геодезичного павільйону екваторіальним діаметром D = 19,0 м та габаритною висотою H = 11,9 м. Зведення комплексу не потребує влаштування земляних виїмок під капітальні фундаменти і розпочинається з інженерного облаштування поверхні. Для монтажу підготовлюється кругла площадка діаметром не менше 21 м з допустимим відхиленням від горизонталі не більше 0,5◦. Залежно від умов майданчика основою може слугувати тверде штучне покриття, спланований ґрунт із заміною гумусу ущільненою щебенево-піщаною засипкою та вирівнювальним шаром піску до 1 см, або трав'яний газон із

покосом висотою 10-60 мм при обов'язковому застосуванні спеціальних розподільчих опорних подушок. Поверх підготовленого майданчику улаштовується опорний подіум, який привантажується баластними системами, а, поверх подіуму зводиться геодезичний стрижневий купол, який потім обшивається тентовим покриттям.

Виходячи з умов компактного транспортування та великої кількості циклів монтажу-демонтажу, подіуми слід проектувати каркасними, збірно-розбірними, та такими, що складається з окремих стрижневих елементів. Тому на підготовлену поверхню встановлюється спочатку каркас подіуму у вигляді правильного тридцятикутника, сформованого зі сталевих радіальних променів та міжпроменевих розпірок, виготовлених з прямокутних труб 80×40×3 мм. Складання каркасу подіуму ведеться поелементно: сталеві радіальні промені та міжпроменеві розпірки об'єднуються в центрі споруди за допомогою дископодібного опорного фланця. Кожен промінь спирається на основу через проміжні регульовані опори з кроком 1,5-3 м, а по зовнішньому контуру промені завершуються крайніми опорними елементами. Крайні опори подіуму являють собою суцільнозварні пластини товщиною 6-10 мм у формі перевернутої літери «Т» з прикріпленими кронштейнами 175×80×8 мм, що одночасно слугують базою для кріплення нижнього поясу куполу. Поверхня подіуму зашивається плитами секційно щитами з вологостійкої бакелітової фанери марки ФСФ товщиною 10 мм.

Технологія поелементного складання каркаса куполу

Несучий каркас формується за геодезичною схемою розбиття сфери частотою V6. Трикутна сітка комірок забезпечує повну геометричну незмінюваність структури, завдяки чому при експлуатаційних навантаженнях у стержнях виникають практично лише поздовжні сили стиску-розтягу, а згинальні моменти мінімізовані.

Монтаж купола виконується нарощуванням елементів знизу догори концентричними ярусами:

На опорах крайнього ряду подіуму формується нижній контур, що складається з елементів опорного кільця та опорних розкосів із електрозварних труб перерізом 48×3 мм. Вище позначки екваторіального перерізу зведення ведеться з типових стержнів полегшеного перерізу у вигляді електрозварних труб 42×2,8 мм.

Просторові вузли з’єднання формуються без застосування складних зварних конекторів. Торці всіх трубчастих стержнів у заводських умовах сплющуються та перфоруються наскрізними отворами діаметром 17 мм. У кожному вузлі східні кінці елементів фіксуються пакетом за допомогою одного високоміцного болта М14 класу міцності 10.9 із шайбами та самоконтрящими гайками.

Така технологія повністю ліквідує необхідність виконання зварювальних робіт на висоті, забезпечує шарнірність роботи вузла та суттєво скорочує час складання каркасу силами ланки монтажників за допомогою мобільних риштувань або вишок-тур.



Рис. 1. Складання каркасу куполу із застосуванням вишки та страхувального крану.

Баластування та влаштування огороджувальних конструкцій

Оскільки загальна власна вага металоконструкцій купола становить лише 33,98 кН, а повна гравітаційна вага всієї надземної частини із покриттям та внутрішнім оснащенням складає $G' = 69{,}24$ кН, конструкція без фундаментів є чутливою до вітрового відриву та перекидання.

Для надійної фіксації споруди за розробленою технологією передбачено привантаження подіуму баластною системою сумарною масою не менше 9 т. Баласт монтується на балки подіуму виключно по зовнішньому периметру в межах смуги шириною до 2 м, безпосередньо біля опорних кронштейнів купола, що локалізує реакції відриву в зоні їх виникнення та виключає передачу знакозмінних зусиль на центральну частину настилу.

Завершальним етапом технологічного процесу є натягування зовнішнього мембранного тентового покриття з ПВХ-тканини завтовшки 0,5 мм. Полотно фіксується до каркаса механічним способом по вузлових точках без можливості ковзання вздовж стержнів. Одночасно монтуються три приставні циліндричні вхідні тамбури, після чого всередині павільйону підвішується безкаркасний купольний проекційний екран та технологічне обладнання.

Висновки

Метод поелементного складання є найбільш раціональним способом зведення великорозмірних геодезичних куполів на тимчасових майданчиках, оскільки виключає потребу у важкій підйомній техніці та забезпечує повну мобільність комплексу.

Принципове конструктивне рішення вузлів на базі сплющених торців круглих труб із одноболтовим кріпленням гарантує високу швидкість збирання за модульним принципом за умови забезпечення шарнірної передачі зусиль.

Поєднання безфундаментного багатокутного подіуму з крайовим розміщенням баластної системи створює надійний опорний базис, що компенсує вітровий зсув та відрив споруди при збереженні можливості швидкого демонтажу без пошкодження монтажних елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов В. О., Попова А. В., Баранецька О. С. Моделювання напружено-деформованого стану металевого стрижневого каркасу геодезичного куполу для раціонального проектування. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. № 2. С. 17–25.
2. Попов В. О., Баранецька О. С., Мицик Т. С. Стійкість тонкостінних купольних систем проти вітрових навантажень. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. Вінниця : ВНТУ, 2023. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/items/6ce7bac3-82f6-45bd-9fca-2596bb28cfd8
3. ДСТУ-Н Б EN 1990:2008. Настанова. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT). Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 57 с.
4. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Київ : Мінрегіон України, 2014. 199 с.

Грошовенко Аліна Сергіївна — магістр, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: groshovenko.alina@gmail.com.

Попов Володимир Олексійович — доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: popov@vntu.edu.ua.

Alina Serhiivna Hroshovenko — Master's degree, Department of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: groshovenko.alina@gmail.com.

Volodymyr Oleksiyovych Popov — Associate Professor, Department of Industrial and Civil Construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: popov@vntu.edu.ua.