

УДК 624.074

ДОСЛІДЖЕННЯ НАТУРНОЇ 35-МЕТРОВОЇ АРКИ ЯК ЕЛЕМЕНТА КУПОЛА

*І. Добрянський, д.т.н.
Львівський національний аграрний університет
Ю. Вибранець, інженер-проектувальник
ТзОВ Спецпроектбуд*

Постановка проблеми. Важливим шляхом вирішення будівельних проблем і зменшення матеріаломісткості будівництва є застосування просторових конструкцій. Підвищення ефективності таких конструкцій дає змогу ще ефективніше використати їх переваги. Рациональний перерозподіл зусиль від власної ваги купола дозволяє покращити його роботу. А враховуючи те, що власна вага залізобетонних конструкцій становить істотну частку всіх навантажень, ефективний її розподіл значно поліпшує роботу конструкції на експлуатаційній стадії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню залізобетонних складчастих куполів присвячена праця [3]. Дослідження проводили на реальному 42,4-метровому куполі в м. Шепетівці. Враховуючи складність проведення досліджень в умовах реальної великопротітної просторової конструкції, складність довантаження, неможливість доведення будівлі до руйнівних навантажень, наше дослідження потребує доопрацювання.

Праця [4], навпаки, досліджувала масштабну модель купола. Незважаючи на те, що отримана схема руйнування і визначені руйнівні зусилля, масштабний фактор теж залишає певні питання.

У праці [2] автори дають теоретичне обґрунтування проведеним дослідженням.

Постановка завдання. У процесі досліджень необхідно: включити в роботу складки відповідно до їх роботи у складі купола на різних етапах спорудження; встановити зусилля в складках і їх деформативність; підтвердити ефективність попереднього регулювання зусиль.

Виклад основного матеріалу. Ребристий купол за розрахунку на вертикальне осесиметричне навантаження може бути розбитий на окремі плоскі арки, кожна з яких сприймає навантаження зі своєї вантажної площі [1]. За шарнірного прикріплення ребер до верхнього опорного кільця і невеликого його діаметра можна вважати, що ребра працюють як тришарнірні арки.

За розрахунку купола на горизонтальне вітрове або несиметричне вертикальне навантаження розрахункову схему можна подати так (рис. 1).

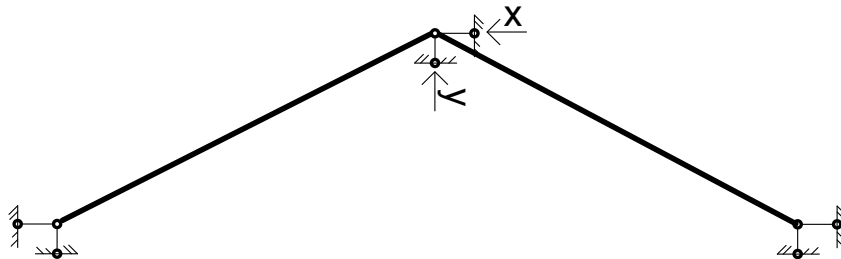


Рис. 1. Розрахункова схема купола за осесиметричного навантаження.

Якщо розпір сприймається розпірним кільцем, то воно може бути замінене умовною затяжкою, що знаходиться в площині арки, і її пружні деформації дорівнюють пружним деформаціям кільця в діаметральному напрямку. Верхнє опорне кільце теж має свої деформації. Враховуючи пружність і складний характер його роботи, розрахункову схему можна показати так (рис. 2).

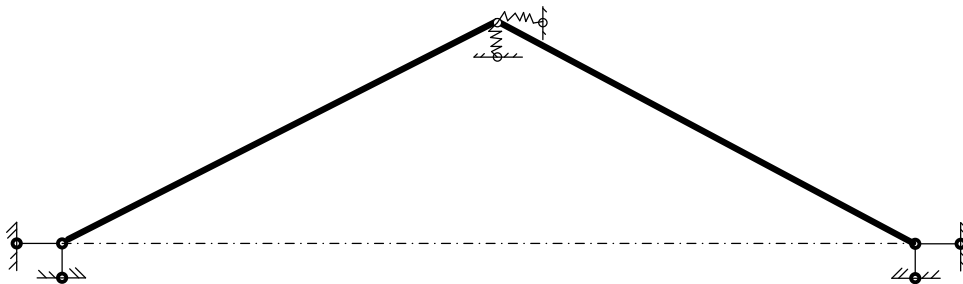


Рис. 2. Розрахункова схема купола з урахуванням податливості верхнього опорного кільця.

У Львівському політехнічному інституті запропонована і реалізована конструкція збірних складчастих залізобетонних куполів діаметром 42,4 м. Конструктивно купол складається з ребристих залізобетонних пірамідальних трапецієподібних у плані складок, які шарнірно опираються на нижнє металеве кільце та жорстко зв'язуються з верхнім монолітним сталобетонним. Тонкостінні ребристі 18-тиметрові складки завширшки від 0,5 до 3 м мають із вузького торця суцільні ділянки довжиною 1,75 м, завдяки чому купол, зібраний з них, поділяється на складчасту і суцільну частини. Поперечна жорсткість складок мала, кільцеві зусилля, що виникають у складчастій частині купола, незначні, і під час розрахунку ними можна знехтувати. Суцільна частина купола спроможна сприймати стискальні кільцеві зусилля, але через відсутність відповідних в'язів у стиках між складками не сприймає розтягувальних.

На різних етапах зведення купола його елементи працюють за різними статичними схемами [5], і кінцевий їх напружений стан значною мірою залежить від послідовності робіт з омоноличування купола та зняття його з монтажної опори.

Для перевірки роботи купола проведено дослідження 35,2-метрової арки як його фрагмента. Конструктивно арка складалася з двох 18-метрових складок, які використовувалися для спорудження куполів у м. Хмельницьку. Складки тонкостінні, з поздовжніми і поперечними ребрами. Широкими (нижніми) частинами складки встановлювалися на фундаментні блоки і через металеві траверси стягувалися затяжками з двох стрижнів арматури А400С діаметром 28 мм. Жорсткість затяжок відповідала жорсткості металевого кільця реального купола. Вузкими (верхніми) частинами складки опиралися на центральну башту, складену також з фундаментних блоків. Нахил складок відповідав їх ухилу в куполі. В коньковій частині встановлений авторський металевий вузол, який скріплює складки в арку і давав змогу створювати різні конструктивні схеми у процесі проведення експерименту (рис. 3).

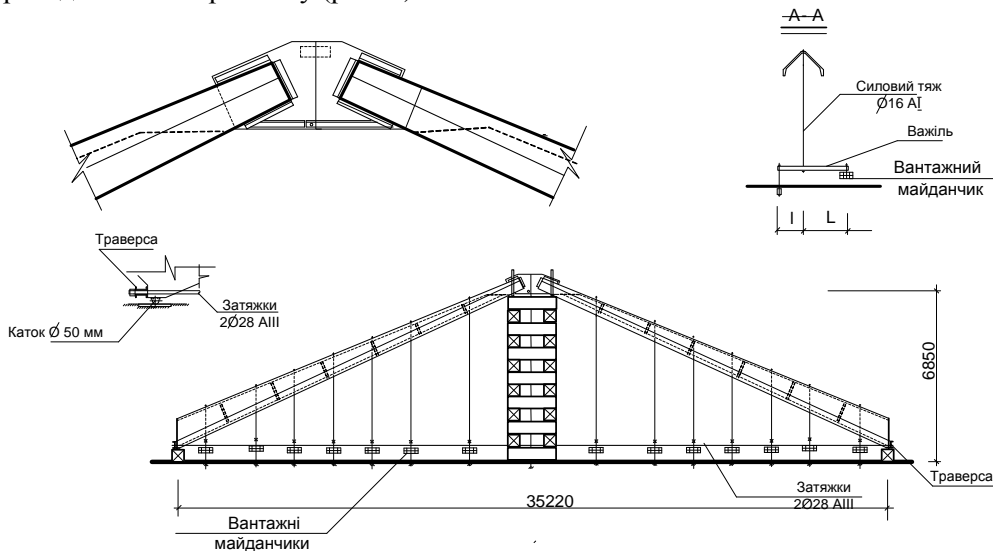


Рис. 3. Конструкція дослідної установки.

Класично залізобетонні складчасті куполи монтуються в одну стадію. Складки встановлюються на опорні столики верхнього і нижнього опорних кілець, шви між ними обетонуються і центральна опора знімається. Автори пропонують двостадійну схему. Після монтажу складок на певній відстані від верхнього кільця обетонується монолітне кільце завширшки 0,5 м. За плавного опускання купола за допомогою спеціальних клинових опор кільце включається в роботу, сприймаючи розпір, але не перешкоджаючи провороту складок, тобто працює як шарнір. І дві протистоячі складки в куполі можна розглядати як тришарнірні арки. Конструкція в цілому статично визначена. Зусилля від власної ваги раціонально розподіляються в ній. За рахунок виникнення від'ємних моментів на шарнірах пролітні моменти зменшуються. Враховуючи те, що власна вага утворює значну частку всього навантаження залізобетонних конструкцій, раціональний розподіл її

суттєво покращує роботу конструкції загалом. Окрім того, під час роботи купола в режимі тришарнірної арки вибирають неминучі технологічні зазори між складками й опорними кільцями, і ці деформації не погіршують розподіл зусиль у куполі.

На додаткове навантаження купол працює як статично невизначена система. Для цього шви між складками і між складками і внутрішнім кільцем повністю омонолічуються. Конструктивно його можна розглядати як двошарнірну арку.

Для відтворення зазначених стадій роботи купола авторський коньковий купол забезпечував роботу конструкції як шарнірно (шарнір розташований на рівні тимчасового омоноліченого кільця в реальному куполі і забезпечувався встановленням металевго пальця діаметром 40 мм), так і жорстко (пластини вузла зварювали металевими кутниками).

Під час дослідження замірювалися прогини в семи перерізах і відносні деформації бетону арки за поздовжніми і поперечними ребрами.

Завантаження арки здійснювали 16-ма зосередженими силами, еквівалентними рівномірно розподіленому навантаженню в реальному куполі. Зусилля передавалося через металевий тяж, пропущений через стик між складками, і траверсу, закріплену одним кінцем у силовій підлозі і завантажену іншим вантажним майданчиком. Плечі траверси підібрані таким чином, що навантаження на кожному етапі на всіх майданчиках було приблизно однакове, а зусилля на арку відповідало розрахунковому.

На першому етапі складки, оперті на тимчасові опори, працювали як похилі балки. Підтяжкою гайок на затяжках стріла підйому збільшувалася, і конструкція підіймалася над центральною опорою, перетворюючись на тришарнірну арку. Після десятихвилинної витримки знімали відліки з приладів. Металеві пластини конькового вузла зварювали і арка перетворювалася в двошарнірну. У такому стані конструкція довантажувалася додатковим навантаженням. Завантаження здійснювалося силами по 1/10 від розрахункової. Один з етапів дослідження показано на рис. 4.

Після встановлення складок на центральну опору, останні, працюючи за балковою схемою, від власної ваги мали нормальні тріщини на ділянці приблизно 4 м за довжиною, починаючи від 2-х м від вузького торця. Максимальна ширина розкриття цих тріщин складала 0,15 мм. Після того, як складки запрацювали в складі арки в розпір від власної ваги, вказані тріщини повністю закрилися, не відкриваючись до розрахункового навантаження. При цьому фактичний момент тріщиноутворення був більший від розрахункового на 10%.



Рис. 4. Загальний вигляд проведення експерименту.

Максимальний прогин арки від експлуатаційного навантаження склав 9,02 мм, що становить $1/1766 \ll [f]=1/600 l$ і знаходився на відстані 5,76 м від вузького торця.

Після витримки під розрахунковим навантаженням протягом 12-ти годин навантаження арки продовжили до 2,77 розрахункового (без врахування власної ваги). При цьому в арці будь-яких руйнувань і недопустимих деформацій виявлено не було, а ширина розкриття тріщин нормальних до поздовжньої осі арки не перевищувала 0,2 мм.

Після витримки протягом двох годин навантаження з однієї половини арки було знято, водночас арка виявилася завантаженою одностороннім навантаженням, яке становило 2,8 розрахункового значення одностороннього навантаження (без урахування власної ваги).

Зазначене одностороннє завантаження не викликало будь-яких руйнувань, або недопустимих деформацій арки, а ширина розкриття тріщин не перевищувала 0,25 мм.

Висновки. Проведені дослідження дали змогу максимально наблизити роботу складок до їх роботи в складі купола на всіх етапах його спорудження і експлуатації та підтвердили ефективність регулювання зусиль у куполі двостадійним омонолічуванням.

За міцністю, жорсткістю і тріщиностійкістю пірамідальні складки в складі купола задовольняли вимоги ДБН і можуть бути рекомендовані до застосування в будівництві.

Бібліографічний список

1. Храмов В. П. Особливості розрахунку залізобетонних пірамідальних складок / В. П. Храмов, Ю. М. Вибранець // *Budownictwo I inzynieria srodowiska. Z 32 Aktualne problemy budownictwa I inzynierii srodjwiska.* – Rzeszow, 2000. – С. 53-57.
2. Добрянський І. М. Регулювання зусиль у збірних складчастих залізобетонних куполах на стадії їх спорудження / І. М. Добрянський, Ю. М. Вибранець // *Вісник Львівського*

національного аграрного університету : архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2010. – № 11. – С. 77-84.

3. Храмцов В. П. Дослідження збірно-монолітного купола в м. Шепетівка / В. П. Храмцов, Р. В. Лісоцький // Вісник державного університету «Львівська політехніка» : Резерви прогресу в архітектурі та будівництві. – 1993. – № 271. – С. 100-103.

4. Храмцов В. П. Дослідження моделі фрагмента купола / В. П. Храмцов, Ю. М. Вибранець, О. Ю. Царинник // Вісник Львівського державного аграрного університету : архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 1996. – С. 166-171.

5. Вибранець Ю. М. Особливості методики розрахунку складчастих збірно-монолітних залізобетонних куполів / Ю. М. Вибранець // Вісник Львівського державного аграрного університету : архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2006. – № 7. – С. 74-77.

Добрянський І., Вибранець Ю. Дослідження натурної 35-метрової арки як елемента купола

Подано результати дослідження 35-метрової залізобетонної арки як складової частини складчастого купола. Експериментально доведено відповідність складок, з яких утворена арка, вимогам ДБН, і ефективність проведення попереднього регулювання зусиль у куполі на стадії його спорудження.

Ключові слова: складки, арка, купол, перерозподіл зусиль у куполі.

Dobriansky I., Vybranets Yu. Study full-scale 35-meter arches as part of the dome

The results of the study 35-meter arches as part of the folded ribbed dome. Experimentally established force in the folds of the arch of the operational and rated load and stiffness. Confirmed the effect of the pre-redistribution efforts in the dome.

Key words: ruffles, arch, dome redistribution effort.

Добрянский И., Выбранец Ю. Исследование натурной 35-метровой арки как элемента купола

Приводятся результаты исследования 35-метровой арки как элемента ребристого складчатого купола. Экспериментально установлены усилия в складках арки от эксплуатационной и расчетной нагрузки и их жесткость. Подтвержден эффект предварительного перераспределения усилий в куполе.

Ключевые слова: складка, арка, купол, перераспределение усилий.