

УДК 624.074

РЕГУЛЮВАННЯ ЗУСИЛЬ У ЗБІРНИХ СКЛАДЧАСТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КУПОЛАХ НА СТАДІЇ ЇХ СПОРУДЖЕННЯ

*І. Добрянський, к.т.н.,
Львівський національний аграрний університет,
Ю. Вибранець, ст. викладач
Національний університет “Львівська політехніка”*

Ключові слова: купол, складки, арка, епюра моментів, перерозподіл зусиль, результуюча епюра.

У спорудах критих ринків в м. Івано-Франківську, Хмельницькому і Шепетівці застосовані збірні залізобетонні складчасті куполи діаметром 42,4 м. Під час спорудження в куполах проводилися попереднє регулювання зусиль. На першій стадії у суцільній частині складок бетонували вузьке кільце шириною 500 мм. Воно працювало як шарнір, а купол як тришарнірна арка. Відбувався перерозподіл зусиль від власної ваги. На корисне навантаження повністю обетонований купол працював як двошарнірна арка.

Постановка проблеми. Раціональний розподіл зусиль від власної ваги конструкцій і корисного навантаження дозволить ефективніше експлуатувати існуючі споруди і проектувати нові.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робота просторових складчастих конструкцій досліджена недостатньо. Розроблена методика виготовлення конструкцій із “сухими стиками”, подальшого дослідження потребує робота конструкцій та їх розрахунок. Дослідження О. Царинника дещо розкрили характер роботи збірних складчастих куполів, впливу кільцевих зусиль, що виникають у конструкції, але залишилося відкритим питання ефективного перерозподілу зусиль.

Постановка завдання. Метою нашого дослідження є теоретичний аналіз перерозподілу зусиль у куполі на стадії його спорудження і практичне підтвердження можливості та ефективності такого перерозподілу в дослідженні моделей купола і натурних куполів.

Виклад основного матеріалу. Кафедра будівельних конструкцій і мостів Національного університету “Львівська політехніка” запропонувала конструкцію збірних залізобетонних складчастих куполів діаметром 42,4 м. Куполи застосовані в будівлях критих ринків в м. Івано-Франківську, Хмельницькому і Шепетівці (всього 5 куполів). Критий ринок в м. Івано-

Франківську – споруда, в центральній частині якої залізобетонний збірний складчастий купол, а ззовні влаштовано кільцеве покриття другого рівня діаметром 80 м. Споруда ринку у м. Хмельницькому складається з трьох зблокованих куполів, об'єднаних блоком обслуговування. Критий ринок у Шепетівці – окремо стоячий купол.

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 залізобетонним. Тонкостінні ребристи 18 метрові складки – шириною від 0,5 до 3 м. Складки зі “сухими стиками” бетонують у плоскому стані і проектну складчасту форму отримують при підйомі з форми [1]. Із вузького торця складки мають суцільні ділянки довжиною 1,75 м, завдяки чому купол, зібраний з них, поділяється на складчасту і суцільну частини. Поперечна жорсткість складок мала незначні кільцеві зусилля, що виникають у складчастій частині купола незначні, і в розрахунку ними можна знехтувати [3]. Суцільна частина купола може сприймати стискальні кільцеві зусилля, але не сприймає розтяжних. Зовнішнє металеве кільце купола змонтоване на колонах, розташованих по колу з кроком 6 м. Під час спорудження внутрішнє кільце монтували на тимчасову металеву решітчасту опору.

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

До омонолічування змонтовані складки опираються широкими торцями на нижнє кільце, а вузькими – на тимчасову монтажну опору (рис. 1, стадія 0). На навантаження від власної ваги складки працюють незалежно як однопролітні шарнірно-оперті похилі балки (рис. 1, а) [2]. Омонолічування, подальше навантаження та експлуатація купола можуть бути виконані в одну або декілька стадій.

Одностадійне омонолічування, яке зараз широко застосовують, фіксує попередній напружено-деформований стан складок. Після монтажу всіх складок шви між ними обетонують, у шви між складками вузької частини встановлюють арматурні каркаси і омонолічують разом із внутрішнім кільцем. Повністю обетонований купол після опускання монтажної опори на зовнішні навантаження працює як ребристий. Усунення монтажної опори еквівалентне прикладанню до купола навантаження, рівного опорній реакції цієї опори і протилежного їй за напрямом.

У розрахунку ребристий купол розглядають як систему арок, що складаються з двох жорстко з'єднаних поверху діаметрально розташованих складок з умовною зтяжкою, жорсткість якої еквівалентна жорсткості

нижнього опорного кільця [4]. На рис. 1, б подана розрахункова схема та епюра згинальних моментів у складках купола від постійного та рівномірно розподіленого снігового навантаження за одностадійного омонолічування. Як видно з епюри, в місцях з'єднання складок із верхнім кільцем не виникає від'ємних згинальних моментів, а отже, не виникає й стискальних кільцевих зусиль, що дає підстави розглядати купол ребристим як на складчастій, так і на суцільній частинах. За одностадійного омонолічування на роботу купола суттєво впливають горизонтальні переміщення зовнішніх опор складок, які виникають після усунення монтажної опори і зумовлені наявністю технологічних зазорів між торцями складок і нижнім опорним кільцем. Отже, розрахунок купола, споруджуваного за такою схемою, дає занижені значення згинальних моментів, оскільки не враховує цих зазорів. Їх розмір залежить від технологічних чинників і може змінюватися в широких межах.

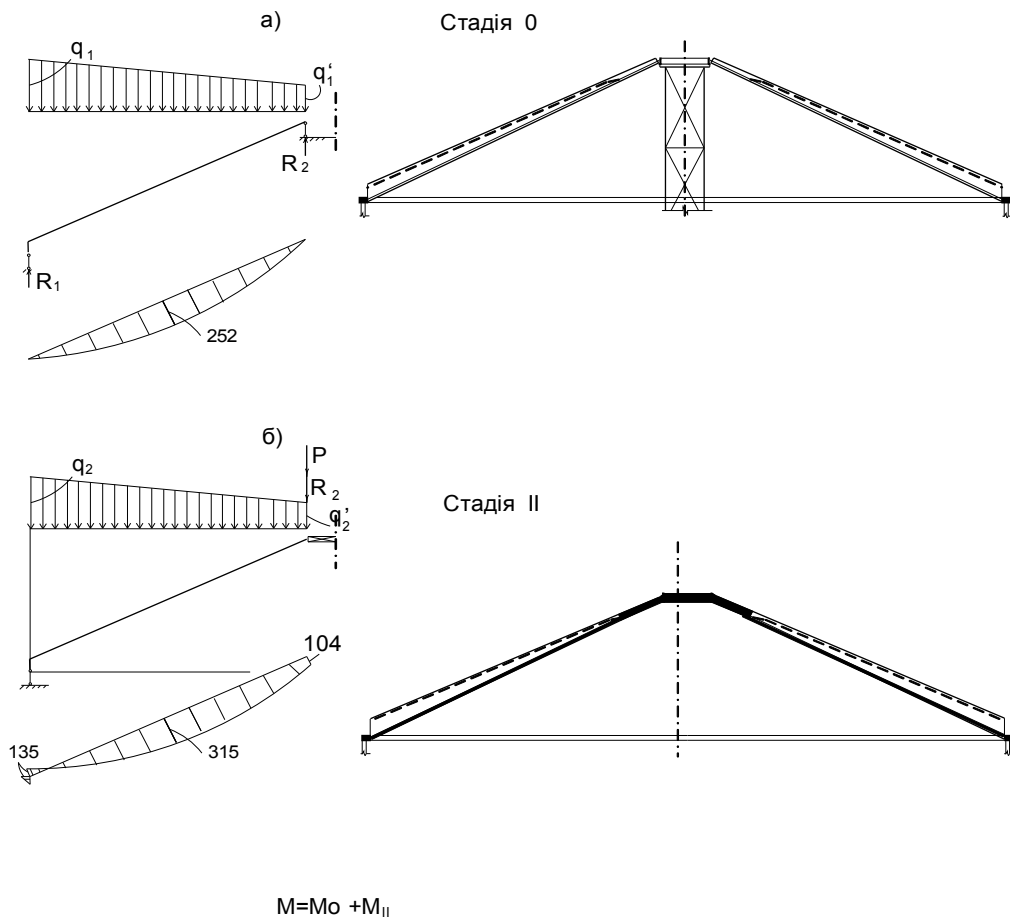


Рис. 1. Зусилля в куполі за обетонування в одну стадію:

- а) змонтовані складки вільно опираються за балковою схемою на внутрішнє і зовнішнє опорні кільця, розрахункова схема і епюри згинальних моментів;
- б) повністю обетонований купол знятий з центральної монтажної опори, розрахункова схема та епюри згинальних моментів.

Результуючий момент становить суму балкових моментів у складках від власної ваги і моментів у двохшарній арці від додаткового навантаження плюс моменти, які виникають від вибирання технологічних зазорів, розмір яких загалом визначити складно.

Для запобігання негативному впливу неминучих монтажних зазорів, кращого залучення складок у просторову роботу та раціонального розподілу зусиль застосували двостадійне обетонування купола. Ідея двостадійного омонолічування полягала в тому, щоб під час монтажу одержати статично визначену конструкцію з вигідним розподілом згинальних моментів у складках і потім зафіксувати такий розподіл у статично невизначеній конструкції, якою є повністю змонтований купол із замоноліченими швами між складками та бетонованим верхнім опорним кільцем. Крім того, якщо частково опустити центральну монтажну опору в момент, коли купол ще є статично визначеною конструкцією, можна досягти ущільнення зазорів та обтиску швів без їх негативного впливу на розподіл зусиль в елементах купола.

На першій стадії омонолічують шви між складками на ділянці довжиною 500 мм, розташованій на віддалі 1,5 м від вузького торця складки. Після досягнення бетоном достатньої міцності центральну монтажну опору опускають. На другій – замонолічують верхнє опорне кільце й остаточно омонолічують шви між складками. Омонолічені на першій стадії ділянки швів разом зі складками (суцільною їх частиною) працюють як верхнє опорне кільце, яке сприймає розпір, але не перешкоджає повороту складок. Конструкція загалом працює як ребристий купол із шарнірним з'єднанням складок-ребер із нижнім опорним кільцем. Верхнім опорним кільцем виступає обетонувана між складками ділянка. У розрахунку такий купол замінюють на систему статично визначених арок (рис. 2,а, стадія І). Деформації, спричинені ущільненням зазорів між торцями складок і нижнім кільцем у такому разі на розподіл зусиль не впливають. На першій стадії в перерізах складок на омонолічених ділянках від навантаження від власної ваги виникають від'ємні згинальні моменти, в результаті чого зменшується значення прогінних моментів.

Після виконання другої стадії омонолічування на зовнішні навантаження суцільна частина купола працює як купол-оболонка, а складчаста – як ребристий купол. Зважаючи на те, що суцільна частина має

значну товщину і відносно малий діаметр, купол загалом можна розраховувати як ребристий, замінивши суцільну частину жорстким диском. На рис. 2, а і б показані конструктивні і розрахункові схеми та епюри згинальних моментів у складках купола за двостадійного омонолічування. Результуюча епюра складається з суми моментів на I і II стадіях.

З порівняння сумарних епюр згинальних моментів у складках за одностадійного і двостадійного омонолічування видно, що двостадійне омонолічування дозволило суттєво (на 21%) зменшити максимальне значення згинальних моментів у складках. Оскільки власна маса складок є основним навантаженням, раціональний розподіл зусиль від неї суттєво поліпшує роботу купола.

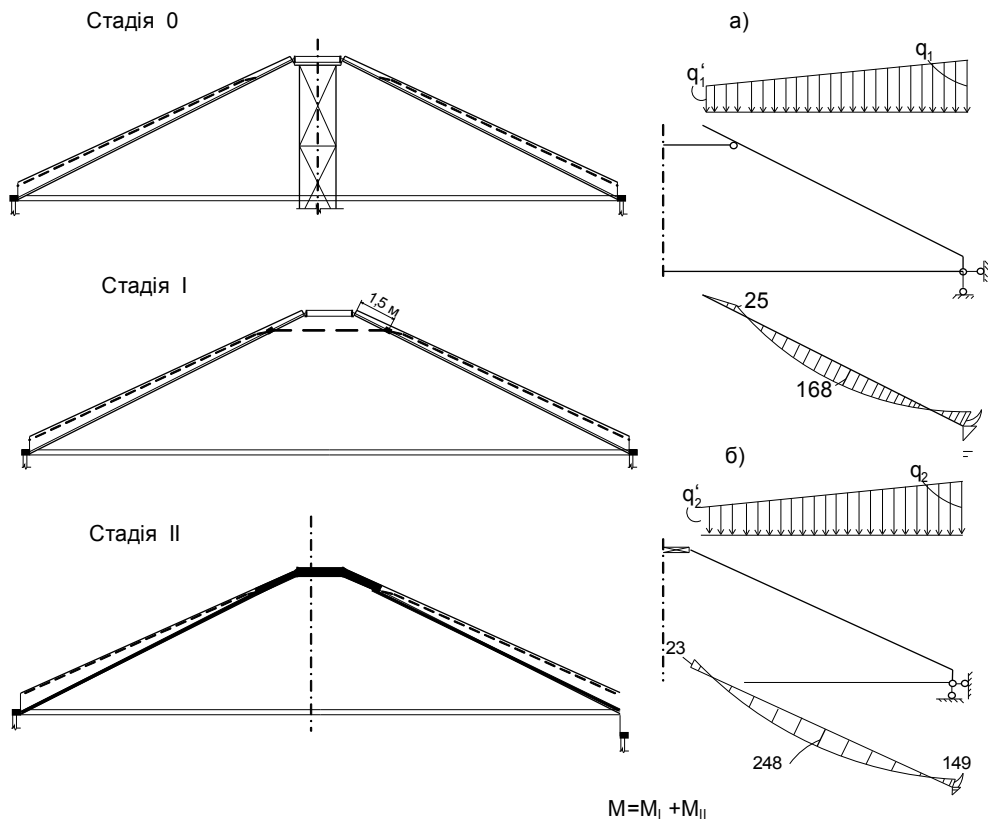


Рис. 2. Регулювання зусиль у куполі за його зведення у дві стадії: а) розрахункова схема та епюра моментів на 1-й стадії; б) навантаження, розрахункова схема та епюра моментів на 2-й стадії.

Для перевірки такої теорії і підтвердження ефективності попереднього регулювання зусиль у куполах проведено низку експериментів на моделях, фрагменті купола і натурних куполах.

Для моделювання купола виготовлено і досліджено серію фрагментів у масштабі 1:10. Фрагменти купола – це арка з двох залізобетонних складок-моделей, об'єднаних у вузьких торцях металевими оголовками, а в широких – металевими тяжами, еквівалентними зовнішньому опорному кільцю. Оголовки запроектовані таким чином, що дозволяли з'єднувати складки між собою як жорстко, так і шарнірно. Така модель давала змогу відтворювати обидві стадії монтажу купола – одностадійну і двостадійну. Модель завантажували системою важелів і тяжів таким чином, щоб зосереджені сили створювали навантаження, еквівалентне рівномірно розподіленому в реальному куполі. Проведено також дослідження натурального фрагмента купола, що складався з двох 18-метрових складок, об'єднаних в арку [5]. Складки аналогічні за конструкцією складкам купола, обрані з цієї самої партії і встановлені під тим самим кутом, що й в реальному куполі. Конструкція натурального фрагмента аналогічна досліджуваним моделям – металевий оголовок зверху і затяжки в широких торцях складок. Завантаження здійснювали зосередженими силами через систему важелів і тяжів із вантажними майданчиками. Досліджували фрагмент за схемою, що відповідала двостадійному спорудженню реальних куполів – тришарнірна арка за дії власної ваги конструкцій і двошарнірна на додаткове навантаження.

Також досліджували натурні куполи критих ринків під час їх спорудження (всього 5 куполів).

Висновки. Дослідження моделей фрагментів купола, натурального фрагмента купола й натурних куполів на стадії спорудження підтвердили можливість проведення попереднього регулювання зусиль у куполах та їх ефективність.

Бібліографічний список

1. Храмцов В. П. Разработка и исследование железобетонных призматических складок, бетонируемых в плоском состоянии: дис. канд. техн. наук : 05.23.01/ Храмцов Виктор Петрович. – Львов, 1974. – 247 с.
2. Храмцов В. П. Исследование сборной железобетонной складки / Виктор Храмцов, Юрий Выбранец // Вестник Львовского политехнического института : Резервы прогресса в архитектуре и строительстве. – 1990. – 1990. - № 243.
3. Храмцов В. П. Врахування кільцевих зусиль при розрахунку куполів із залізобетонних складок з сухими стиками / Віктор Храмцов, Олег Царинник // Вісник ДУ “Львівська політехніка”: Теорія і практика будівництва. – 1996 – №300 – С. 141-145.
4. Храмцов В. П. Дослідження роботи залізобетонних складчастих куполів / В.П. Храмцов, Ю.М. Вибранець, О.Ю.Царинник // Механіка і фізика руйнування

будівельних конструкцій : матеріали II Міжнародного симпозіуму – Львів : Слово і Комерція, 1996. – С. 432-433.

5. Храмцов В. П. Дослідження фрагмента складчастого купола / В.П. Храмцов, Р. В. Лісоцький, Ю. М. Вибранець // Проблеми теорії і практики будівництва : Вісник ДУ “ Львівська політехніка”: .– 1997. – Т.IV. – С. 131-138.

Добрянский И., Выбранец Ю. Регулирование усилий в сборных железобетонных складчатых куполах на стадии их сооружения

В зданиях крытых рынков г. Ивано-Франковска, Хмельницкого и Шепетовки применены сборные железобетонные складчатые купола диаметром 42,4 м. Во время сооружения в куполах проводили предварительно регулировку усилий. На первой стадии в сплошной части складок бетонировалось узкое кольцо шириной 500 мм. Оно работало как шарнир, а купол как трехшарнирная арка. Происходило перераспределение усилий от собственного веса. На полезную нагрузку полностью обетонированный купол работал как двухшарнирная арка.

Ключевые слова: купол, складки, арка, эпюра моментов, перераспределение усилий, результирующая эпюра.

Dobryanskiy I., Vybranets Y. Adjusting of efforts in the combined teams plicate reinforced-concrete domes on the stage of their building

In buildings of the covered markets in c.c. Ivano-Frankivsk, Khmel'nytsk and Shepetivka, is applied the combined teams reinforced-concrete plicate domes diameter 42,4 m. During building in domes was conducted previous adjusting of efforts. On the first stage in continuous part of folds a narrow ring was concreted breadthways 500 mm. It worked as a hinge and dome was considered as a threehinging arch. The redistribution of efforts passed from own weight. On an actual load fully concreted dome worked as a twohinging arch

Key words: dome, folds, arch, epure of moments, redistribution of efforts, resulting epure.