

# АРХІТЕКТУРНА ФІЗИКА ТА КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.074.2

Д.Г. Гладишев, Г.М. Гладишев\*, І.З. Бутринський \*\*  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра архітектурних конструкцій  
\*кафедра будівельних конструкцій та мостів  
\*\*кафедра мостів та будівельної механіки

## КОНСТРУКТИВНЕ ВИРІШЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ КУПОЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

© Дмитро Гладишев, Геннадій Гладишев, Ігор Бутринський, 2013

**Наведено приклад конструктивного вирішення ребристо-кільцевої купольної споруди, призначеної для складування вугілля на цементному заводі.**

**Ключові слова:** купол, секція купола, центральне кільце, центральна стійка.

**The example of constructive decisions of rib-ring structures, intended for the storage of coal at the cement plant.**

**Key words:** dome, section of the dome, the center ring, the central rack.

### Постановка проблеми

Вирішення питань раціонального використання енергетичних ресурсів за умов підвищення тарифів на енергоносії набули світового значення. Однією з найгостріших проблем сьогодення є питання економії енергоресурсів. Як один із способів їх заощаджування – використання альтернативних технологій на підприємствах. Частиною програми модернізації більшості підприємств є перехід на альтернативні види палива.

Для прикладу, на заводах з виробництва цементу для випалення шламу використовують газові печі. Для енергозаощаджування більшість таких заводів перейшли (повністю або частково) на вугільне паливо. Але такий перехід вимагає спорудження додаткових об'єктів (великих прольотів) для складування та безперебійного подавання вугілля у печі. У світовій практиці такі споруди прийнято виконувати купольної форми. Ефективність застосування купольних конструкцій порівняно з традиційними стійково-балковими системами зумовлена зниженням матеріалоємності тримального каркасу, зниженням трудомісткості монтажу, можливістю перекивати великі прольоти.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Простежуючи історію розвитку купольних покриттів, можна відзначити, що спочатку їх першочерговим завданням було перекриття великих просторових частин будівлі, але з часом вони придбали значення не тільки великопрольотної конструкції, але й естетичної прикраси міської та приміської забудови. Перші куполи застосовували переважно в храмових спорудах, але з появою нових і вдосконаленням існуючих будівельних матеріалів та технологій купольні конструкції почали широко використовуватись у спорудах іншого функціонального призначення [1–4].

Купольні конструкції до сьогодні володіють великою різноманітністю об'ємно-просторових форм, конструктивних рішень та технологій зведення (рис. 1). За конструктивним вирішенням купола розрізняють: ребристі, ребристо-кільцеві (можливо із зв'язками), сітчасті (геодезичні), пластинчасті (поясні), суцільні (куполи-оболонки); за формою – сферичні, еліптичні, стрілчасті та ін.; за матеріалом тримальної конструкції – металеві, залізобетонні, дерев'яні, полімерні; за технологією зведення – монолітні, збірно-монолітні, збірні.



*а*



*б*



*в*

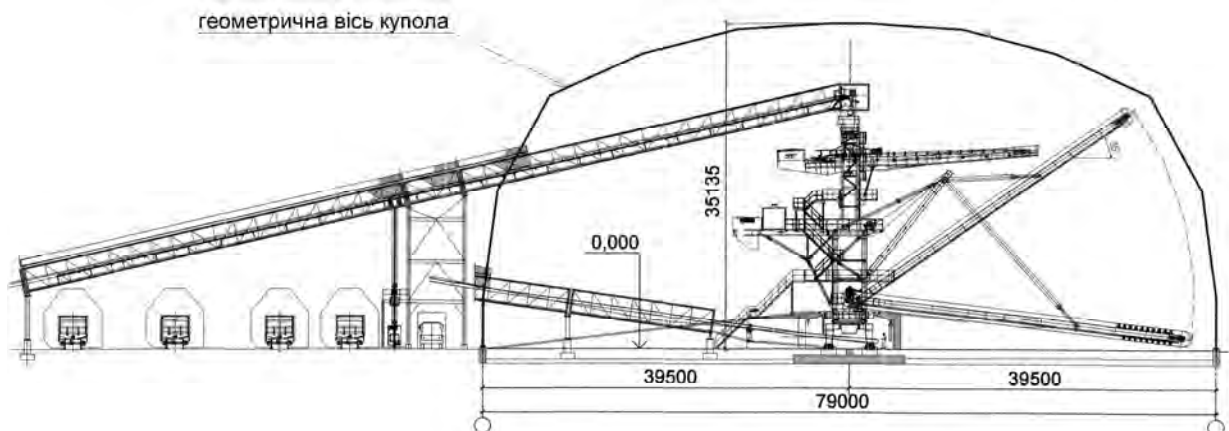
*Рис. 1. Форми та типи купольних конструкцій на підприємствах:  
а – суцільний монолітний залізобетонний;  
б – сітчастий металевий збірний; в – ребристо-кільцевий металевий збірний*

### **Мета та завдання досліджень**

У статті розглянено розроблення конструктивного вирішення складу вугілля купольної форми на Щуровському цементному заводі у м. Коломна Росії.

Згідно з поставленим завданням (технології складування та подавання вугілля, габаритів обладнання тощо), потрібно законструювати неопалювальну металеву купольну споруду із діаметром основи – 79,0 м, стрілою підйому – 35,1 м (рис. 2).

Для тримальних конструкцій купола запропоновано використовувати металопрокат з каталогу ОТУА. Покриття купола проектують металевим із профільованих сталевих листів. Ступінь вогнестійкості споруди IIIa (REI 60).



*Рис. 2. Геометричні параметри купольної споруди складу вугілля із технологічним обладнанням*

### Виклад основного матеріалу

Згідно з поставленим завданням, запроєктовано ребристо-кільцевий зв'язковий сегментний купол із 24-гранною циклічно-симетричною структурою. В плані купол має сегментну форму, описаним діаметром 79 м. Висота купола від позначки 0,000 до осі центрального кільця 35,135 м. По периметру розташовано шість воріт завширшки 5,0 м. На позначках 5,500 та 17,800 розташовані технологічні отвори, через які підходять конвеєрні галереї. Споруда не опалювальна. Покриття купола – прогонове, з профільованих сталевих листів. З внутрішнього боку, як вогнестійку обшивку використано сандвіч-панелі завтовшки 80 мм.

Каркас купола утворений радіальними полігональними ребрами-напіварками, горизонтальними полігональними кільцевими поясами та центральним кільцем. Ребра-напіварки об'єднані в основні секції (сегменти по  $15^\circ$ ). Дванадцять основних секцій (рис. 3, 4) розташовані з проміжками у  $15^\circ$ , в яких встановлені дванадцять монтажних секцій (рис. 3, 5). Кожна основна секція складається з двох блоків (монтажних), завдовжки 33,883 м та 25,521 м відповідно. Просторова жорсткість забезпечується вертикальними та похилими зв'язками по напіваркам та кільцевими поясами у п'яти рівнях. Вузли поєднання ребер-напіварок з фундаментами – шарнірні. Вузли поєднання ребер-напіварок з центральним кільцем та з горизонтальними кільцевими поясами – жорсткі.

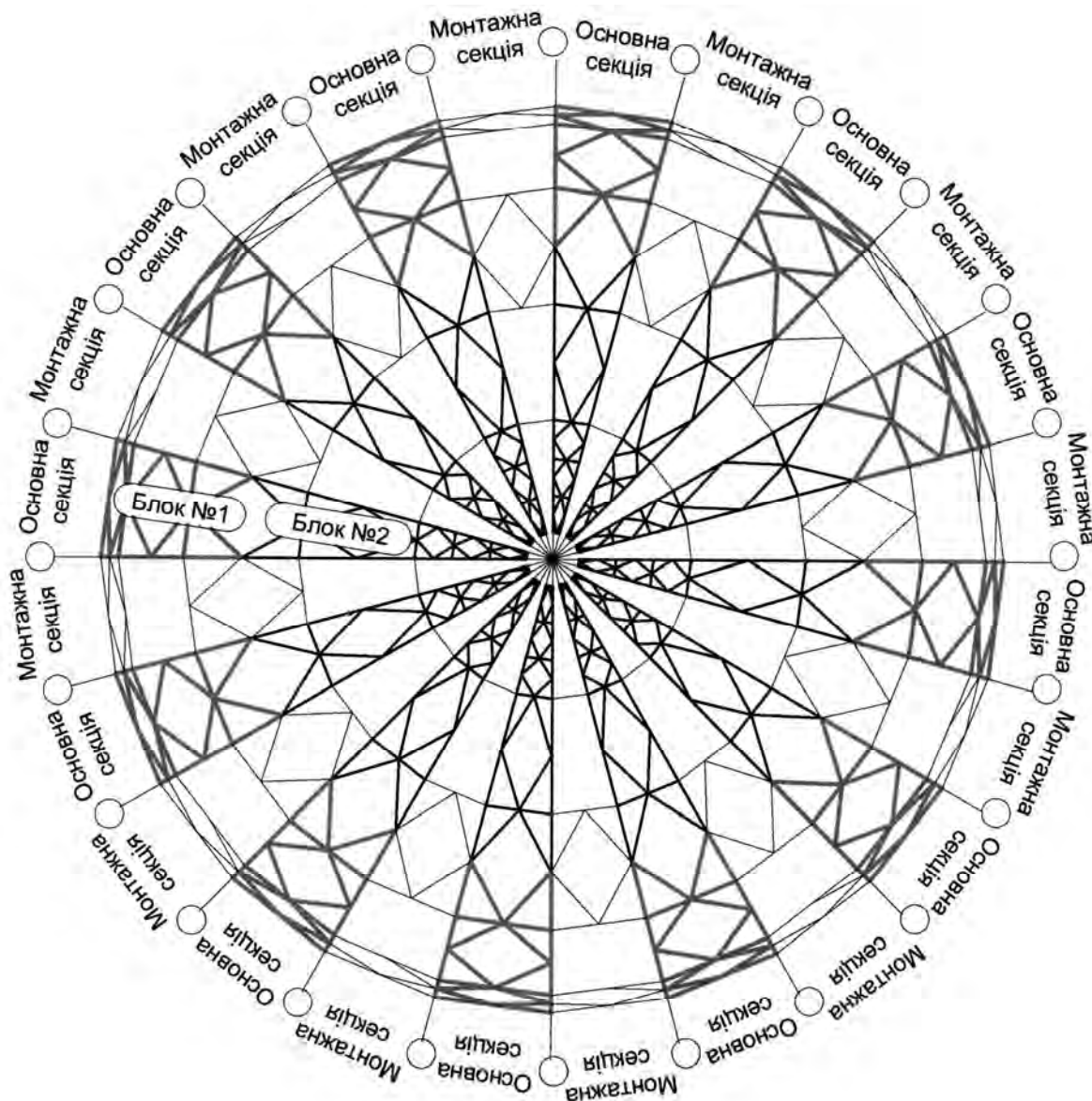


Рис. 3. План секцій ребристо-кільцевого зв'язкового купола

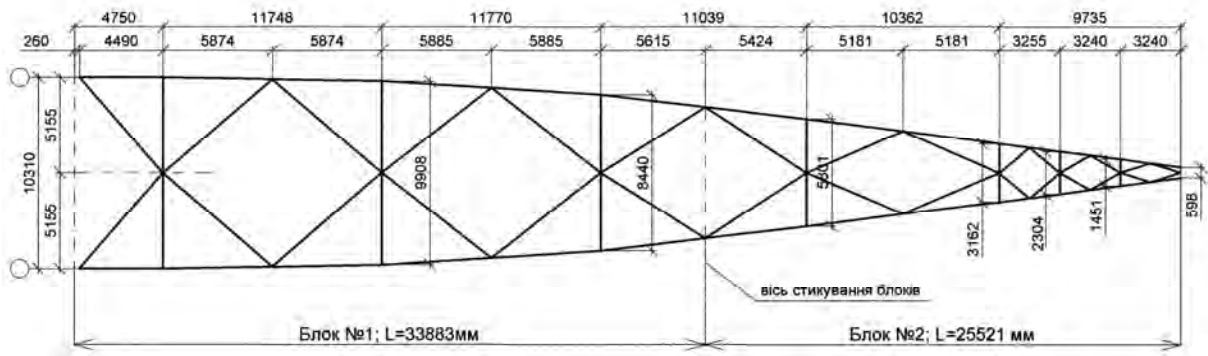


Рис. 4. Розгортка основної секції купола

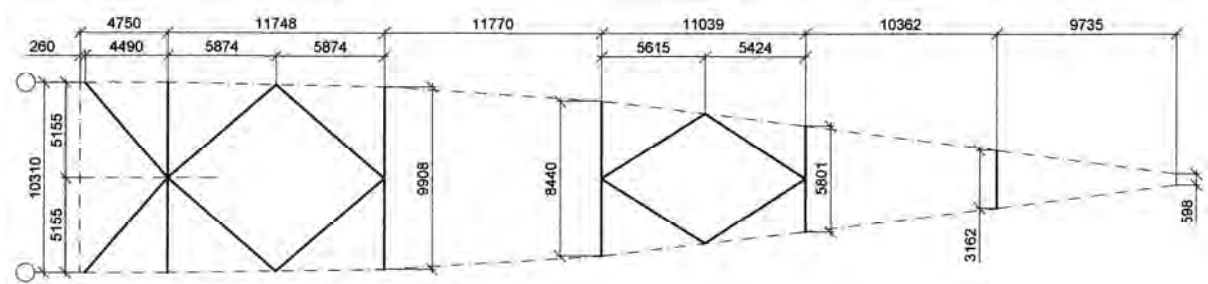


Рис. 5. Розгортка монтажної секції купола

Прогони для улаштування покриття встановлюються горизонтально по основним та монтажним секціям купола і розкріплюються зв'язками (рис. 6). В основних секціях прогони встановлюються перед монтажем усієї конструкції.

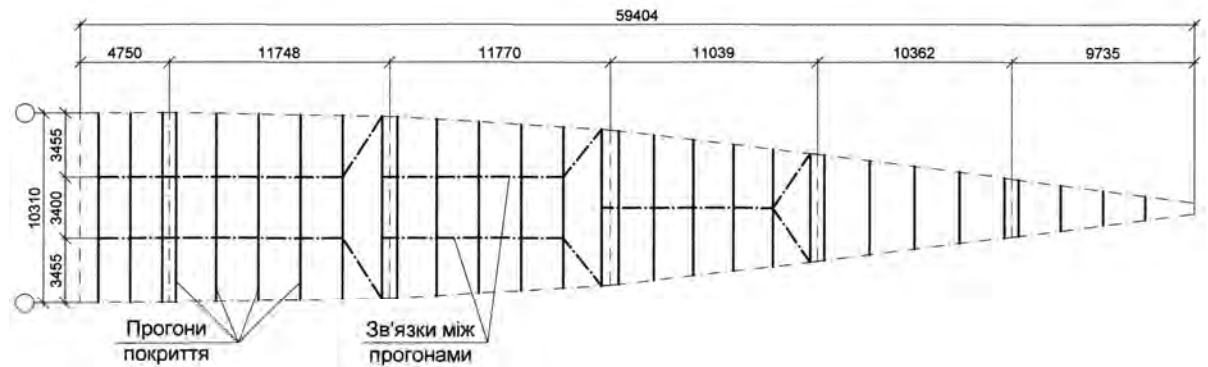


Рис. 6. Розгортка секції купола із розташуванням прогонів покриття

Ребра-напіварки (основні секції) у верхній частині купола об'єднуються в центральному кільці (рис. 7) зовнішнім діаметром 4,54 м. Вісь центрального кільця розташована на позначці +35,135 м.

Після проведеного розрахунку тримальних конструкцій купола (із урахуванням російських норм [5, 6]) для стадії експлуатації на підставі розроблених кінцево-елементних моделей з урахуванням нерегулярності типології каркаса біля прорізів були законструйовані основні елементи купола:

- ребра напіварок – сталеві прокатні балки двотаврового перерізу HEA 550 NF A 45-201 та IPE 550 NF A 45-205;
- кільцеві пояса – сталеві прокатні балки двотаврового перерізу HEA 340 NF A 45-201, HEA 450 NF A 45-201, HEA 500 NF A 45-201;
- зв'язки між ребрами-напіварками – сталеві прокатні трубчастого перерізу PIPE 219,1/4,5;

- прогони покриття – сталеві прокатні балки двотаврового перерізу HEA 180 NF A 45-201;
- зв'язки між прогонами – сталеві прокатні у вигляді тяжів суцільного круглого перерізу ISTAR D20.

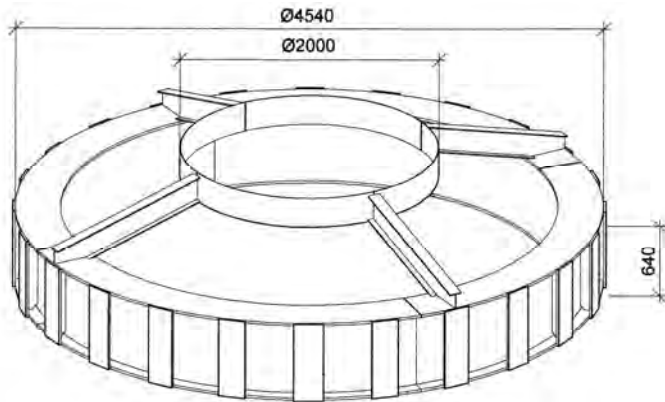


Рис. 7. Аксонометрична схема центрального кільця купола

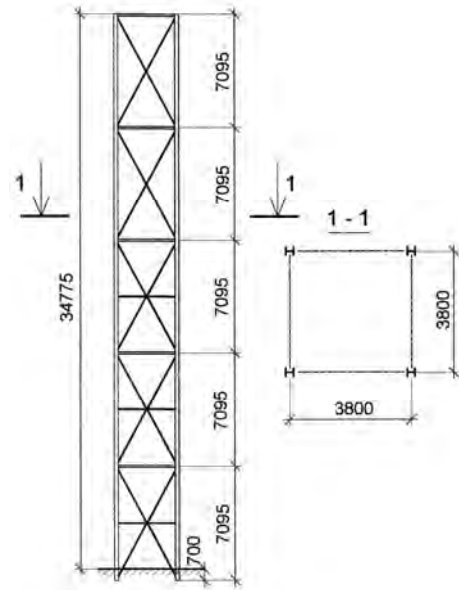


Рис. 8. Центральна монтажна стійка

Для монтажу елементів купола запроектовано тимчасову центральну монтажну стійку (рис. 8), на яку встановлюється центральне кільце (рис. 7). Монтаж основної секції купола виконується у два етапи (рис. 9):

– на першому етапі монтажу, нижню частину секції (блок № 1) шарнірно закріплюють до фундаменту (рис. 10) і піднімають у проектне положення;

– на другому – верхню частину (блок № 2) піднімають у проектне положення та жорстко закріплюють до центрального кільця і верхньої частини секції (блоку № 1) (рис. 11).

Після монтажу першої основної секції, симетрично, з протилежного боку, аналогічно монтується друга основна секція. Така послідовність зберігається під час монтажу усіх 12 основних секцій.

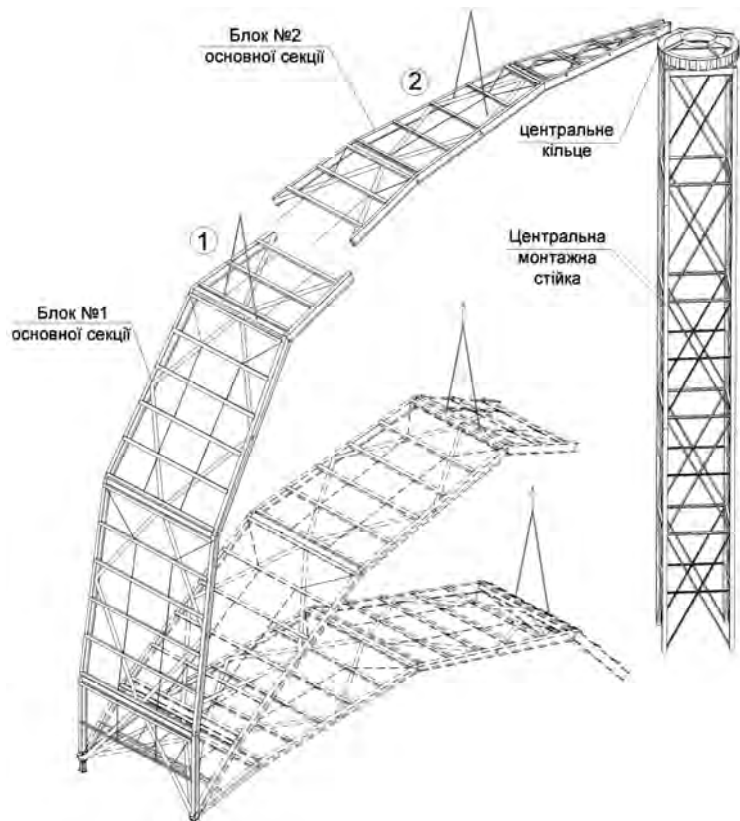


Рис. 9. Схема монтажу блоків основної секції купола

Після монтажу всіх основних секцій між ними улаштовуються монтажні секції (12 шт.) та прогони покриття по ним. Остаточо, коли всі секції купола зібрані та поєднані між собою, центральна монтажна стійка демонтується (рис. 12).

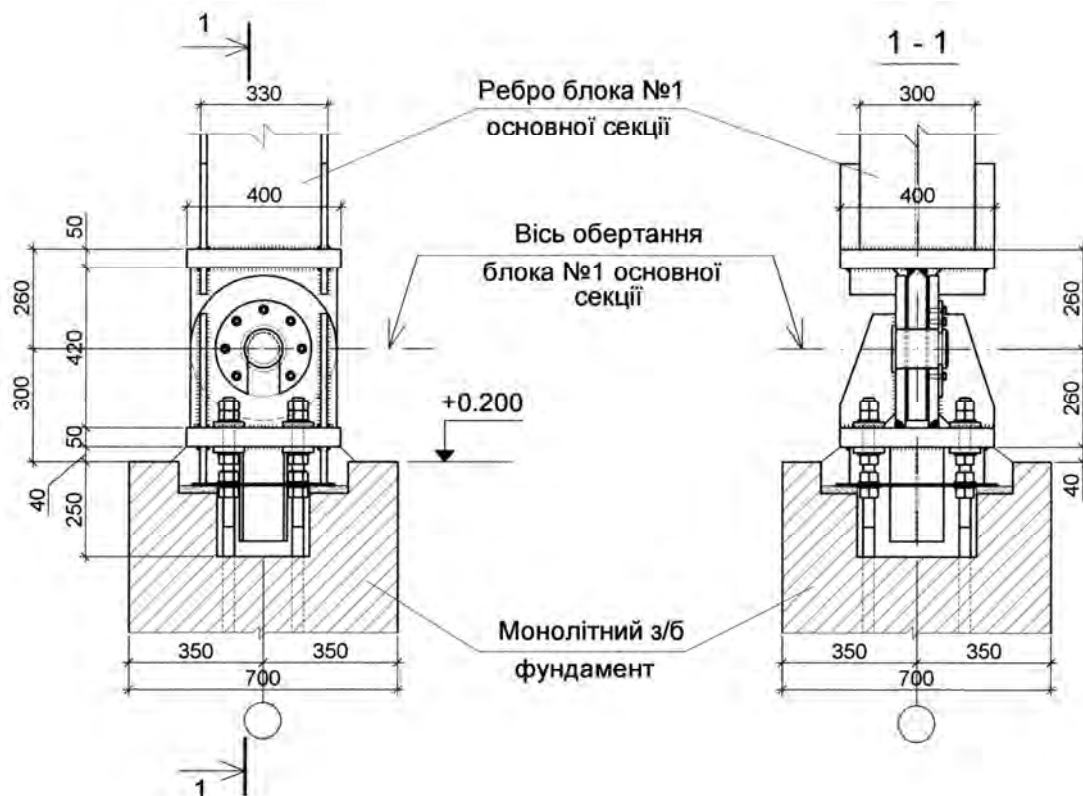


Рис. 10. Шарнірне кріплення ребер напіварок до фундаменту

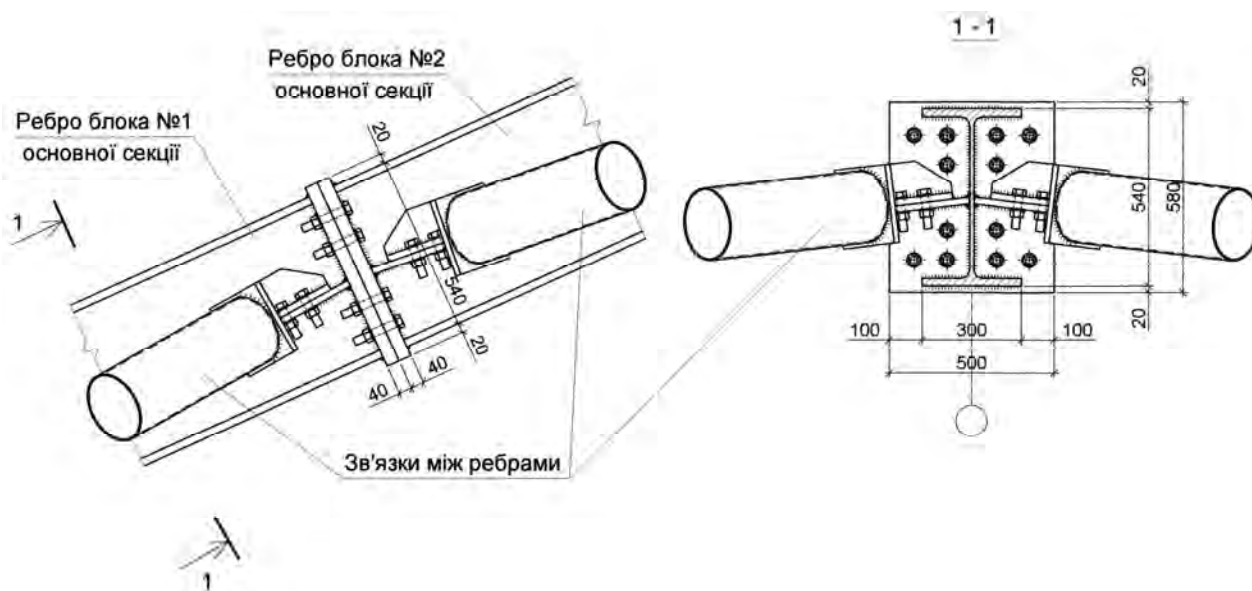


Рис. 11. Жорстке кріплення блоків № 1 та № 2 основної секції між собою

По змонтованому каркасу купола, із зовнішнього боку по прогонах закріплюють листи профільованого настилу, а з внутрішнього – сандвіч-панелі.

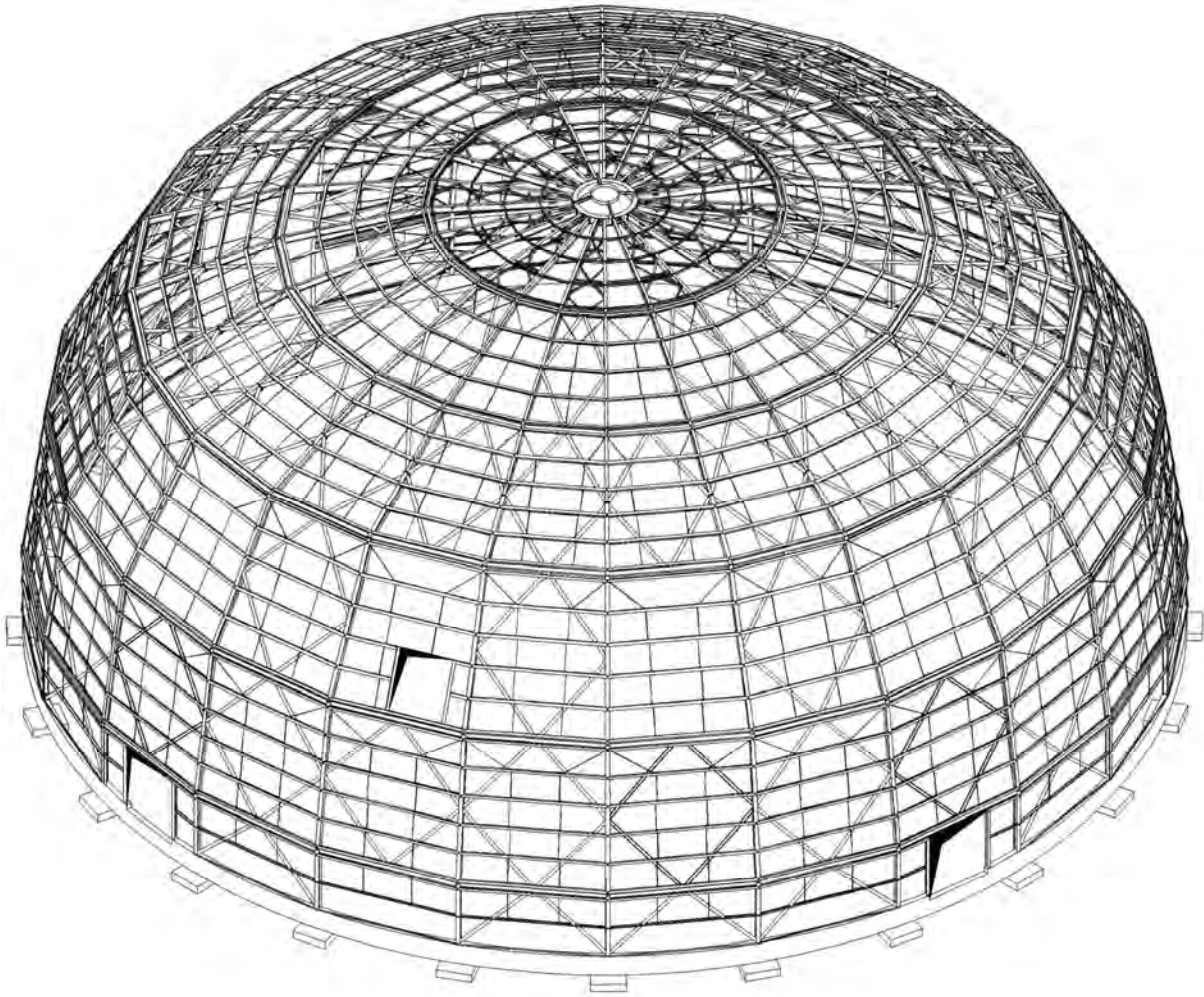


Рис. 12. Изометрична схема змонтованого каркаса купола

### Висновки

Тенденції, що прогресують у містобудівній галузі позитивно впливають на процес впровадження в архітектурі та будівництві просторових конструкцій. Конструктивні можливості куполів ще зовсім не вичерпані і дають можливість підвищувати ефективність цих конструкцій. У цій статті автори запропонували один із варіантів раціонального підходу до проектування та конструювання промислових споруд купольної форми, наближений до європейських аналогів.

1. Лебедева Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции. – М.: Архитектура, 2006. – 120 с. 2. Липнинский М.Е. Купола. Расчёт и проектирование. – Л.: Стройиздат, 1973. – 130 с. 3. Тур В.И. Купольные конструкции: формирование, расчёт, конструирование, повышение эффективности. – М.: ЛСВ, 2004. – 96 с. 4. Pavlov G.N. Geodesic Domes Bounded by Symmetrical mainly Hexagonal Elements. – The International journal of space structures. Vol. 9, No.2, 1994. 5. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия (с изменениями). Нормы проектирования. – М.: Минрегион России, 2009. – 47 с. 6. СП 53-101-98. Свод правил по проектированию и строительству. Общие правила проектирования стальных конструкций – М.: Стандартинформ, 2004. – 130 с. 7. Лизин В.Т., Пяткин В.А. Проектирование тонкостенных конструкций. – М.: Машиностроение, 1994. – 384 с.