

УДК 624.014

Сильвио Адмиро Перейра де Брито,

к.т.н. доцент Лавриненко Л.И.,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## БОЛЬШЕПРОЛЕТНОЕ СТАЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ ФУТБОЛЬНОГО СТАДИОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Выполнен анализ формирования конструктивной формы раздвижного купольного покрытия футбольного стадиона и условия эксплуатации несущих стальных конструкций, рассмотрены особенности функционирования подкупольного пространства. Показана эффективность конструктивных решений с использованием трубчатых закрытых профилей.*

*Ключевые слова: стальные конструкции, купол, стадион, пространственная ферма, трубчатые сечения, узлы сопряжения.*

В Европе построено порядка 330 футбольных стадионов вместимостью более 20 тысяч мест; в рейтинге по количеству стадионов лидируют Великобритания (54 стадиона), Германия (47 стадионов), Италия (35 стадионов) и Испания (29 стадионов). Что касается Ближнего Востока и Африки, то большое количество стадионов характерно для крупных стран и стран с богатыми спортивными традициями. Последние несколько лет объектом активных инвестиций стало строительство принадлежащих спортивным клубам стадионов в Турции, из них 12 площадок вместимостью свыше 20 тысяч мест. За последние 30 лет в Африке наблюдается активное развитие футбола Кубку африканских наций, который проводится раз в два года, что открывает многочисленные возможности инвестирования в строительство все новых футбольных площадок [1].

Основной архитектурно-конструктивной особенностью крытых стадионов является, в первую очередь, взаимосвязь внешнего и внутреннего образа с принятой конструктивной схемой перекрытия. Общая композиция строится на выявлении работы основных несущих конструкций. что отчетливо выражено в лучших спортивных сооружениях мира.

**Целью исследования** является анализ схемы большепролетного купольного покрытия с применением эффективных трубчатых профилей на примере Oita Stadium (Япония) [2].

### **Задачи исследования:**

– Выполнить анализ архитектурно-планировочного решения для установления параметров конструктивной схемы покрытия;

- Сформулировать проблемы при проектировании большепролетного купольного покрытия и пути их решения на примере Oita Stadium (Япония);
- Выполнить расчет характерного фрагмента для оценки эффективности применения трубчатых профилей в большепролетных купольных покрытиях.

**Методы исследования:**

- численные методы строительной механики и теории упругости при моделировании системы элементов большепролетного купольного покрытия;
- анализ конструктивных параметров при обработке результатов исследования.

**1. Планировочные решения.** Стадион в префектуре Oita (Япония) запроектован архитектором Kisho Kurokawa как многоцелевая арена. Стадион состоит из двух независимых друг от друга частей: покрытия, имеющего в плане круглую форму диаметром 262 м; трибуны на 43 000 зрителей и подтрибунные конструкции овальной в плане формы 168×204м. Композиционным ядром сооружения является футбольное поле размером 74х112 м, вокруг которого сосредоточены трибунные и подтрибунные части сооружения. По периметру футбольного поля выполнена безопасная зона шириной 8 м.

Освещение стадиона принято смешанное. Часть стадиона (поле) освещена естественным солнечным светом, в вечернее время стадион освещается искусственным рассеянным светом.



Рис.1. Архитектурно-конструктивное решение купола покрытия

**2. Концептуальные решения.** По замыслу автора [2] эллиптическая арена перекрывается круглым в плане куполом, другие объекты расположены в пространстве между этими двумя различными формами. Этот метод и также применяется к Toyota Stadium, разработанный тем же архитектором. Тем не ме-

нее, эти стадионы имеют совершенно разные стили, выраженные в решении несущих конструкций.

Большая разница между Oita Stadium и другими аналогичными объектами состоит в том, что этот стадион создает впечатление уникальной вселенной.

Стадион представляет собой многофункциональную площадку для различных мероприятий, начиная от футбольных матчей Кубка мира и национальных легкоатлетических событий до культурные мероприятия и крупномасштабных музыкальных концертов.

Раздвижное покрытие той же сферической формы, что и сам купол. Как и предполагает прозвище этого стадиона – "Большой глаз", – мембранные кровли закрывают овальное отверстие с обеих сторон, как огромные веки. Использование тонкой стекловолоконной мембраны с тефлоновым покрытием, имеющей высокую атмосферостойкость и прочность на разрыв, сделала возможным реализацию полупрозрачной раздвижной крыши, повторяющей форму основного купола и закрывающей овальное отверстие в сфере (рис.1).

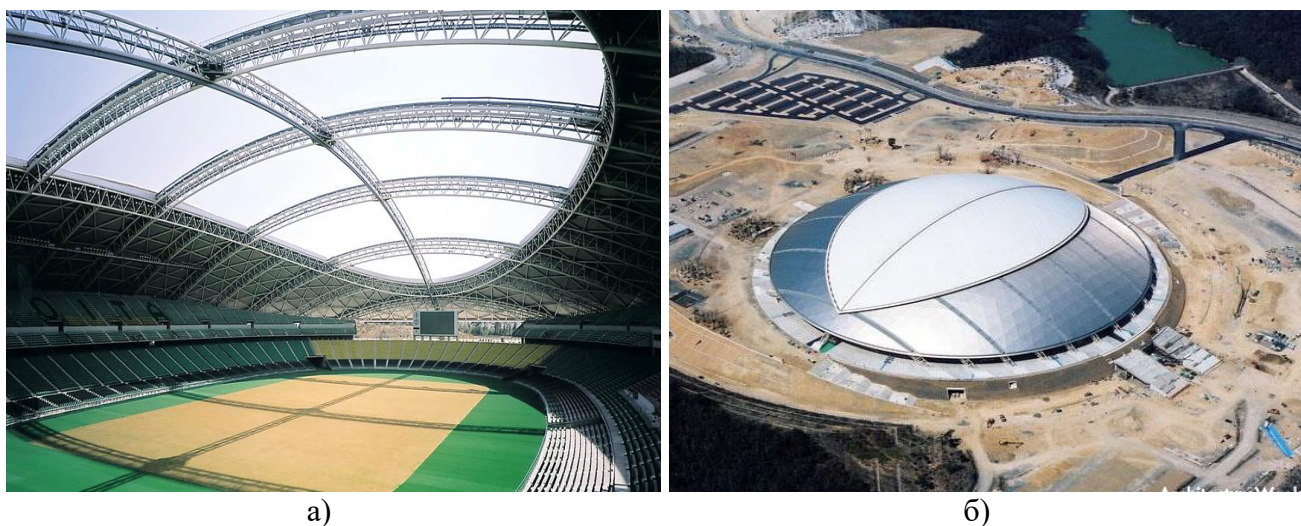


Рис.2. Вид на поле с открытой крышей (а) и раздвижная крыша в закрытом положении (б).

Купол сформирован поперечными арками, опирающимися на основную продольную арку (рис.2,а), ориентированную по направлению север-юг. Так же ориентировано отверстие в крыше, что предполагает наилучшие условия освещения травяного поля. По нижнему поясу центральной арки перемещается подвижная теле/кинокамера. Перемещение закрывающейся части выполняется по верхним поясам поперечных арок, имеющих различную кривизну. Механизмы и привод компьютеризованны.

**3. Конструктивные решения.** Конструкция купола нерегулярная [3]. В качестве основных несущих конструкций купола используется арочная систе-

ма, состоящая из семи стальных поперечных арок и главной арки пролетом 262 м. Арки выполнены в виде пространственных ферм треугольного сечения из труб. Оригинальность конструкции заключается в пересечении несущих элементов с передачей внешней нагрузки на пространственное кольцо. Для обеспечения задвижки футбольного поля, сверху конструкции купола расположена «скорлупа» в виде легкой объемной оболочки.

Для осуществления трансформирования верхних конструкций в арках предусмотрены полозья с шаровыми элементами, точно расположенными вдоль направляющих с возможностью их вращения. Сопряжение оболочек осуществляется с помощью системы лебедок, работающих от одного электропривода, что исключает перекося в процессе работы.

Учитывая то, что при стыковки оболочек может возникнуть дискомфорт, как для игроков, так и для зрителей предусмотрено в конструкциях покрытия наличие продольного ребра жесткости с деталями, обеспечивающими относительную герметичность примыкания. Гарантированная установка конструкций покрытия, обеспечивается конусоидальными элементами одной оболочки и аналогичными деталями в виде воронок другой. Для совместной работы сопряжений предусмотрено их расположение в шахматном порядке.



Рис. 3. Система связей ниже распорного кольца и торцевая поперечная арка

Учитывая большепролетность основных несущих конструкций, один из опорных узлов арок запроектирован подвижного типа.

Фундамент под конструкции покрытия выполнен ленточным свайным, имеющим в плане круглую форму. В конструкциях арочного типа возникает значительный распор, поэтому фундамент в местах опирания арок имеет вид контрфорсов с развитым сечением на внешнюю сторону стадиона.

Материалы, используемые для основных конструкций: стальные пространственные арки с треугольной решеткой и железобетонные сейсмически устойчивые подтрибунные конструкции.

**4. Несущий каркас купольного покрытия.** В качестве несущих конструкций купола запроектирована система арок. На главную арку пролетом 262 м опираются поперечные арки с шагом 18 м. Высота главной арки в ключе 42 м. Основное опорное кольцо купола расположено на отметке + 31,15 м, на него опираются по шесть дополнительных полуарок с каждой стороны относительно основной оси (рис.4, 5). В нижней части арки опираются на фундаментные конструкции с нижним распорным кольцом.

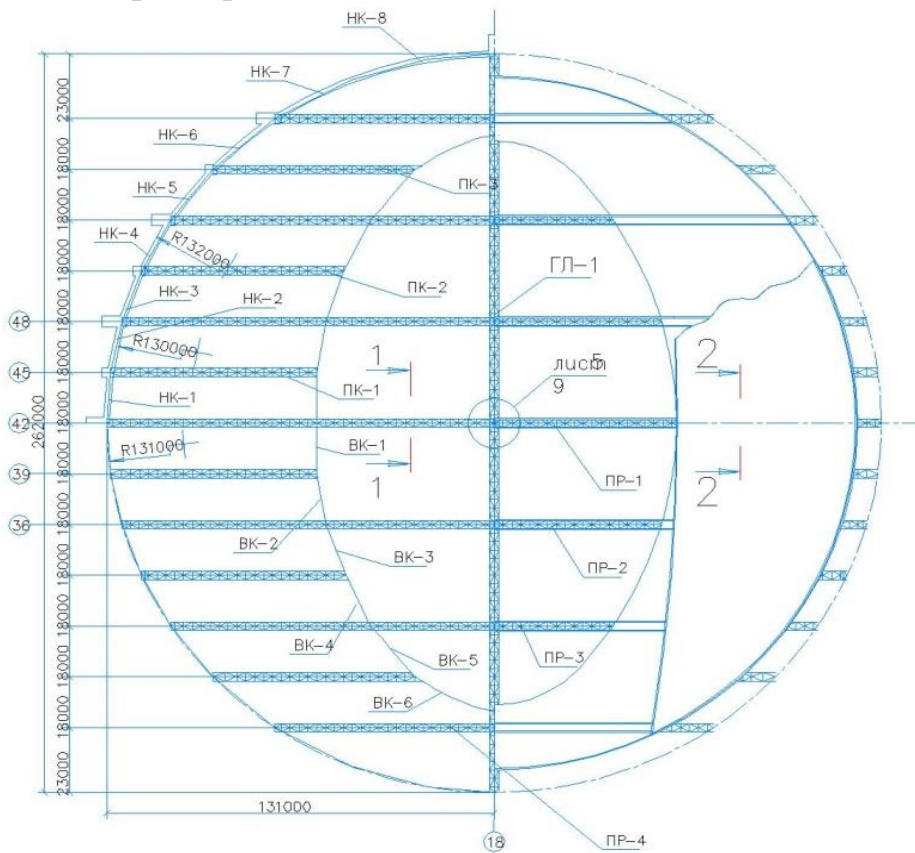


Рис. 4. Структурная схема покрытия

Между арками и полуарками ниже распорного кольца предусмотрена система связей, объединяющих купол в единую пространственную систему. Связи в виде стержневой системы расположены в уровне верхних поясов поперечных арок и полуарок. Распорное кольцо овальной конфигурации представляет собой трехгранную пространственную ферму и ограничивает отверстие в покрытии размером 131x222 м. Для обеспечения обслуживания осветительной аппаратуры и системы перемещения раздвижной части покрытия предусмотрены переходные мостики, которые крепятся к нижним поясам ребер.

**Антикоррозійная и пожарная защита.** Для обеспечения долговечности и безопасной эксплуатации несущих конструкций купола необходимость выполнить противопожарное и коррозионную защиту.

В соответствии с противопожарными нормами опорное кольцо купола и стальные колонны должны иметь противопожарную защиту для обеспечения их огнестойкости не менее 150 минут, других конструкций - 30 минут.

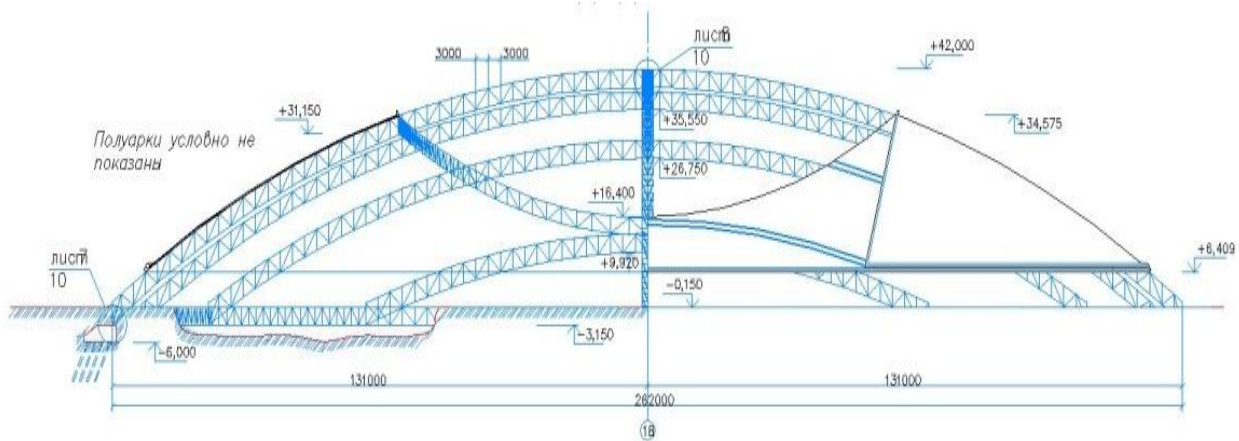


Рис.5. Конструктивное решение купола

При конструировании конструкций купола и их элементов предусмотрено наличие конструктивных решений, способствующих и повышают их устойчивость к коррозии. А именно: все несущие конструкции и связи купола изготовлены из прокатных труб, по сравнению с другими видами проката, трубы имеют наименьшую удельную площадь поверхности; все торцы труб наглухо закрываются с помощью торцевых накладок, которые привариваются к трубе по всему периметру; в местах врезки фасонкам в трубы, фасонке привариваются к трубам по всей длине, а остаточные отверстия закрываются металлическими заглушками и завариваются по периметру (рис.6).

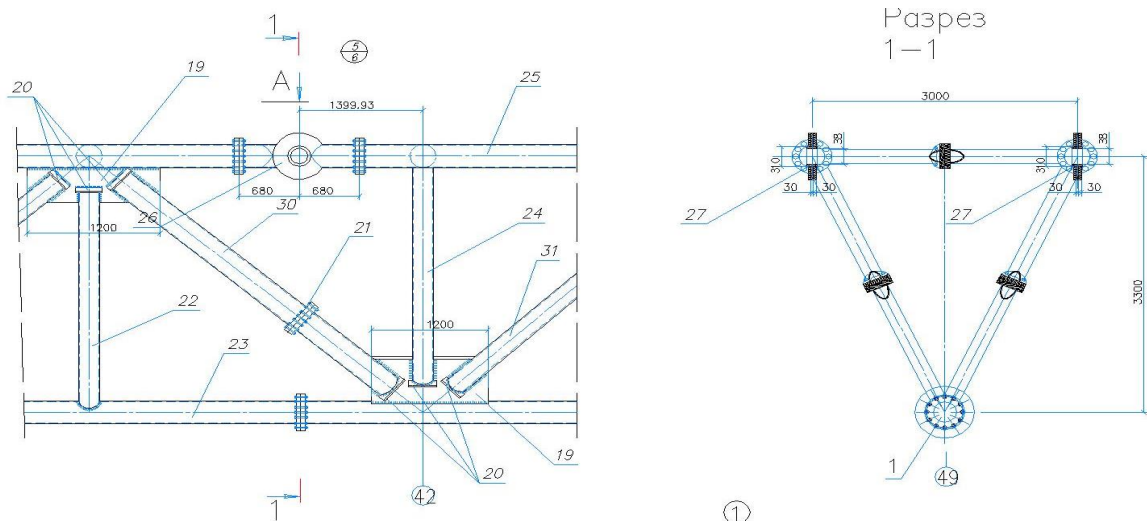


Рис. 6. Узлы купольного покрытия

**Таким образом, выполненный анализ архитектурно-конструктивного решения свидетельствует** о большом внимании и высокой стоимости не только мероприятий по эффективной эксплуатации сооружения, но и обеспечению необходимой несущей способности, надежности и долговечности несущих и ограждающих конструкций.

Металлические конструкции современных большепролетных купольных покрытий выполняются, преимущественно как сетчатые или пространственные структурные оболочки [4]; наиболее изученными среди пространственных схем являются ребристые, ребристо-кольцевые, сетчатые. В данном случае выбрана нерегулярная осесимметричная ребристая схема с опиранием на продольную арку, в качестве ребер которой выступают трехгранные пространственные фермы. Опорное кольцо также решено нетрадиционно: верхнее, ограничивающее проем в покрытии, – овальной конфигурации в виде трехгранной стержневой конструкции.

При таком конструктивном решении схема получила дополнительные качества пространственной структуры, обеспечивающей надежность конструкции в сложных экстремальных ситуациях.

Современные требования к большепролетным конструкциям включают, среди прочего, требования живучести, что в европейских нормах [6] учитывается как *progressive collapse prevention* – возможность при обрушении некоторой части элементов перераспределять нагрузки на остальные элементы. Следовательно, купольное покрытие с чрезмерным, с точки зрения оптимального проектирования, количеством связей (в данном случае в уровне ниже распорного кольца) имеет более высокий ресурс живучести, что может быть подтверждено соответствующим расчетом.

Купол запроектирован с использованием наиболее эффективных типов сечений. Трубчатые элементы имеют наименьшее аэродинамическое сопротивление, что важно для конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе. С другой стороны, здесь реализовано решение с максимальной коррозионной устойчивостью [5]. Круглое сечение наиболее благоприятно относительно неравномерности коррозии. Все несущие конструкции и связи выполнены из прокатных труб, так как по сравнению с другими видами проката трубы имеют наименьшую удельную площадь поверхности (отношение периметра сечения к его площади).

Дополнительным фактором эффективности трубчатых сечений является удобство и относительно низшая стоимость нанесения защитных покрытий. Долговечность таких покрытий выше, стоимость ниже, что дополнительно снижает стоимость эксплуатационных затрат.

Решен вопрос об узловых сопряжениях. Торцы труб наглухо закрываются торцевыми накладками, особенно тщательно завариваются узлы в местах врезки труб (рис. 6).

Следовательно, принятые конструктивные решения не только подчеркивают выразительное архитектурное решение, но и обеспечивают максимальную надежность и долговечность как сооружения в целом, так и ее несущих конструкций и элементов.

### Литература

1. Стадионы мира. World Stadiums [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.worldstadiums.com>
2. Dennis Sharp, Koji Kobayashi. Kisho Kurokawa, Oita Stadium, Oita, Japan
3. Липницкий М.Е. Купола. – Л., Стройиздат, 1973. – 129 с.
4. Качуровский А., Лизогуб Е. Конструктивное решение легкой структурной оболочки большепролетного купола// Архитектурно-строительный портал, 2006. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ais.by](http://www.ais.by)
5. Шимановский А.В. Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений /Шимановский А.В., Гордеев В.Н., Королев В.П., Оглобля А.И., Рухович И.Р., Филатов Ю.В. – К., Сталь. – 2008. – 463 с.
6. Єврокод Основи проектування конструкцій. (EN1990:2002, IDT) ДСТУ–Н Б EN 1990:2008. – Київ, Мінрегіонбуд України, 2012.

### Анотація

Проаналізовано застосування конструктивної форми розсувного купольного покриття футбольного стадіону та умови експлуатації несучих сталевих конструкцій, розглянуто особливості функціонування підкупольного простору. Показана ефективність конструктивних рішень із застосуванням трубчастих закритих перерізів.

Ключові слова: сталева конструкція, купол, стадіон, просторова ферма, трубчасті перерізи, вузли спряження.

### Abstract

The analysis of the formation of a constructive form of sliding dome cover the football stadium and the operating conditions of load-bearing steel structures, the features of the functioning of the dome space. The effectiveness of constructive solutions using tubular closed profiles.

Keywords: steel structures, dome, stadium, space truss, tubular section, interface nodes.