

Сравнение эффективности конструктивных решений купольной конструкции выставочного комплекса

М.Д. Остапенко, С.В. Шуцкий, А.А. Лиманцев

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассмотрен процесс определения наиболее эффективного с точки зрения металлоемкости конструктивного решения для купольной конструкции проектируемого выставочного комплекса в г. Ростове-на-Дону с диаметром в плане 100 м. Проанализировано три различных варианта конструкции купола. В программном комплексе Лира-САПР созданы расчетные модели и выполнен расчет различных вариантов покрытия. Произведено сравнение полученных результатов с точки зрения жесткости и сделаны выводы о возможности и целесообразности применения каждого из рассмотренных конструктивных решений. Выбран наиболее эффективный с точки зрения металлоемкости вариант конструкции.

Ключевые слова: металлические конструкции, купол, металлоемкость, расход материала

Большепролетные металлические конструкции благодаря своей визуальной легкости и утонченности продолжают оставаться очень популярным решением в современной архитектуре [1]. Лидирующее место среди конструкций с пролетом более 50 метров занимают сферические купольные покрытия [2,3]. Комплексы с купольными покрытиями в полной мере раскрывают высокие эстетические качества таких сооружений. Однако, особую важность при проектировании и строительстве занимают и технико-экономические показатели [4,5]. Современные программные комплексы позволяют быстро и эффективно решать самые сложные задачи в проектировании конструкций, что позволяет произвести предварительный расчет нескольких вариантов конструкции и, сравнив результаты, найти наиболее эффективное решение [6,7].

Целью данной работы является определение наиболее эффективного с точки зрения расхода стали конструктивного решения купольной конструкции проектируемого выставочного комплекса в г. Ростове-на-Дону. Продольный разрез с основными размерами купольной конструкции приведен на рис.1.

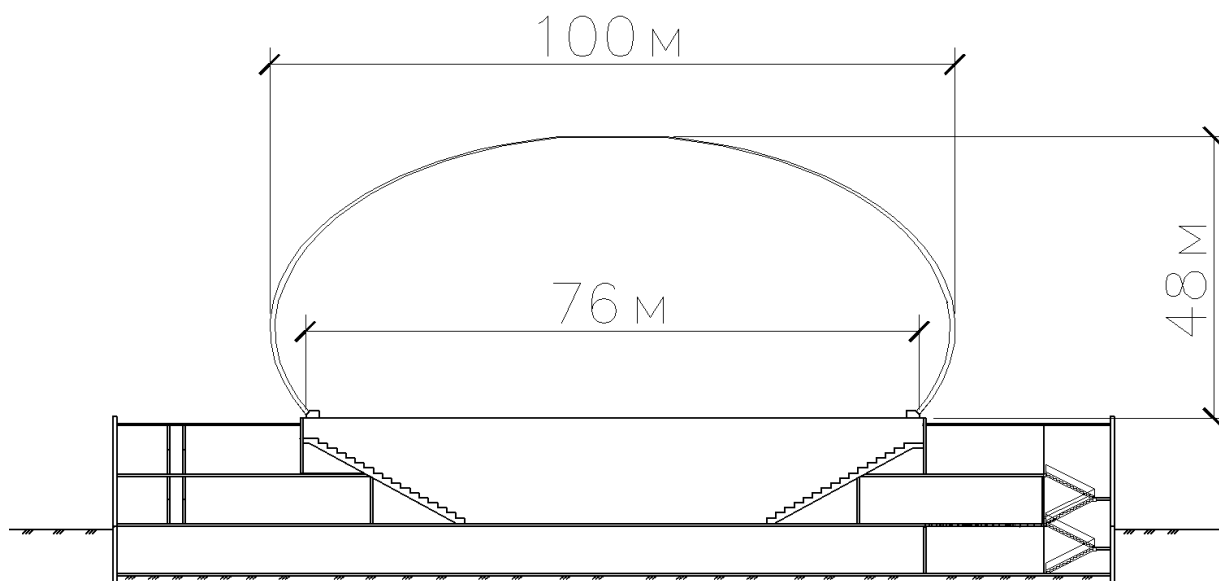


Рис. 1. – Разрез проектируемого выставочного комплекса г. Ростов-на-Дону

Для сравнения выбрано три варианта конструктивного исполнения купола:

Первый вариант. Ребристо-кольцевой купол Шведлера, в котором крестовые связи установлены в каждой четырехугольной ячейке [8]. Поверхность разделена на 12 секций по 30° , имеет 7 ярусов. (рис. 2)

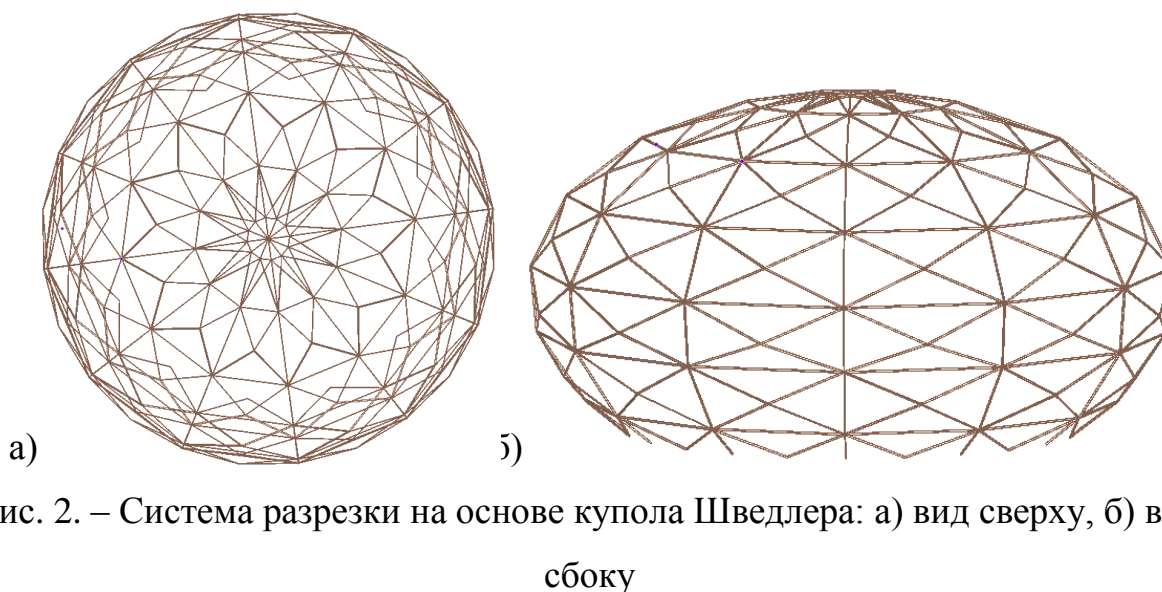


Рис. 2. – Система разрезки на основе купола Шведлера: а) вид сверху, б) вид сбоку

Второй вариант. Ребристый купол из 15 плоских стальных ферм, делящих купол на секции по 24° . Размер основания фермы – 5 м. (рис. 3)

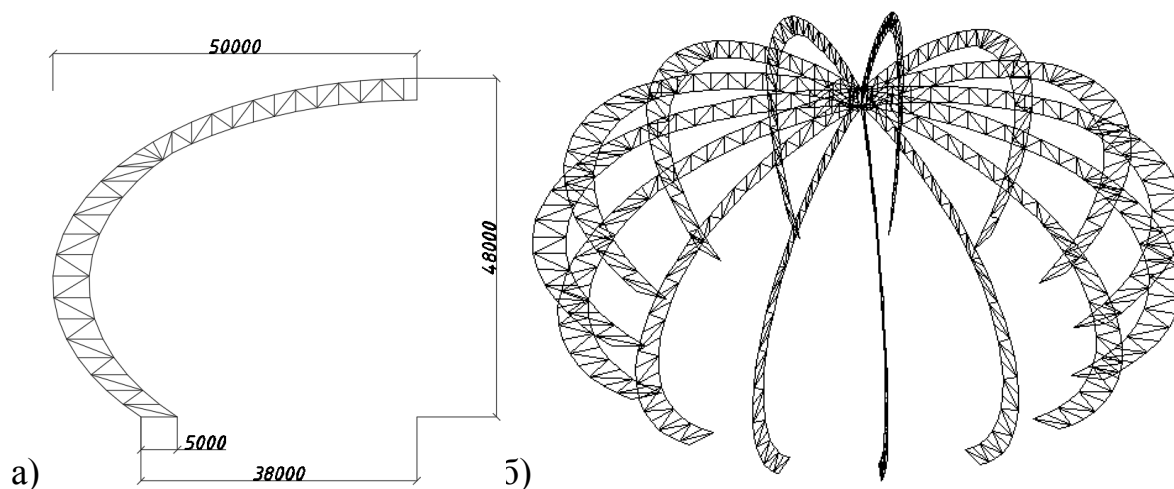


Рис. 3. – Купольная конструкция из плоских ферм: а) чертеж одиночной фермы, б) общий вид

Третий вариант. Ребристый купол из 24 пространственных ферм, разделяющих купол на секции по 15° . Размер основания фермы – 3,5 м. (рис. 4)

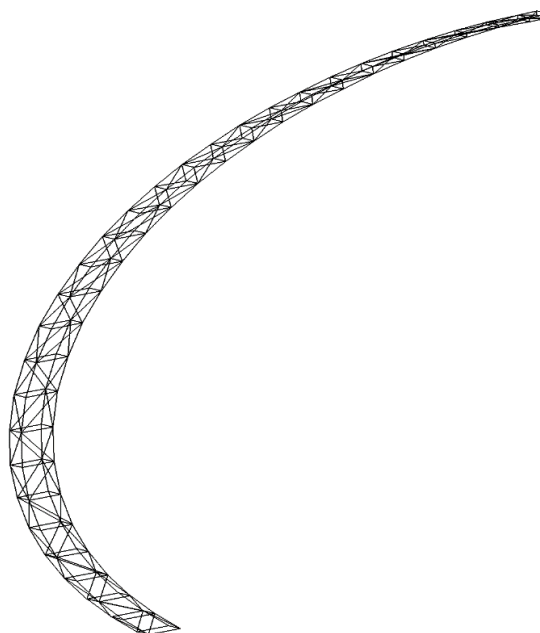


Рис. 4. – Единичная пространственная ферма купольной конструкции

Статический расчет фрагмента каркаса купола для каждого из рассмотренных вариантов производился с использованием метода конечных элементов в программном комплексе Лира-САПР. При этом для всех вариантов расчетных схем:

- купол и плиты перекрытия не связаны между собой, поэтому расчет купола производится как для отдельно стоящей конструкции [9];
- сформированы загрузки от собственного веса каркаса и стеклянного покрытия, от ветра и от снега. Все загрузки приняты в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»;
- с помощью встроенного модуля СТК-САПР произведен автоматический подбор необходимых сечений в соответствии с СП16.13330.2017 «Стальные конструкции»;

По результатам произведенного расчета сравним полученные распределения вертикальных перемещений несущих конструкций (рис 5-7), что позволяет сделать следующие выводы:

- применение первого варианта конструкции невозможно. При заведомо большем сечении несущих элементов конструкции (особенно меридиональных) данная модель имеет самые значительные перемещения, превышающие допустимый прогиб;
 - плоские или пространственные меридионально расположенные фермы намного более эффективно использовать при конструировании сфероидов с большим пролетом;
 - второй и третий варианты конструкций имеют схожие вертикальные перемещения элементов (71мм и 88,9 мм, соответственно), которые полностью удовлетворяют требованию жесткости конструкции;
-

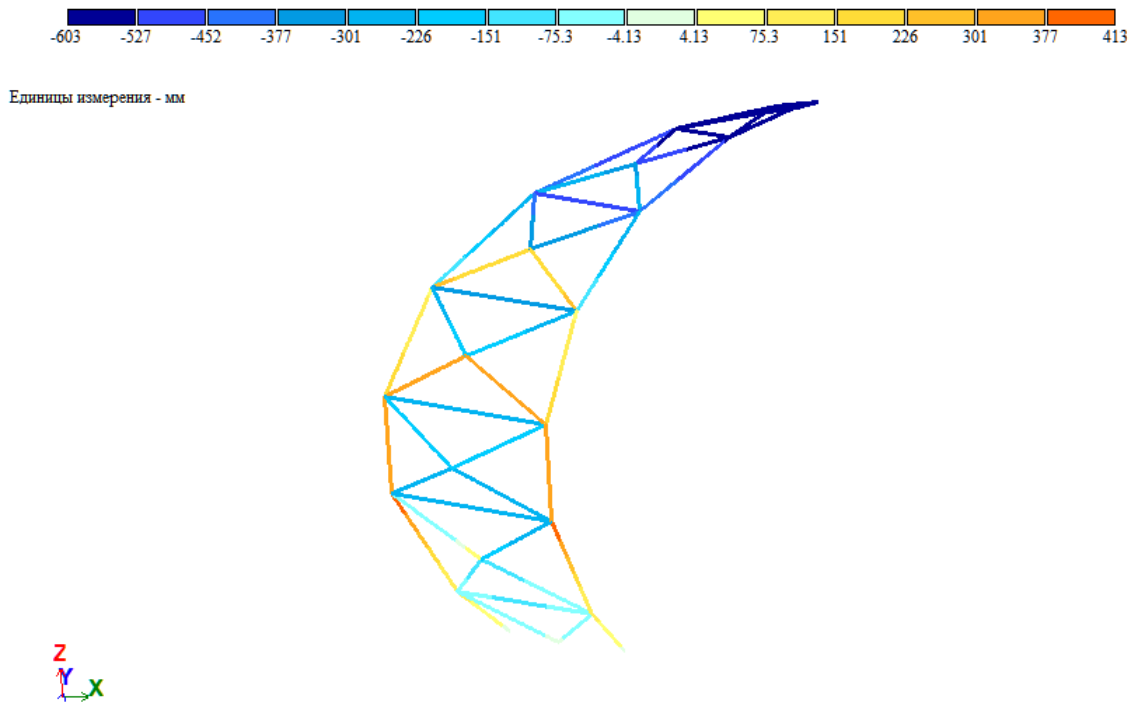


Рис. 5. –Вертикальные перемещения для первого варианта конструкции

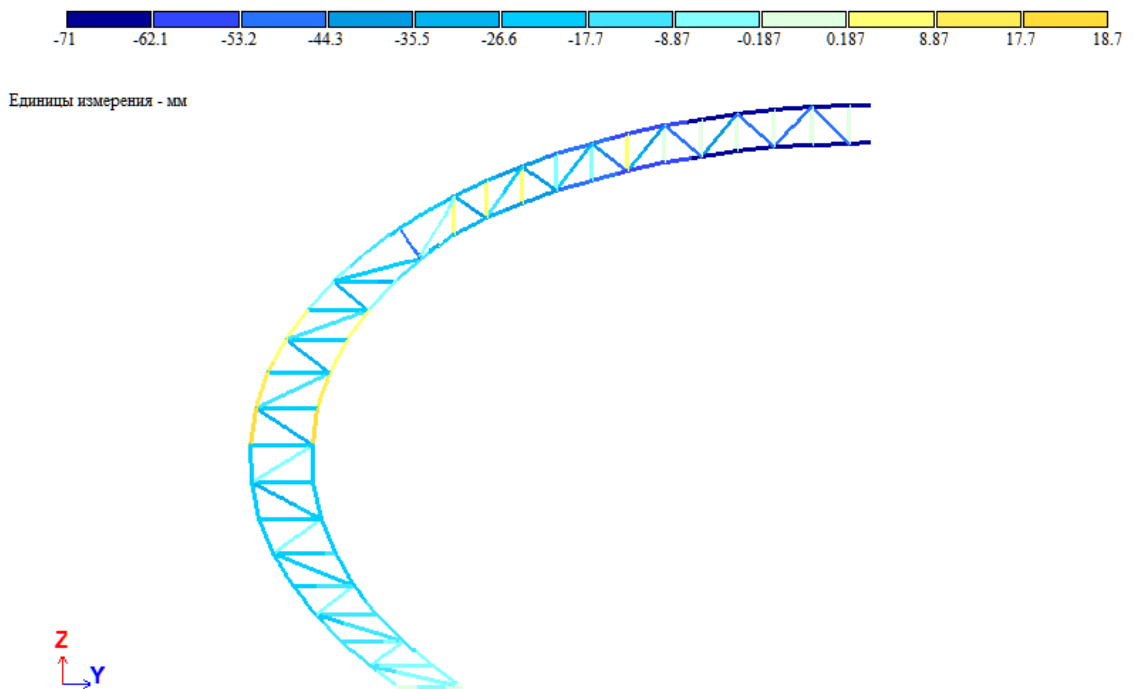


Рис. 6. – Вертикальные перемещения для второго варианта конструкции

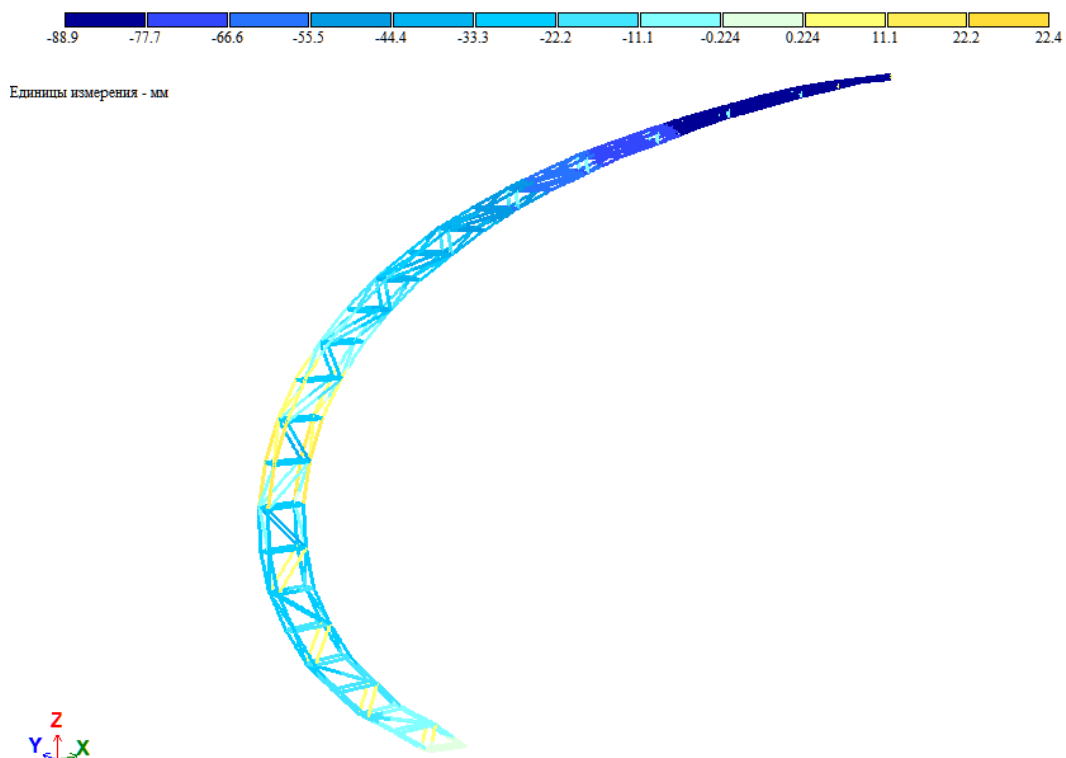


Рис. 7. – Вертикальные перемещения для третьего варианта конструкции

Для сравнения металлоемкости были подсчитаны теоретические массы стального каркаса для второго и третьего вариантов. Теоретический вес ферм взят из расчетной схемы, вес дополнительных связевых элементов был рассчитан отдельно. Результат сведен в таблицу 1.

Таблица №1

Вариант исполнения конструкции	Теоретический вес, т	Разница веса, %
Второй вариант	925,4	+3,2%
Третий вариант	896,7	-

Как видно из таблицы №1, второй и третий вариант исполнения по металлоемкости показывают очень близкие значения и отличаются всего на 3,2% в пользу третьего варианта исполнения. Следует отметить, что приведенные цифры металлоемкости являются лишь приблизительной

оценкой, тем не менее, позволяют сравнить расход стали достаточно точно [10].

В результате изложенного в статье сравнения можно сделать вывод, что наиболее подходящий для данного случая вариант исполнения купола — это третий вариант с пространственными фермами, который имеет по отношению ко второму варианту достаточную жесткость и немного меньшую металлоемкость. Помимо этого третий вариант исполнения за счет меньшего размера основных ферм имеет более выгодные архитектурно-эстетические свойства, а также больший полезный объем купола.

Литература

1. Кривошапко С.Н., Мамиева И.А. Аналитические поверхности в архитектуре зданий, конструкций и изделий. Либроком 2019, 328 с.
2. MacGinley T.J. Steel Structures. Practical design studies // E & FN SPON. 2005. 184 p.
3. Тур, В.И. Купольные конструкции: формообразование, расчет, конструирование, повышение эффективности. М.: Издательство АСВ, 2004. 96 с.
4. William A. Thornton, Mark V. Holland and others. Design examples // American institute of steel construction. 2011. 993 p.
5. Липницкий М.Е. Купола. Расчет и проектирование. Ленинград. 1973. 129 с.
6. Москалев Н.С., Пронозин Я.А. Металлические конструкции. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. 344 с.
7. Щуцкий С.В., Черныш А.В., Болдырев А.С. Особенности расчета башни в форме сетчатого гиперboloида // Инженерный вестник Дона, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5777

8. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н., Халаби С.М. Аналитические поверхности: материалы по геометрии 500 поверхностей и информация к расчету на прочность тонких оболочек. М.: Наука, 2006. 544 с.

9. Шумейко В.И., Кудинов О.А. Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2013, №4.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164

10. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. 319 с.

References

1. Krivoshapko S.N., Mamieva I.A. Analiticheskie poverkhnosti v arkhitekture zdaniy, konstruktsiy i izdeliy [Analytical surfaces in the architecture of buildings, structures and products]. Librokom 2019, 328 p.

2. MacGinley T.J. Steel Structures. Practical design studies. E & FN SPON. 2005. 184 p.

3. Tur, V.I. Kupol'nye konstruktsii: formoobrazovanie, raschet, konstruirovaniye, povysheniye effektivnosti [Dome structures: shaping, calculation, design, increasing efficiency]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2004. 96 p.

4. William A. Thornton, Mark V. Holland and others. Design examples. American institute of steel construction. 2011. 993 p.

5. Lipnitskiy M.E. Kupola. Raschet i proektirovaniye [Domes. Calculation and design]. Leningrad. 1973. 129 p.

6. Moskalev N.S., Pronozin Ya.A. Metallicheskie konstruktsii [Metal constructions]. M.: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2010. 344 p.

7. Shchutskiy S.V., Chernysh A.V., Boldyrev A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5777

8. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N., Khalabi S.M. Analiticheskie poverkhnosti: materialy po geometrii 500 poverkhnostey i informatsiya k raschetu



na prochnost' tonkikh obolochek [Analytical surfaces: materials on the geometry of 500 surfaces and information for calculating the strength of thin shells]. М.: Nauka, 2006. 544 p.

9. Shumeyko V.I., Kudinov O.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164

10. Likhtarnikov Ya.M. Variantnoe proektirovanie i optimizatsiya stal'nykh konstruktsiy [Variant design and optimization of steel structures]. М.: Stroyizdat, 1979. 319 p.