

Литература:

1. Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Стержневые системы М., Стройиздат, 1981.
2. Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Тонкостенные пространственные системы. М., Стройиздат, 1983.
3. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. М., Высшая школа, 1986.
4. Снитко Н.К. Строительная механика. М., Высшая школа, 1980.

УДК 624.3

МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК РЕБРИСТО-КІЛЬЦЕВОГО КУПОЛА В ПРОГРАМІ ANSYS

Куприянов Д.В., КМ-601м.

Научный руководитель – д.т.н., проф. Сурьянинов Н.Г.

Введение. Эффективность применения легких пространственных конструкций по сравнению с традиционными стоечно-балочными системами обусловлена снижением материалоемкости несущего каркаса, трудоемкости изготовления и монтажа, возможностью перекрывать как малые, так и большие пролеты, создавать здания универсального назначения высокой архитектурной выразительности. Эти конструкции преимущественно изготавливаются на заводе, компактны при транспортировке, легко собираются, диапазон применяемых материалов широк: это, прежде всего металл, а также и бетон, железобетон, дерево, пластмассы. Особое место среди представленных пространственных конструкций занимают купола. Это одни из наиболее древних пространственных систем покрытия.

Конструктивные возможности куполов и оболочек далеко не исчерпаны и представляется возможным повысить эффективность этих конструкций искусственным регулированием усилий и деформаций, то есть предварительным напряжением. Возможно регулирование усилий и деформаций в процессе эксплуатации конструкции, в этом случае оболочку можно рассматривать как механизм и трансформируемую пространственную структуру. Конечно, при этом возникает целый комплекс вопросов и проблем, связанных с устойчивостью системы при различных видах нагружений

и условиях эксплуатации, но при современном уровне развития теоретических исследований, вычислительной техники и программном обеспечении это вполне разрешимые задачи [1, 2].

Задачи повышения надежности, прочности и долговечности конструкций и сооружений, эффективного их использования, снижения материалоемкости и стоимости во все времена остаются важнейшей целью строительной отрасли.

Поэтому разработка, исследование и совершенствование купольных конструкций являются актуальными.

Целью работы является компьютерное моделирование и расчеты ребристо-кольцевого купола в программе ANSYS [3].

Основная часть. Конструкция ребристых куполов состоит из трех основных элементов: нижнего опорного кольца, собственно ребер и верхнего кольца. Плоские ребра устанавливаются в радиальном направлении и соединяются между собой в вершине с помощью верхнего кольца, внизу они обычно опираются на нижнее опоры и кольцо. В этом случае составляющие опорного давления у ребер на фундаменты будут только вертикальные. Горизонтальный распор воспринимается опорным кольцом. При наличии скальных грунтов возможно шарнирное или жесткое опирание ребер непосредственно на фундамент без устройства опорного кольца. Соединение ребер у вершины купола может быть шарнирное либо жесткое.

Аналитический расчет подобных конструкций весьма трудоемок, и построен на упрощающих гипотезах, что заведомо снижает его точность. В этой связи эффективным представляется численный анализ с использованием современных инженерных программ.

В качестве объекта исследования выбран ребристо-кольцевой купол (рис. 1).

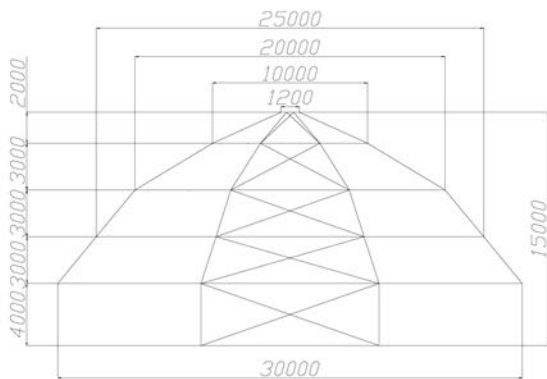


Рис. 1 Схема ребристо-кольцевого купола

Этот купол являет собой конструкцию диаметром 30 м, диаметр верхнего кольца 1.2 м, высота подъема 15 м. Каркас купола состоит из 8 ребер и пяти ярусов промежуточных колец. Четыре сектора имеют раскосы в каждом ярусе. Купол жестко опирается на железобетонное основание. Поперечное сечение ребер выполнено из прокатного профиля типа швеллер № 18, кольца и раскосы из уголка № 100×100×16. Для обеспечения устойчивости ребер купола и неизменяемости его в целом, по крайней мере, в двух отсеках, должны быть установлены сверху до низа купола жесткие связевые панели.

Конструкция состоит из 130 элементов. Узловые соединения всех элементов купола выполнено сваркой. Общий вес конструкции 21 т.

С точки зрения строительной механики конструкция купола представляет собой статически неопределимую систему, состоящую из тонкостенных стержней. Сложность конструкции делает невозможным ее точный аналитический расчет и приводит к необходимости использования численных методов.

Так как купол состоит из повторяющихся сегментов, при построении смоделирована четверть конструкции, которая затем скопирована.

Построенная конечно-элементная модель купола состоит из 1194 элементов и 3496 узлов.

В соответствии с ДБН В.1.2-2:2006 “Нагрузки и воздействия” в работе рассматриваются три основных нагрузки на купол: ветровая, снеговая и собственный вес [4].

Следуя общепринятой практике, анализ НДС конструкции в работе выполняется по величинам изгибающих моментов, эквивалентных напряжений и общих деформаций. Эпюра эквивалентных напряжений представлена на рис. 2.

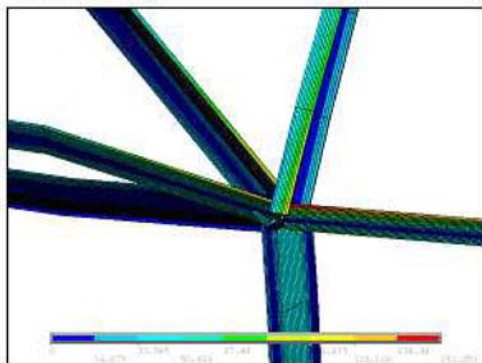


Рис. 2. Фрагмент эпюры напряжений

Максимальные эквивалентные напряжения по гипотезе Губера-Мизеса составили $\sigma_{\max} = 151 \text{ МПа}$, что находится в допустимых пределах. Максимальное суммарное перемещение конструкции равно 67 мм. На рис. 3, 4 представлены полученные эпюры изгибающих моментов и перемещений соответственно.

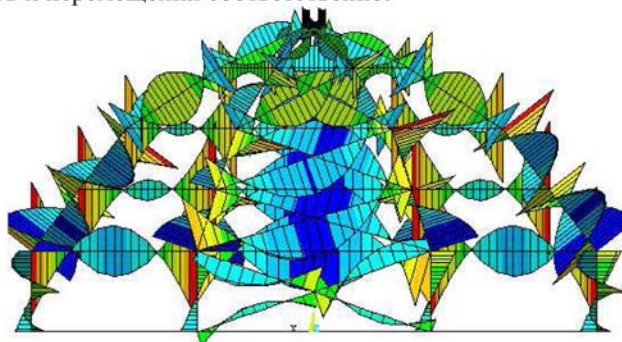


Рис. 3. Эпюра изгибающих моментов

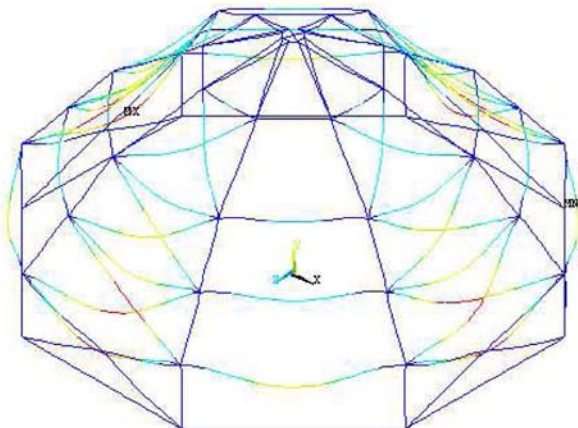


Рис. 4. Суммарные перемещения

Значения максимальных изгибающих моментов, эквивалентных напряжений по гипотезе Губера-Мизеса и перемещений в каждом поясе конструкции представлены в табл. 1.

| № пояса | M_x , Н·мм | M_y , Н·мм | $\sigma_{экр}$, МПа | Сумм. перем. мм | Верт. перем. мм |
|---------|-------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | $0,43 \cdot 10^5$ | $0,43 \cdot 10^7$ | 151,853 | 65,220 | -60,703 |
| 2 | $0,6 \cdot 10^5$ | $0,43 \cdot 10^7$ | 134,498 | 67,651 | -59,245 |
| 3 | $0,58 \cdot 10^5$ | $0,4 \cdot 10^7$ | 122,379 | 44,165 | -40,276 |
| 4 | $0,78 \cdot 10^5$ | $0,26 \cdot 10^7$ | 76,951 | 25,764 | -22,486 |
| 5 | $0,7 \cdot 10^5$ | $0,125 \cdot 10^7$ | 49,562 | 7,1415 | -6,5419 |

Выводы. Проведен расчет ребристо-кольцевого купола в программе ANSYS. Получены величины изгибающих моментов, эквивалентных напряжений и перемещений. Наибольшие расчетные суммарные значения перемещений узлов составили 1/440 диаметра купола. Анализ результатов расчета ребристо-кольцевого купола позволил установить, что конструкция характеризуется небольшой деформативностью, технологичностью принятого конструктивного решения и высокой скоростью монтажа и демонтажа. Рассчитанная конструкция купола обладает достаточной прочностью, жесткостью и надежностью с коэффициентом безопасности по нагрузке 1,2.

Литература

1. Липницкий М.Е. Купола (расчет и проектирование) / М.Е. Липницкий. — М., Издательство литературы по строительству, 1973. — 129 с.
2. Тур В.И. Купольные конструкции: формообразование, расчет, конструирование, повышение эффективности: Учебное пособие / В.И. Тур — М.: Издательство АСВ, 2004. — 96 с.
3. Федорова Н.Н. Основы работы в ANSYS 17 / Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер, М.Н. Данилов, Ю.В. Захарова — М.: ДМК Пресс, 2017. — 210 с.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. — К.: Мінбуд України, 2006. — 77 с.