

КОНОВАЛОВ А. Г., АНТОШКИН В. Д
ЛИСТИНГ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЧАТОГО КУПОЛА С ПОМОЩЬЮ
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА AUTODESK AUTOCAD 2015

Аннотация. Рассмотрены вопросы конструктивно-технологического формообразования сферических оболочек на основе треугольной сети. Разработан конструктивно-технологический метод образования треугольных сетей на сфере, которые были названы «Транеран». В каждой из них критерием оптимальности является минимальное число типоразмеров конструктивных деталей и минимальное число монтажных элементов купола, возможности укрупнительной сборки и предварительного напряжения.

Ключевые слова: сборная сферическая оболочка, конструктивно-технологическая форма, панель, правильный шестиугольник, разрезка, купол.

KONOVALOV A. G., ANTOSHKIN V. D.
LISTING OF NET DOME CONSTRUCTION
WITH SOFTWARE AUTODESK AUTOCAD 2015

Abstract. The design and technological forming of spherical shells based on triangular network are considered. The authors developed a design method of triangular network construction, which have been called "Traneran". The network optimal criteria are the minimum number of standard structural components and the minimum number of dome components as well as pre-assembly and pre-tension options.

Keywords: team spherical shell, design and technological form, panel, regular hexagon, cutting, dome.

В работе приведен алгоритм графического метода образования треугольной сети на сфере с шестиугольными монтажными панелями, которые названы системой «Транеран» [1 – 3]. Для геометрического построения сетчатого купола с помощью программного комплекса Autodesk AutoCad 2015 после запуска программы необходимо перейти в режим 3D-моделирования (рис. 1). Разобьем алгоритм построения на три основных этапа [4–7].

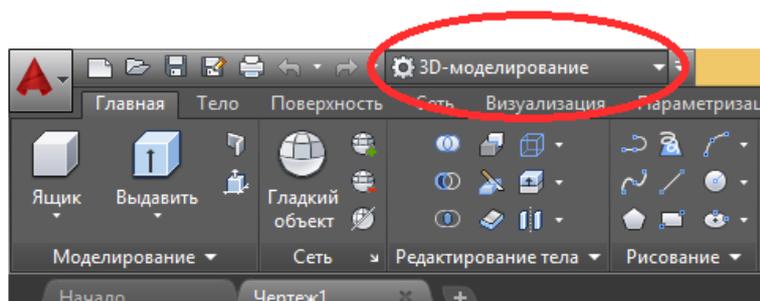


Рис. 1.

Этап 1. Определение осей-границ сектора сферы. Необходимо создать окружность единичного радиуса, проходящую через центр сферы (такие окружности создают «главные линии» на сфере), в плоскости XOY (выбрана по умолчанию). Для дальнейшего удобства обозначим ее «Окружность 1»; для этого, используя кнопку «Центр радиус» (рис. 2), создаем окружность, равную 1000 у.е., используя динамический ввод с центром в точке [0.0.0].

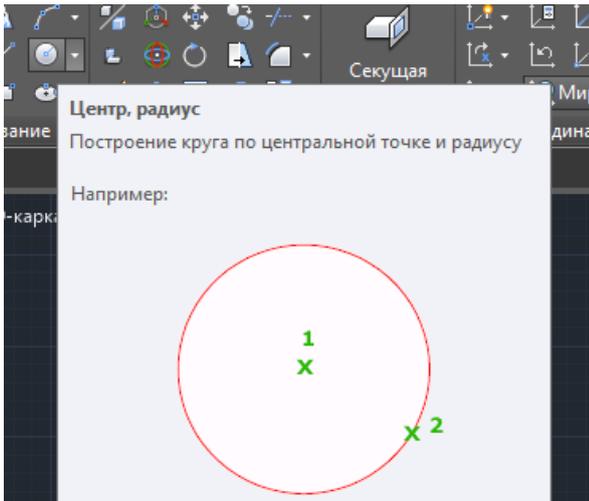


Рис. 2. Центр, радиус.

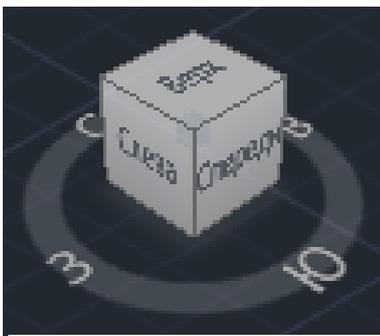


Рис. 3. Видовой куб.

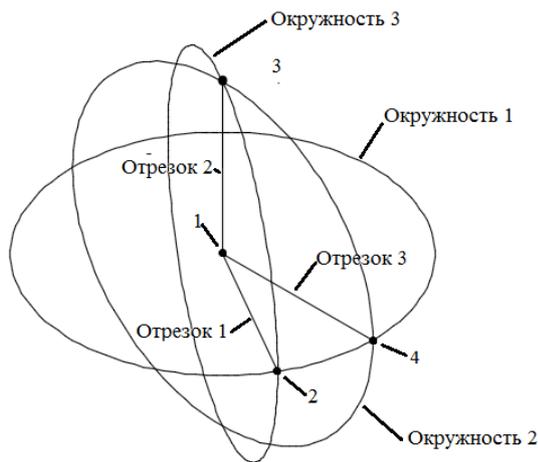


Рис. 4.

После этого ставим видовой куб в положение, как показано на рисунке 3, затем выделяем «Окружность 1» и, используя функцию 3D-поворот , в базовой точке [0,0,0] поворачиваем «окружность 1» с копированием относительно оси «Y», тем самым получая «Окружность 2». С помощью таких же действий создаем «Окружность 3», – копированием с поворотом на 30 градусов «окружности 2» относительно оси «Z», и командой «Отрезок» проводим отрезки, ограничивающие необходимый нам сектор на экваторе (окружность 1). После выполнения указанных действий мы обязательно получаем 3 окружности в разных плоскостях как показано на рисунке 4 (для удобства и наглядного восприятия окружности можно делать разных цветов).

Этап 2. Построение окружностей для вписания шестиугольной сети. Для формирования листинга с определенным шагом главных линий в данном случае 15 градусов, нам необходимо задать «Пользовательскую систему координат» (далее ПСК) плоскости окружности 3 с помощью кнопки  на панели задач и выбрать точки 1, 2, 3 (рис. 4). Затем скопировать «отрезок 1» с поворотом с базовой точкой в центре сферы с шагом 15 градусов (в общем случае – шаг главных линий).

Для этого необходимо нажать кнопку «Повернуть»  и в командной строке на запрос «базовая точка» указать центр сферы. Затем следует нажать «Копия», после чего указать «Шаг

базовой точкой в центре сферы с шагом 15 градусов (в общем случае – шаг главных линий). Для этого необходимо нажать кнопку «Повернуть»  и в командной строке на запрос «базовая точка» указать центр сферы. Затем следует нажать «Копия», после чего указать «Шаг

главных линий» (в нашем случае 15 градусов), после этого произвести те же самые действия со следующим отрезком и так далее, пока последующий отрезок не совпадет с отрезком 2. Необходимо также копировать отрезок 1 с поворотом на угол (15, 30, 45, 60, 75, 90); в конечном итоге должно получиться так, как показано на рисунке 5.

Для дальнейших построений необходимо построить «отрезок 4» – установить «Мировую систему координат», выделить «отрезок 1», нажать кнопку «Повернуть»  и в командной строке на запрос «базовая точка» указать центр сферы. Затем нажать «Копия» и

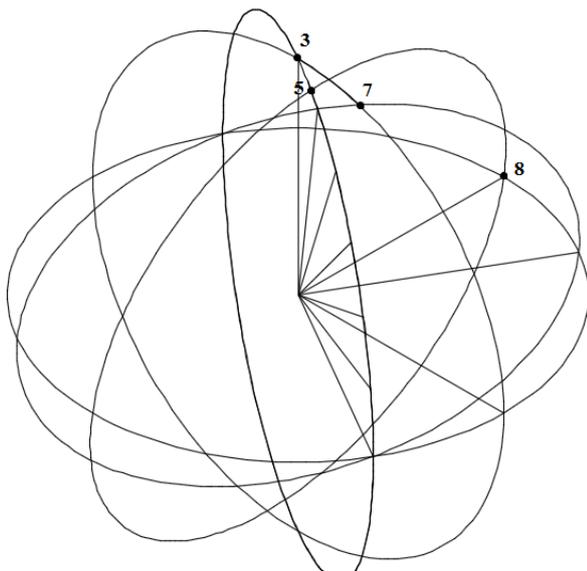


Рис. 5.

после этого указать угол поворота 90 градусов. Так мы получаем «отрезок 4». Следующим этапом построим отрезок 5 по тому же принципу, только поворотом на 90 градусов «отрезка 3». Тем самым получаем точку 8, как показано на рисунке 5.

После этого необходимо построить окружность 5; ее плоскость перпендикулярна плоскости окружности 3 и находится в плоскости, образованной точками [0,0,0]: точка 5, точка 6. Для построения окружности 5 необходимо задать ПСК, образованную точками

1, 5, 6, и провести окружность в этой плоскости с центром [0,0,0]. Следует радиусом указать точку 5 (рис. 5).

Затем необходимо провести «окружность 6» единичного радиуса перпендикулярно «окружности 2», проходящую через центр основной сферы и середину дуги, ограниченной точками 3 и 7 (рис. 5).

Для данного построения нам необходимо задать ПСК по точкам 3, 1, 4; используя объектную привязку «Ближайшая», командой «Дуга» начертить дугу с центром в точке 1, длину установить точками 3, 7 и выбрать одну произвольную точку на окружности, ограниченной точками 3 и 7. После этого мы зададимся новой ПСК, которая будет определяться точками: 1, 8, и точкой, которая будет являться серединой дуги 3-7 (середины дуги следует задавать при помощи объектной привязки «Середина»).

Таким образом, мы получили точки 3 и 7. Они являются центрами окружностей, в которые в дальнейшем будет вписаны шестиугольники сети. На основе вписанных шестиугольников мы построим треугольные сети на сфере. Отрезки 3-5 и 5-7 являются радиусами 1-ой и 2-ой окружности сети соответственно.

Вначале удаляем все ненужные для дальнейших построений линии и приступаем к построению первой окружности сети. Для этого проведем отрезок 1-5 и отразим его зеркально относительно отрезка 1-3 в плоскости 3, 1, 2 и в плоскости 3, 1, 8 или в двух любых других плоскостях которым принадлежит отрезок 1-3. Таким образом, мы получаем три точки окружности, которая лежит на поверхности сферы. Затем необходимо задать новую ПСК, которая определяется тремя полученными точками, после этого командой «Окружность, три точки» построить первую окружность сети (рис. 6).

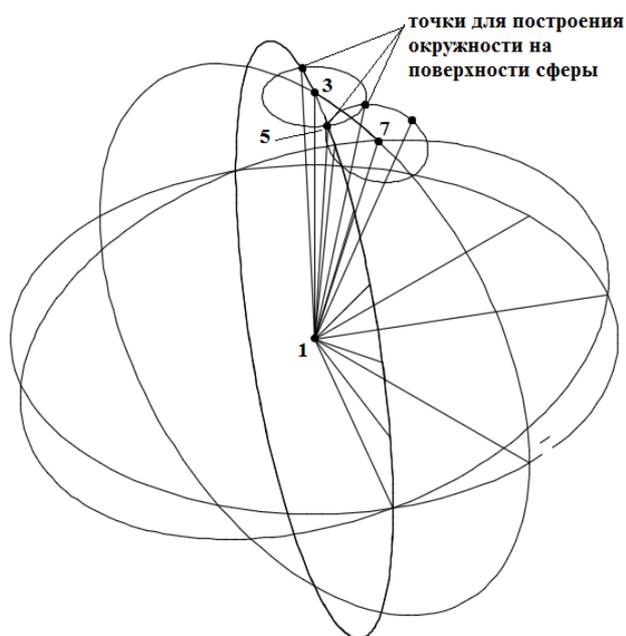


Рис. 6.

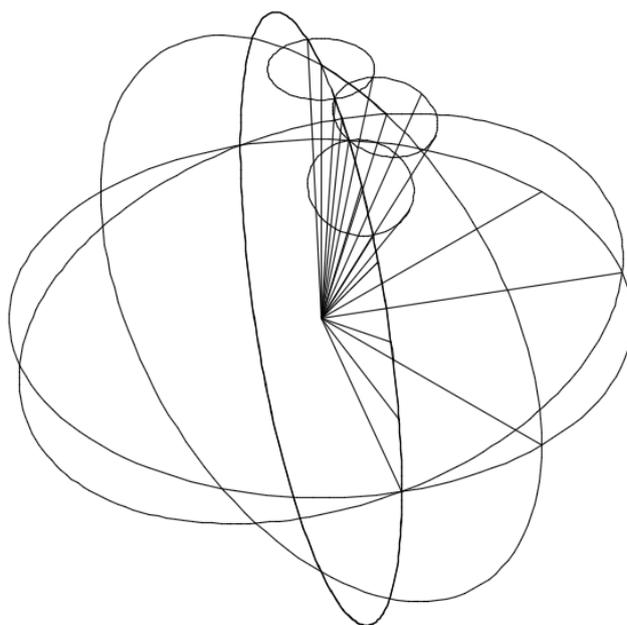


Рис. 7.

Следующим шагом мы приступаем к построению окружности 2, лежащей на поверхности сферы, ее центр будет располагаться на пересечении окружности 2 (рис. 4) и второй главной линии сферы, т.е. в точке 7. Для построения данной окружности нам необходимо задать новую ПСК, определяемую точками 1, 7, 8 и сделать зеркальное копирование отрезка 1-5 относительно отрезка 1-7. Так мы получим отрезок 1-8, где точка 8 является второй точкой окружности. Для построения окружности на поверхности сферы нам необходимо три точки, и мы задаемся новой произвольной ПСК так, чтобы отрезок 1-7 лежал в ее плоскости, и делаем зеркальное копирование отрезка 1-5 или 1-8. Таким образом мы получаем три точки для построения второй окружности. Далее мы определяем новую ПСК получившимися точками и командой «Окружность, три точки» строим вторую окружность.

Аналогично строим третью окружность с центром в точке пересечения «окружности 3» (рис. 4) и третьей главной линии (точка 10) (рис. 7). Для этого проведем отрезок 1-11, который находится на пересечении второй окружности, находящейся на окружности сферы и

«окружности 3» точка 11 (рис. 7). Далее задаемся новой ПСК, определенной точками 1, 10 и 8, и зеркально копируем отрезок 1-11, чтобы получить вторую точку окружности. Далее, по подобию предыдущих построений, задаемся новой произвольной ПСК, которой принадлежит отрезок 1-10, и копируем зеркально один из полученных отрезков, чтобы получить третью точку для построения окружности. Затем задаемся новой ПСК, определяемой тремя полученными точками, и по ним строим также окружность. Таким образом мы получаем третью окружность, которая лежит на поверхности сферы.

Центр четвертой окружности, лежащей на поверхности сферы, находится в точке пересечения окружности 2 и следующей главной линии (рис. 8). Построение производится аналогично построению второй окружности, лежащей на поверхности сферы.

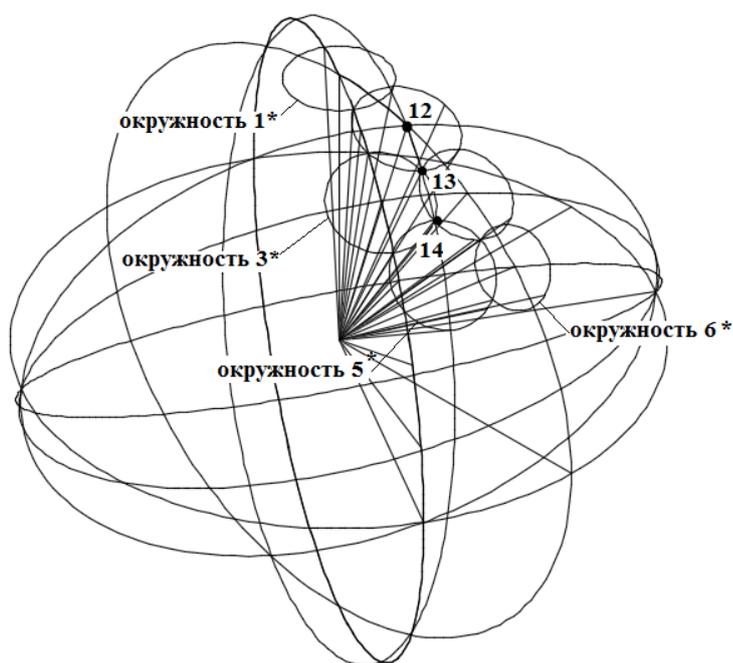


Рис. 8.

Точка центра следующей окружности лежит на пересечении следующей главной линии, перпендикулярной дуге-оси сектора сферы и окружности, проходящей через центр второй окружности, лежащей на поверхности сферы, и двух точках пересечения третьей и четвертой окружностей поверхности сферы. Для этого зададимся плоскостью, определяемой точками 12, 13, 14, и через них проведем искомую окружность. Таким образом мы получили центр окружности 5 в

точке пересечения получившейся окружности и главной линии (рис. 8). После этого строим шестую окружность аналогично окружности 4.

Далее для построения сектора из треугольной сети на сфере нам необходимо отразить зеркально получившиеся окружности таким образом, чтобы окружность 5 и окружность 6 остались на своем месте. Для этого зададимся новой ПСК и командой «Отразить зеркально»



получим окружности (рис. 9). Затем точно также отображаем все окружности относительно плоскости окружности 3. Таким образом, мы формируем сектор – лепесток оболочки на сфере (рис. 10).

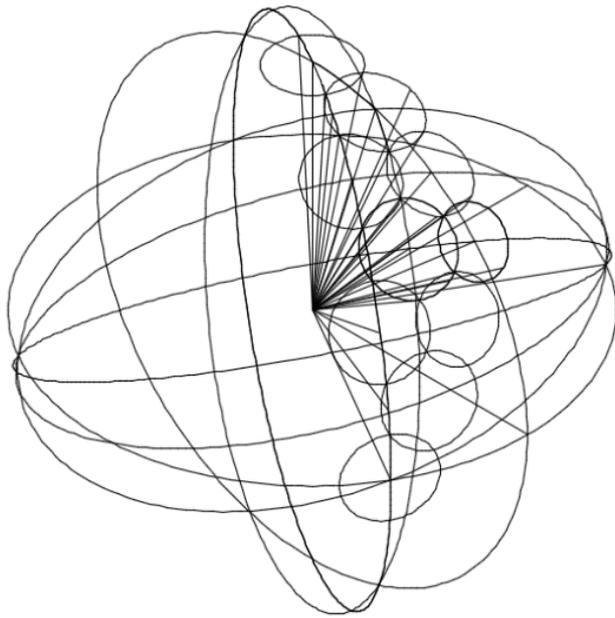


Рис. 9.

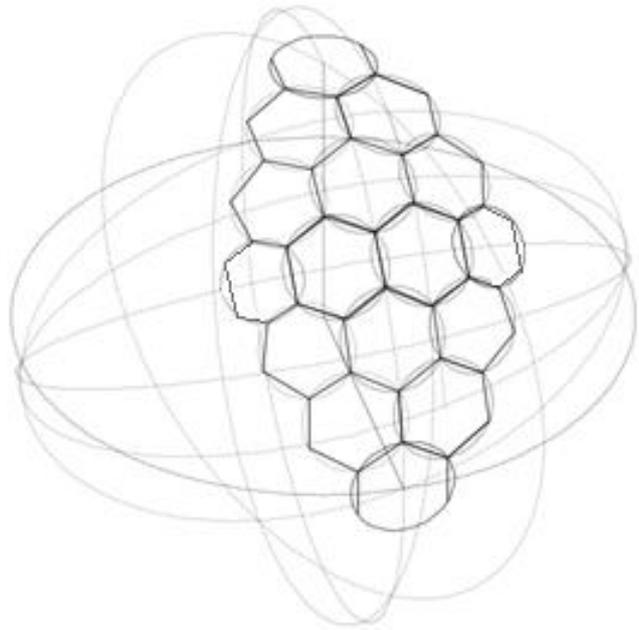


Рис. 10.

По точкам пересечений окружностей строим вписанные в окружность правильные и неправильные шестиугольники, тем самым получая структуру сектора сетчатого купола.

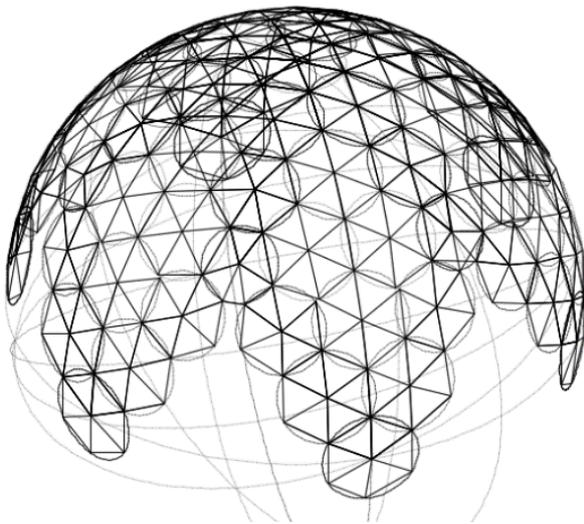


Рис. 11.

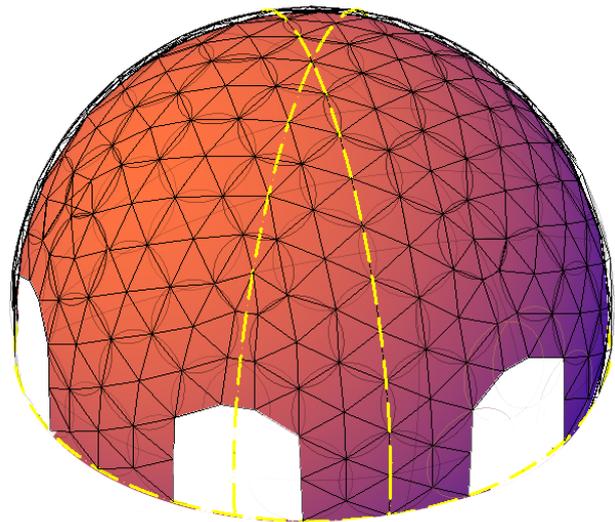


Рис. 12.

Этап 3. Формирование треугольной сети оболочки. Командой  «Поворот» с копированием на 60 градусов получаем полную сферу. Удаляем все вспомогательные линии построения (рис. 11) и добавляем шестиугольники или фрагменты их для образования проемов в покрытии купола (рис. 12).

Выводы. Разработанный графический метод построения сети системы «Транеран» значительно упрощает задачу проектирования реальных купольных покрытий. Сборные сферические оболочки могут применяться для покрытий зданий различного назначения, а также для устройства сферических отражателей в зеркальных антеннах и концентраторах энергии. По сравнению с аналогами, эти оболочки имеют максимум однотипных монтажных

элементов, возможности укрупнительной сборки и максимум эстетического качества при минимуме сборных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Г. Н. Композиционное формообразование кристаллических куполов и оболочек // Архитектура СССР. – 1977. – № 7. – С. 32.

2. Антошкин В. Д., Юркин Ю. В., Нежданов С. М., Комков Е. А., Нежданов Р. С. Комплексные инновационные технологии в процессе преподавания архитектурных дисциплин // Инновационные процессы в высшей школе: Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар: Изд-во ФГБОУ ВПО Куб. ГТУ, 2011. – С. 167–168.

3. Антошкин В. Д. Архитектурно-строительное проектирование крупнопанельных общественных зданий: учебное пособие – электронное издание с грифом Мин. обр. науки рег. № 659 от 15.12.2009. – Саранск: ГОУВПО «МГУ имени Н.П. Огарёва», 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

4. Антошкин В. Д., Никонов В. И. К вопросу оптимизации треугольной геометрической сети на сфере // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-8. – С. 1669–1673.

5. Травуш В. И., Антошкин В. Д., Ерофеев В. Т. Сборная сферическая оболочка. Патент на полезную модель №129534 от 27.06.13 г.

6. Травуш В. И., Антошкин В. Д., Ерофеев В. Т. Сборная сферическая оболочка. Патент на изобретение RU №2012116363 от 20.02.14 г.

7. Травуш В. И., Антошкин В. Д., Ерофеева И. В., Антошкин Д. В. Сборная сферическая оболочка. Патент на изобретение RU № 2564545 от 07.09.2015 г.