

УДК 624.971.2

ВИДЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЦЕРКОВНЫХ КУПОЛАХ

Котляров Максим Александрович, студент, направление подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: themrmax1997@yandex.ru

Сакипов Айболат Кажмуканович, студент, направление подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: aibolat.sakipov@yandex.ru

Научный руководитель: **Семагина Юлия Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: semagina@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные виды поверхностей, которые используются для создания куполов в церквях. На примере храмов Оренбургской области проведен обзор самых распространенных купольных конструкций. Сделаны выводы о том, какие виды поверхностей наиболее часто используются для создания куполов, и почему они являются оптимальными. Приведен пример формирования полигонального купола с использованием системы Компас-3D. Сложную архитектурную форму купола при работе в программе можно разбить на ряд простых геометрических элементов, которые можно построить по отдельности, а потом объединить, используя режим «сборка». Рассмотренные в статье вопросы могут быть актуальными не только применительно к строительной отрасли, но и любой другой, занимающейся моделированием поверхностей (в частности, авиации и космонавтики). Новизна исследования заключается в анализе купольных конструкций Оренбургской области с точки зрения геометрии поверхностей. Предложенная методика проектирования купольных конструкций может быть полезна как для студентов строительных направлений, так и для энтузиастов, самостоятельно изучающих систему Компас-3 D.

Ключевые слова: купол, Компас-3D, поверхности, поверхности вращения, храм, церковь.

Для цитирования: Котляров М. А., Сакипов А. К. Виды поверхностей в церковных куполах // Шаг в науку. – 2024. – № 1. – С. 53–59.

TYPES OF SURFACES IN CHURCH DOMES

Kotlyarov Maxim Aleksandrovich, student, training program 24.03.01 Rocket Systems and Cosmonautics, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: themrmax1997@yandex.ru

Sakipov Aibolat Kazhmukanovich, student, training program 24.03.01 Rocket Systems and Cosmonautics, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: aibolat.sakipov@yandex.ru

Research advisor: **Semagina Yulia Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer graphics, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: semagina@mail.ru

Abstract. The article considers the main types of surfaces that are used to create domes in churches. On the example of churches in the Orenburg region, a review of the most common dome designs is carried out. Conclusions are made about what types of surfaces are most often used to create domes and why they are optimal. An example of polygonal dome formation using Compass-3D system is given. Complex architectural form of the dome when working in the programme can be broken down into a number of simple geometric elements that can be built separately and then

combined using the «assembly» mode. The issues considered in the article can be relevant not only to the construction industry, but also to any other industry involved in surface modelling (in particular, aviation and astronautics). The novelty of the study lies in the analysis of dome structures of the Orenburg region from the point of view of surface geometry. The proposed methodology of designing dome structures can be useful both for students of civil engineering and for enthusiasts independently studying the Compass-3 D system.

Key words: domes, Compass-3D, surfaces, surfaces of rotation, temple, church.

Cite as: Kotlyarov, M. A., Sakipov, A. K. (2024) [Types of surfaces in church domes]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 1, pp. 53–59.

Купол – это пространственная форма покрытия здания или его элементов, имеющая вертикальную ось симметрии. Каркас ограничивающей поверхности купола формируется из выпуклых кривых, которые сходятся в одной точке. Если нижняя часть образующей проходит по многоугольнику или близкой к нему кривой, то такое покрытие называется куполом с многогранным основанием.

При строительстве зданий часто используются поверхности вращения – тор, сфера, глобоид и др. Купо-

ла могут быть построены из множества одинаковых панелей, имеющих форму многоугольника. Такой метод называется паркетирование [1; 3].

Чаще всего купольные конструкции состоят из двух частей: основания, называемого барабаном, и соединенного с ним купола (см. рисунок 1). Как показывают наблюдения авторов, барабан может быть выполнен в виде цилиндрической поверхности или многогранника.

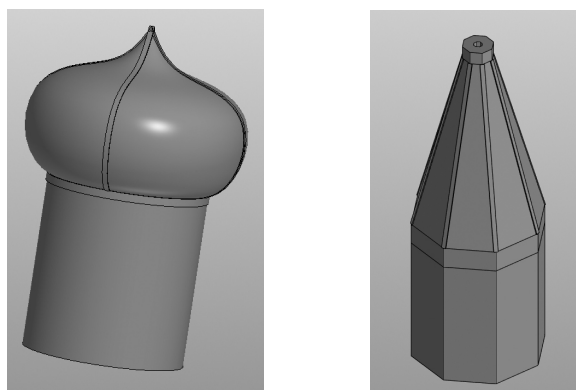


Рисунок 1. Типовая конструкция купола храма

Источник: разработано авторами

Проведенный анализ литературы показал, что чаще всего при конструировании куполов используются минимальные поверхности (в частности, поверхности вращения), которые, в некоторых случаях, могут быть аппроксимированы многогранниками или другими сложными поверхностями (например, полигональные купола) [5].

Для участия в международной олимпиаде по геометрическому моделированию необходимо уметь создавать различные сложные поверхности, напоминающие купольные. Этот навык может пригодиться не только для формирования строительных объектов, но также в авиа- и ракетостроении, где подобные конструкции играют важную роль.

В процессе рассмотрения научно-технической литературы авторами статьи сформирована следующая

цель: изучить виды поверхностей в церковных куполах.

Поставленная цель требовала решения следующих задач:

- проанализировать поверхности, которые используются при проектировании куполов;
- на основе проведенного анализа определить существующие закономерности;
- применить полученные знания на практике.

Исследовались купольные сооружения церквей Оренбурга и Оренбургской области.

На севере Оренбургской области расположен храм Святой Екатерины, один из самых красивых храмов в регионе. Главную башню храма венчает (см. рисунок 2) луковичный купол, т.е. купол выпуклой формы, напоминающий луковичу с острым кончиком. В основании купола установлен барабан, имеющий форму цилиндра.



Рисунок 2. Главный купол церкви Святой Екатерины снаружи и внутри
Источник: фото выполнено авторами

В центре Оренбурга находится собор Святого Николая Чудотворца. Купол собора имеет сферическую форму, верхушка которого, в отличие от луковичного купола, не вытянута сильно вверх. Основание купола представляет собой цилиндрический барабан с боль-

шим количеством окон. Такое решение увеличивает приток естественного света в здание, что визуально расширяет пространство под куполообразным помещением. На рисунке 3 представлена фотография исследуемого купола снаружи и внутри.

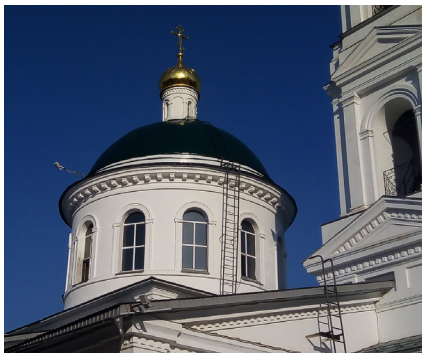


Рисунок 3. Купол кафедрального собора Святого Николая снаружи и внутри
Источник: фото выполнено авторами

В 30 километрах от Оренбурга расположен храм святой блаженной Матроны Московской (см. рисунок 4). Главный купол храма ограничивается отсеком по-

верхности вращения, по форме похожей на воинский шлем. Параллель максимального радиуса конструкции лежит в плоскости основания купола.

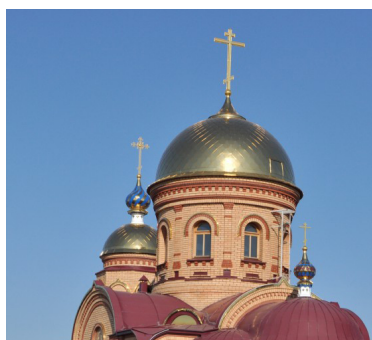


Рисунок 4. Купол блаженной Матроны Московской, вид снаружи, внутри

Источник: снимок заимствован с сайта СОБОРЫ.РУ – URL: <https://sobory.ru/article/?object=26794> (дата обращения: 21.07.2023)

В селе Державино Оренбургской области находится храм, посвященный Смоленской иконе Божьей матери (см. рисунок 5). Здесь можно найти весьма редкий для православных куполов дискообразный купол-

блюдец – самый низкий из рассмотренных куполов, являющийся разновидностью сферического купола в урезанном виде.



Рисунок 5. Храм Смоленской иконе Божьей матери, вид снаружи, изнутри

Источник: снимок заимствован с сайта НАШУРАЛ – URL: <https://nashural.ru/dostoprimechatelnosti-urala/orenburgskaya-oblast/hram-v-orenburgskoj-oblasti-postroennyj-poetom-g-r-derzhavinym/> (дата обращения: 21.07.2023)

Полигональные купола – образованы несколькими гранями. В отличие от других глав с плавными переходами, такие купола имеют углы. Сечения полигональных куполов имеют форму многоугольника [7]. Известнейшим представителем куполообразного сооружения полигональной формы является собор

Санта-Мария-дель-Фьоре во Флоренции. Купол полигональной конструкции в Оренбурге можно увидеть в церкви Введения во храм Пресвятой Богородицы (см. рисунок 6). В качестве барабана использована восьмигранная призма.

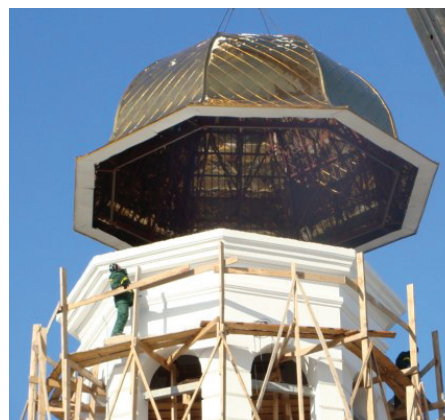
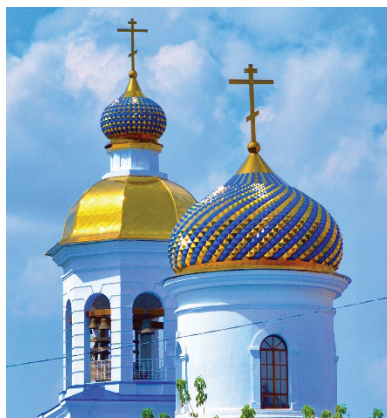


Рисунок 6. Купол колокольни церкви Введения во храм Пресвятой Богородицы, вид снаружи, внутри

Источник: снимок заимствован с сайта ВКонтакте – URL: <https://vk.com/club72484155> (дата обращения: 21.07.2023)

Шатровая форма купола представляет собой пирамиду с несколькими одинаковыми гранями. В церкви Вознесения Господня в Москве купол имеет форму восьмигранной пирамиды (рисунок 7, слева). В пра-

вославных церквях Оренбурга нет шатровых куполов, поэтому рассмотрена мечеть «Хусаиния» с куполом в форме шестигранной пирамиды, украшенной узорами и орнаментами (см. рисунок 7, справа).



Рисунок 7. Церковь Вознесения Господня вид снаружи, изнутри, мечеть «Хусаиния»

Источник: снимок заимствован с сайта Wikipedia – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Церковь_Вознесения_Господня_в_Коломенском (дата обращения: 21.07.2023); с сайта ВКонтакте – URL: <https://vk.com/albums-91670241> (дата обращения: 21.07.2023)

Проведенный обзор позволяет сделать вывод о том, что чаще всего при конструировании куполов православных храмов применяются поверхности вращения, являющиеся производными сферы – речь идет о луковичных, шлемовидных, и собственно, сферических куполах. По мнению авторов, это происходит по следующим причинам:

- поверхность сферы имеет максимальный внутренний объем при минимальной наружной поверхности, что делает ее экономичной в использовании и позволяет создавать красивые сооружения с большим пространством внутри;
- сфера проста в проектировании и легко стыкуется с другими поверхностями (цилиндрическими, коническими), это видно на рисунке 1, что упрощает процесс создания купола и позволяет создавать функциональные и эстетически привлекательные сооружения.

Именно проблемы стыковки оставили собор Санта-Мария-дель-Фьоре, стены которого выстроены в форме призматических поверхностей, без купола более чем на сто лет. Шатровые и полигональные купола (см. рисунок 1, справа), по мнению авторов, применяются для соединения с поверхностями, имеющими форму многогранников (призм, усеченных пирамид).

При проектировании моделей купольных храмов литературные источники предполагают использование графических пакетов AutoCAD и 3DMAX [2; 4; 6; 8]. Однако на момент написания статьи лицензия на эти пакеты не распространяется на территории России, поэтому студентам приходится переходить

на отечественное программное обеспечение.

Для проектирования авторами статьи был выбран полигональный купол, как наиболее сложный из рассмотренных. Купол выполнен с применением системы Компас-3D в бесплатной студенческой версии программы¹. Проектирование выполнялось в несколько этапов:

1. Создание каркаса купола на первом этапе требует создания основы для дальнейшей работы с использованием многоугольников и ребер, которые образуют сегменты поверхности (см. рисунок 8).
2. После создания каркаса, необходимо добавить ребра и грани для определения формы купола (см. рисунок 9).
3. После создания основной формы купола необходимо было соединить ее с основанием (барабаном). Для этого выбран формат файла «сборка». В результате был получен окончательный проект, который представлен на рисунке 10.
4. Проверка модели. На последнем этапе необходимо проверить модель на наличие ошибок и несоответствий.

После проверки модели, нужно выполнить ее визуализацию для проверки правильности и соответствия требованиям. Если модель готова, ее можно распечатать, экспортировать в другие форматы или использовать в других программах

В своем исследовании авторы пришли к выводу, что использование полигональной модели при проектировании купольных сооружений является эффективным и практичным подходом к созданию сложных архитектурных форм и текстур с высокой детализа-

¹ ООО «АСКОН – Системы проектирования». САПР Компас 3D [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: ascon.ru 2022. –URL: <https://kompas.ru/kompas-educational/about/> (дата обращения: 04.07.2023).

цией и гибкостью. В дальнейшем авторы планируют продолжение работы над составными поверхностями с использованием программы Компас 3D, в частно-

сти, есть идея создания твердотельных моделей методом паркетирования.

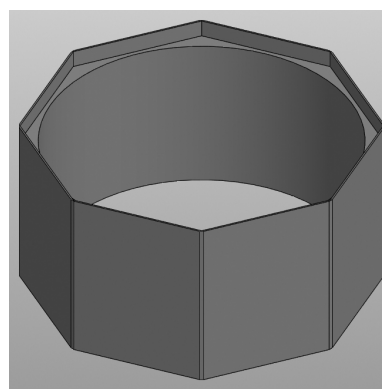
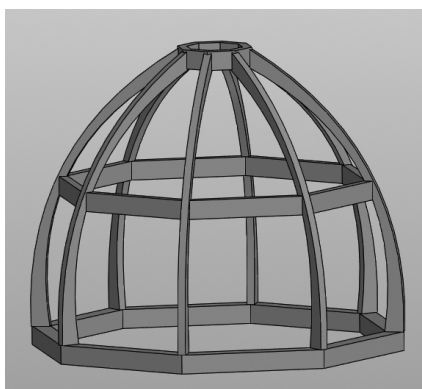


Рисунок 8. Каркас полигонального купола и основание
Источник: разработано авторами

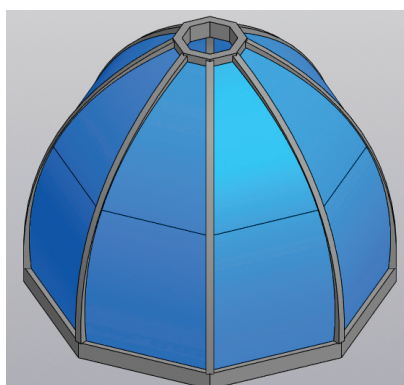


Рисунок 9. Полигональный купол с гранями
Источник: разработано авторами

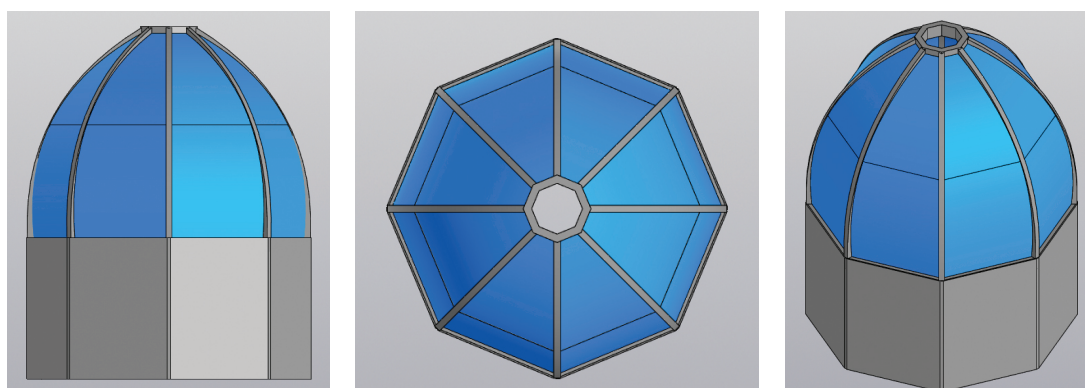


Рисунок 10. Результат проектирования 3D-модели полигональной купольной конструкции в программе «Компас 3D»

Источник: разработано авторами

Выводы

Анализ литературы показал, что при проектировании куполов в церкви чаще всего используются поверхности вращения. Однако в некоторых случаях возможно использование многогранников или других сложных поверхностей.

На примере храмов Оренбурга был проведен обзор существующих конструкций куполов. Результаты подтвердили выводы, полученные на основе

анализа литературы.

На основе проведенного анализа были выявлены наиболее эффективные схемы конструкции купольных сооружений, которые можно использовать при их проектировании и строительстве.

В статье предложены практические рекомендации по формированию купольной конструкции в системе Компас-3D, включая выбор типа поверхности, расчет размеров и проектирование каркаса.

Литература

1. Антошкин В. Д. Сборные сферические оболочки с шестиугольными панелями на основе сети Чебышева // Приволжский научный журнал. – 2022. – Т. 3, № 63. – С. 22–36.
2. Барчугова Е. В., Рочегова Н. А. Компьютерные технологии в архитектуре (пленарный доклад) // Наука, образование и экспериментальное проектирование: Материалы международной научно-практической конференции 11–15 апреля 2011 г.: Сб. статей – М.: МАРХИ, 2011. – С. 22–25.
3. Вованов Д. А. Компьютерные способы построения храмовых архитектурных форм православных церквей с использованием AutoCAD и 3DMAX // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 12. – С. 221–224.
4. Князьков В. В. Технологии САД-систем в инженерном графическом образовании // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2012. – № 4 (Апрель). – С. 46–50.
5. Тимофеев А. А. Алгебраические поверхности вращения // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы V Всероссийской научно-технической конференции молодых исследователей (с международным участием), Волгоград, 23–28 апреля 2018 г. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2018. – С. 343–345.
6. Хейфец А. Л. Инженерная компьютерная графика. AutoCAD. Опыт преподавания и широта взгляда. – М.: Диалог-МИФИ, 2002. – 427 с.
7. Цвингман Г. А. Основные типы куполов, их конструкция и архитектура // Проблемы архитектуры: сборник материалов / под ред. А. Я. Александрова. – М.: Издательство Всесоюзной Академии архитектуры, 1936. – Т. 1, кн. 2 – С. 385–455.
8. Шубенкова М. Ю. Компьютерное моделирование как средство архитектурно-исторического анализа // Архитектура и современные информационные технологии. – 2008. – № 2(3). – С. 12.

Статья поступила в редакцию: 26.07.2023; принята в печать: 06.03.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.