

А.Я. Лахов

**СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И РАСЧЕТА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ
КУПОЛОВ С ОТКРЫТОЙ
АРХИТЕКТУРОЙ**

Монография

**Воронеж
Издательство «Научная книга»
2015**

УДК 721
ББК 38.58
Л 29

Рецензенты:

Райкин Л.И., канд. техн. наук, доцент кафедры графических информационных систем НГТУ;
Альпидовский А.Д., канд. техн. наук, доцент кафедры управления транспортом ВГУВТ

Л 29 Лахов, А.Я. Система проектирования и расчета геодезических куполов с открытой архитектурой: Монография/ А.Я. Лахов. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2015. – 160 с.

ISBN 978-5-98222-872-7

Книга посвящена проблемам разработки системы проектирования и расчета геодезических куполов. Геодезические купола – это класс конструкций, основанный на разбивке их поверхности на элементы геодезическими линиями. Приводится описание разработки информационной системы проектирования и расчета геодезических куполов GeoTran. Представлена классификация геодезических куполов. Рассмотрена модификация библиотечных объектов ArchiCAD геодезических куполов, необходимая для их дальнейшего расчета. Дается описание программ трансляции геометрических моделей геодезических куполов в конечно-элементную систему расчета. Рассматривается применение Patran/Nastran для расчета геодезических куполов на статические нагрузки. Рассматриваются вопросы расчета геодезических куполов на взрывное воздействие в Patran/Dytran. Представлено описание примеров расчета геодезических куполов на различные воздействия.

Для научных и инженерно-технических сотрудников проектных организаций, НИИ, строительных организаций, бакалавров и магистров строительных вузов.

УДК 721
ББК 38.58
Л 29

ISBN 978-5-98222-872-7

© Лахов А.Я., 2015

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Задача проектирование и расчета геодезических куполов.....	9
1.1 Современное состояние вопроса	9
1.2 Структурная модель предметной области.....	12
Глава 2. Проблемы проектирования геодезических куполов.....	25
2.1 Классификация геодезических куполов и оболочек	25
2.2 Проблемы разбивки одноконтурных геодезических куполов.....	33
2.3 Проблемы разбивки двухконтурных геодезических куполов	49
Глава 3. Трансляция геометрических моделей геодезических куполов	58
3.1 Трансляция геометрических моделей одноконтурных геодезических куполов из ArchiCAD в Patran.....	58
3.2 Трансляция геометрических моделей двухконтурных геодезических куполов из ArchiCAD в Patran.....	66
Глава 4. Проблемы расчета геодезических куполов	74
4.1 Проектирование и расчет одноконтурных геодезических куполов.....	74
4.2 Исследование НДС одноконтурных геодезических куполов.....	82
4.3 Исследование НДС двухконтурных геодезических куполов	94
Глава 5. расчет геодезических куполов на взрывное воздействие	103
5.1 Моделирование взрывного воздействия.....	103
5.2 Методы расчета деформируемых геодезических куполов на взрывное воздействие	115

5.3 Методы расчета разрушаемых геодезических куполов	124
5.4 Конструкционные способы повышения взрывобезопасности геодезических куполов	128
Глава 6. Примеры расчета геодезических куполов.....	133
6.1 Расчет купола системы «П» от воздействия снеговой нагрузки..	133
6.2 Расчет купола системы «Р» от воздействия ветровой нагрузки ..	138
6.3 Расчет купола системы «П» на устойчивость	144
6.4 Расчет купола системы «ПР» с железобетонным опорным кольцом.....	148
Список литературы.....	154

Введение

В связи с дальнейшим развитием регионов в Российской Федерации ведется с большим размахом и высокими темпами промышленно-гражданское строительство. При этом нередко приходится осуществлять строительство промышленных и гражданских зданий с повышенными архитектурными требованиями. Применение же геодезических куполов значительно повышает архитектурную выразительность построенного сооружения. Стоимость же строительства геодезических куполов составляет значительную долю от стоимости всего сооружения. Поэтому проектирование и расчет экономических схем и конструкций геодезических куполов является весьма важной и ответственной задачей в общем комплексе проектирования и строительства сооружений и в значительной степени зависит от совершенства методов их расчета.

При строительстве промышленных и гражданских зданий нашли широкое применение перекрытия в виде геодезических куполов. В настоящее время купола принято разделять по типу конструкции на: 1) ребристые, 2) ребристо-кольцевые, 3) ребристо-кольцевые со связями, 4) сетчатые, 5) пластинчатые, 6) купола-оболочки (сплошные). Формообразование сетчатых и пластинчатых куполов может быть основано на применении многогранников, вписанных в сферу. Такие купола формируют из сферы, первичная разбивка которой производится по геодезическим линиям, проведенным через вершины вписанных многогранников.

Данный тип конструкций находит свое применение из-за:

1. архитектурных достоинств, обеспечиваемых только разбивкой поверхности на элементы,
2. возможностью перекрывать большие пролеты с помощью сооружений из небольшого числа типовых элементов,

3. наличие двухконтурных куполов, которые обеспечивают увеличение прочности и устойчивости конструкции.

Вопросы обоснования геодезических разбивок и выполнения соответствующих вычислений нашли адекватное решение в работах отечественных исследователей (Павлов Г.Н.). Однако, вопросы прочностного расчета геодезических куполов не нашли современного решения, базирующегося на методе конечных элементов.

Известно два основных подхода к расчету пластинчатых куполов:

1. пластинчатый купол представляется в виде сплошной полусферической оболочки. Далее пластинчатую конструкцию заменяют сплошной оболочкой, проводят расчет по безмоментной теории и затем выполняют обратный переход к усилиям в дискретной системе.

2. пластинчатый купол рассматривают как дискретную систему и рассчитывают МКЭ. Этот подход реализуется с помощью компьютерных расчетов и программ компьютерной механики.

В настоящее время ведутся исследования в направлении расчета пластинчатых куполов МКЭ, опубликовано ряд работ. Однако, при расчетах геодезических куполов, формообразование которых основывается на применении многогранников, вписанных в сферу (автор разбивок Павлов Г.Н.), не применялся метод конечных элементов и программы компьютерной механики. Поэтому проблема создания CAD-CAE системы автоматизации проектирования и расчета геодезических куполов приобретает особую актуальность.

Проектирование и расчет геодезических куполов предполагает: моделирование геодезического купола, выполнение расчета сформированного объекта и визуализацию модели с организацией взаимодействия проектировщика и компьютера. Для выполнения этих этапов необходимо формализовать модель объекта проектирования. Далее, необходимо применить существующие программные средства расчета к имеющейся модели. Да-

лее, необходимо решить задачу визуализации имеющихся моделей и результатов расчетов.

В работе рассмотрены вопросы проектирования геодезических куполов, выполнения разбивок одноконтурных и двухконтурных геодезических куполов с помощью САД программ, пригодности получаемых геометрических моделей к трансляции в программы САЕ и проблемы, возникающие при разработке на их основе, расчетных схем КЭ расчета, вопросы модификации библиотечных объектов ArchiCAD, создания геодезических куполов.

Далее, разработаны программы трансляции геометрических моделей куполов из системы архитектурного проектирования ArchiCAD в систему конечно-элементного расчета Patran/Nastran, приведены качественные и количественные характеристики программ. Разработаны алгоритмы и блок-схемы программ, описана разработка программ, приведено руководство пользователя программ, приведены примеры использования программ для трансляции геометрических моделей одноконтурных и двухконтурных геодезических куполов.

Далее, разработаны методики расчета геодезических куполов, в которых используется система компьютерного расчета МКЭ Patran/Nastran, которые позволяют выполнять расчеты от воздействия собственного веса, от снеговой нагрузки, от ветровой нагрузки. Выполнены исследования НДС геодезических куполов от воздействия собственного веса, получены эмпирические формулы максимальных напряжений, возникающих в геодезических куполах, в зависимости от параметров куполов.

Далее, разработаны методики динамического расчета геодезических куполов, в которых используется система компьютерного расчета МКЭ Patran/Dytran, которые позволяют выполнять расчеты от взрывного воздействия, выполнено компьютерное моделирование взрывного воздейст-

вия, выполнены расчеты деформируемых геодезических куполов на взрывное воздействие, выполнены расчеты разрушаемых геодезических куполов на взрывное воздействие, исследованы вопросы визуализации разрушений.

Использованы численные методы расчета - метод конечных элементов для задачи статического расчета, явный метод для решения задачи динамического расчета конструкций на взрывное воздействие, метод разделов для решения задачи взаимодействие потоков и конструкций. Задача трансляции геометрических моделей из CAD в CAE систему решается с помощью синтаксически ориентированного подхода: выделения структуры входной последовательности символов и выполнения семантических действий при распознавании определенных нетерминалов.

Научное издание

Лахов Андрей Яковлевич

**СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ
КУПОЛОВ С ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

Монография

Издание публикуется в авторской редакции

Дизайн обложки С.А.Кравец

Подписано в печать 28.05.2015. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ.л. 10,0. Заказ 000. Тираж 500 экз.

ООО Издательство «Научная книга»
394077, Россия, г.Воронеж, ул. 60-й Армии, 25-120
<http://www.sbook.ru/>

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Цифровая полиграфия»
394036, г. Воронеж, ул. Ф. Энгельса, 52.
Тел.: (473)261-03-61