



Universitatea Tehnică a Moldovei

ANALIZA CUPOLELOR DIN LEMN

Masterand: gr. IS – 1501M
Vsevolod NAZARENCO

Conducător: conf. univ. dr.
Mihai TURCULET

Chișinău – 2017

РЕЗЮМЕ

В работе рассмотрены проблемы большепролетного куполостроения из деревянных элементов. Она посвящена исследованию вопроса устойчивости подобного рода сооружений и исследованию преимуществ древесины по сравнению с иными материалами на примере сетчатого купола пролетом 100 метров. Изучены наиболее распространенные виды подобных пространственных конструкций и специфика расчета каждого из них. Куполостроение постепенно набирает масштабы, но как правило представляет собой небольшие конструкции под заказ частными собственниками, реже более крупных спортивных сооружений полуоткрытого характера. В работе выполнена попытка рассмотреть возможности построения масштабной конструкции с использованием в каркасе коротких деревянных стержней, чтобы задействовать местные ресурсы. Такой подход позволит весомо сэкономить стоимость транспортных и монтажных расходов по сравнению со сталью или железобетоном за счет легкости элементов.

Исследование выполнено на основании теоретической базы, представленной различными нормативами и справочниками по формообразованию сетки, рекомендуемым параметрам конструкций, узловым соединениям, порядку, а также методов расчета. Модели куполов, представленных в работе, смоделированы и рассчитаны как дискретные стержневые системы методом конечных элементов при помощи таких программ как ЛИРА и SCAD. Полученные в расчетах данные представлены в виде графиков, дающих возможность наглядно сравнить экономичность и прочность различных вариантов конструкции. Итоги исследования о проделанной работе, а также рекомендации представлены в главе “Заключение”.

Работа представлена на 68 листах. Она состоит из шести глав, содержит 46 рисунков, 8 таблиц, ссылается на 29 библиографических источников.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ	5
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.....	6
2.1 Общие сведения о купольных конструкциях. Классификация.....	6
2.2 Формообразование сетчатых куполов.....	9
3. УЗЛОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ КУПОЛОВ.....	17
3.1. Общие данные о узловых соединениях. Конструкция опорного кольца.....	17
3.2. Распространенные виды узлов сетчатых куполов.	21
4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЕТЧАТЫХ КУПОЛОВ.....	30
4.1. Общие сведения по методам расчета.	30
4.2. Расчет купола по безмоментной теории.....	34
4.3. Определение усилий от собственного веса.....	34
4.4. Определение усилий от снеговой нагрузки	36
4.5. Определение краевых усилий в месте сопряжения купола с опорным кольцом.	40
4.6. Расчет купола как дискретной стержневой системы.	43
5. СОВРЕМЕННАЯ СИТУАЦИЯ В КУПОЛОСТРОЕНИИ.....	49
6. ЧИСЛЕННОЕ ИСЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КУПОЛОВ.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
БИБЛИОГРАФИЯ.....	67

ВВЕДЕНИЕ

Купольные конструкции, созданные в древнем Риме, ранее использовались из эстетических соображений для зодчества церквей и мечетей. В наши дни ученые раскрыли потенциал данных конструкций, используя их в качестве выставочных павильонов, складских, просторных сооружений научного, торгового или спортивного характера. В последнее время используются и в качестве жилых домов, особенно в районах с суровыми климатическими условиями, в частности шквалистыми ветрами и снегопадами.

Для изучения были выбраны конкретно деревянные купольные конструкции, поскольку древесина представляет собой недооцененный, но качественный материал. При ее небольшой массе она обладает значительной прочностью и упругостью. Чем больше купол, тем легче и прочнее его конструкция, так как сеть геодезических линий предлагает геометрию самой прочной и экономически структурной системы, а геодезическая решетка распространяет напряжение и натяжение в наиболее экономичной манере. Равномерность распределения нагрузки по всей оболочке купола позволяет изъять до 50% треугольников из решетки без потери устойчивости. Кроме того, при условии использования коротких элементов в конструкции, можно использовать в том числе и местные материалы.

Изучением куполов занимались активно множество ученых в середине 20 века, работы которых легли в основу современных расчетов конструкций в виде полусферы. Среди них стоит выделить труды М. Липницкого и М. Гаппоева, разработавших различные конструктивные модификации для ребристых куполов. Крупным инноватором в данной области заслуженно считается Р. Фуллер. На протяжении своей жизни он пытался популяризовать геодезический купол - конструкцию, собранную из прямых стержней, образующих геодезическую структуру. Доктор Фуллер заметил, что с ростом размеров купола растет и его несущая способность за счет распределения нагрузки на большое количество элементов, но прежде всего купол его заинтересовал, поскольку обладает большим внутренним пространством при малой массе. Разработки вызвали интерес и Фуллеру поступило предложение спроектировать купола для офиса компании "Ford Motors", купола ботанического сада в Сент-Луисе. При его участии была построена Монреальская биосфера- обширная сферическая конструкций пролетом 72 метра и высотой 62 метра с частотой резки V16, служившая павильоном США на международной выставке ЭКСПО-67, ныне служащая музеем. Сегодня изучением куполом активно занимается ученый

В.И.Тур, написавший ряд книг по принципам расчета куполов, в том числе и с помощью метода конечных элементов с применением современных программ.

На сегодняшний день в строительстве стоят вопросы быстрого и масштабного монтажа, используя при этом экономичные материалы. Следует отметить, что из всех применяемых в строительстве материалов только древесина является восстанавливаемым ресурсом. При строительстве купольных конструкций массово используется сталь и железобетон, однако древесные материалы позволяют строить не менее устойчивые купола, покрывая большие пролеты. Кроме того остро стоят проблемы повышения надежности, прочности и долговечности конструкций и сооружений. Поэтому разработка, исследование и совершенствование купольных конструкций на основе древесины не только актуальны, но и определяют новизну. В связи с экологическими проблемами, чаще эксплуатируются деревянные конструкции.

Энергоемкость изготовления деревянных конструкций в 4 раза меньше, чем например энергоемкость только изготовления цемента для равноценного количества железобетона для аналогичной конструкции. Опытные данные показывают, что чаще всего выбор в пользу деревянных элементов конструкции снижает сметную стоимость на 15 %. Если же здание строится под склад или иное помещение с химически-агрессивной средой, то применение древесины увеличивает срок службы конструкции в 3 раза по сравнению со сталью или железобетоном, а трудоемкость строительного производства снижается на 20%.

Актуальность работы заключается в практичности применения древесины как экономичного и прочного материала в строительстве куполов для покрытия больших пролетов и площадей. Сравнивая купола с зданиями квадратного очертания в плане, несложно заметить, что поверхность шара на четверть меньше куба такой же площади, следовательно и материалов на строительство каркаса купола требуется гораздо меньше. Купола обладают большой несущей способностью. Также они обладают идеальной аэродинамической формой, благодаря чему их можно возводить в ветреных и ураганных районах. Благодаря аэродинамическому эффекту конструкции ветер огибает купол с меньшим сопротивлением.

К сожалению в Республике Молдова не имеется собственной нормативной базы, в связи с чем изучение темы проводилось с помощью актуализированных нормативных документов соседних стран, в частности СП 64.13330.2011 “Проектирование деревянных конструкций” Еврокода 5 “Проектирование деревянных конструкций”.

Крупнейший на сегодняшний день цельно деревянный купол, расположенный в США и используемый как торговый центр, имеет пролет 161 м. Изучение возможностей древесины

для создания пространственной конструкции покрывающей пролеты еще большей величины это одна из целей работы.

Зачастую при конструировании сетчатых геодезических куполов используются стандартные модели разрезки поверхностей V2-V5, которые позволяют быстро смоделировать его и посчитать расход материала, однако при подобных стандартных системах разрезки нет возможности запроектировать купол большого пролета, используя при этом короткие элементы, длиной не более 5 м.

В дальнейшем тема будет исследована путем рассмотрения теоретических основ проектирования и принципов работы пространственных конструкций в виде куполов, а также расчетом нескольких моделей деревянного сетчатого купола, пролетом от 100 до 300 метров, выполненных из коротких элементов круглого сечения, различной конфигурации сетки, различной высоты и т.д.

Цель работы заключается в разработке, моделировании, расчете, исследовании сетчатого деревянного купола.

Задачи научной работы сводятся к следующему:

- Изучения возможностей древесины для использования в строительстве купольных конструкций;
- Исследования методов расчетов куполов для покрытия больших пролетов;
- Исследование узловых соединений для определения наиболее устойчивых;
- Анализ работы элементов конструкции.