

Каркасно-Сеточная Модель Тентовой Тканевой Конструкции в Системе К3-ТЕНТ

Попов Евгений Владимирович, Шалимов Владимир Николаевич, Шалимова Ксения Валентиновна
Нижегородский Государственный Архитектурно-Строительный Университет, Нижний Новгород, Россия
popov@sandy.ru; vsh11@mail.ru; kvz21@mail.ru

Тентовые тканевые конструкции (ТТК) за последние 20 лет получили весьма широкое распространение, т.к. имеют неоспоримые преимущества при перекрытии больших площадей, предназначенных для размещения торговых центров, выставочных павильонов, а также спортивных сооружений. В условиях острого дефицита городских площадей они также являются незаменимыми. ТТК состоят из комбинаций разнообразных сложных поверхностей двойкой кривизны, из-за чего имеют весьма эстетичные формы. Однако именно поэтому их проектирование представляет собой чрезвычайно сложную задачу. Сложность также заключается в том, что форма ТТК при заданном каркасе неизвестна заранее, в силу специфики тканевых материалов, представляющих собой тонкие пространственные мембраны с нулевой изгибной жесткостью и работающие только на растяжение. В мировой практике проектирования ТТК сложилась следующая технологическая последовательность: определение формы тканевой конструкции, анализ ее нагружения и построение карты раскроя конструкции [1].

В данной работе представлено описание каркасно-сеточной модели ТТК, принятой в системе автоматизированного проектирования К3-Тент. Система К3-Тент является дальнейшим развитием системы FABRIC CAD, описанной в работе [3]. Первоначально, в системе FABRIC CAD была принята математическая модель ТТК, основанная на возможностях NURBS аппроксимации поверхностей. Сочетание математического аппарата МНС с аппаратом NURBS аппроксимации показало высокую эффективность [3]. Дальнейшая модернизация модели ТТК выявила то, что в большинстве случаев реального проектирования данного типа конструкций принятая в FABRIC CAD идеология построения математической модели не обладает достаточной общностью. В частности, использование NURBS существенным образом сужает класс проектируемых конструкций, накладывая определенные ограничения на их форму. Преодоление данных ограничений приводит к заметному усложнению инструментария моделирования системы и, как результат, замедлению ее работы. Кроме того, проектирование ТТК заключается также в конструировании металлоконструкций, поддерживающих тентовое сооружение, что вызывает необходимость совместного использования системы FABRIC CAD с другими CAD системами. Это существенным образом удорожает работы, связанные с проектированием и производством. По этой причине было принято решение о создании нового типа математической модели ТТК, получившей название *Каркасно-сеточной*. Данный тип математической модели является чрезвычайно простым и легко реализуемым на базе любой CAD-системы, использующей граничное представление моделей объектов. В качестве подобной системы была выбрана система К3, хорошо известная отечественным пользователям рядом своих эффективных приложений. Система К3-Тент является расширением системы К3.

Структурно система К3-Тент состоит из двух модулей. Первый модуль *«Формообразование»* предназначен для создания пространственной модели тента. Он позволяет задавать пространственные координаты закрепленных узлов и ребер тента, задавать граничные условия. На основании этой информации модуль в автоматическом режиме находит форму оболочки Методом натянутых сеток (см. [1], [2]). Второй модуль *«Подготовка производства»* предназначен для выполнения конструкторских работ, связанных с изготовлением тента. Модуль позволяет нанести линии разреза и линии маркировки на поверхность, разрезать поверхность на лоскуты, определить площади и длины сторон лоскутов, сформировать выкройки, т.е. развернуть лоскуты на плоскость, передать данные во внешние системы через графический формат.

Для создания ТТК, как одна из составных частей каркасно-сеточной модели, в систему К3-Тент введен специальный объект *Каркас*. Каркас представляет собой набор связанных друг с другом пространственных линий, в качестве которых могут выступать отрезки прямых линий и дуги окружностей. Узлы каркаса, как правило, либо отвечают точкам крепления полотнища тента, либо являются точками, в которых полотнище изменяет свою геометрию. Объект Каркас, с математической точки зрения, представляет собой граф с заданным набором циклов. Граф в системе К3-Тент удовлетворяет следующим требованиям:

1. Ребра графа, в качестве которых выступают отрезки прямых линий и дуги окружностей, создаются стандартными средствами системы К3.
2. Граф, как объект типа "Каркас", создается командой "Создать", в процессе выполнения которой выделяются и классифицируются его вершины всех типов, вычисляются и запоминаются все характеристики вершин и ребер, включая звезды вершин. Характеристики ребер Каркаса являются начальной и конечная вершины ребра и его тип (отрезок прямой, дуга окружности).
3. Замкнутые топологические треугольники и четырехугольники каркаса автоматически воспринимаются системой в качестве фрагментов полотнища. Однако при создании объекта Каркас система запрашивает Пользователя о необходимости включения или не включения каждого цикла графа треугольной или четырехугольной формы в состав объекта. Это делается для того, чтобы топологические треугольники или четырехугольники не формировались на тех участках конструкции, где полотнище конструктивно отсутствует.
4. В процессе моделирования конструкции может возникнуть необходимость изменения топологии графа (добавлении или исключении некоторых ребер и/или вершин). В этом случае предусмотрен режим перерегистрации Каркаса, позволяющий модифицировать каркас, изменяя или не изменяя его топологию.
5. Вершины графа могут подвергаться редактированию, то есть изменению их характеристик (координат). Изменение

координат вершин может производиться как с сохранением топологической связи ребер в вершине (сохранение звезды), так и без сохранения.

Каждому ребру и каждой вершине Каркаса приписывается соответствующее кинематическое граничное условие. Оно представляет собой характеристику ребра или вершины, отражающую ее поведение в процессе геометрического преобразования модели. Вершины Каркаса так же имеют граничные условия трех типов: вершина может быть свободной, а так же упруго или жестко закрепленной. Упругое закрепление вершины позволяет моделировать тросовые растяжки тканевого полотнища. Если конструкция имеет одну или несколько плоскостей симметрии, Каркас может быть составлен с учетом этих плоскостей, а соответствующие его ребра могут иметь граничные условия, учитывающие отсутствие перемещений, ортогональных той или иной плоскости симметрии. Данная возможность позволяет существенно сократить время на формирование итоговой каркасно-сеточной модели.

Объект *Сеть* представляет собой сеть, состоящую из треугольных ячеек, построенную на топологических треугольниках и четырехугольниках объекта Каркас. Треугольная сеть строится в системе КЗ-Тент в автоматическом режиме с последующей ее регуляризацией с использованием МНС, как это описано в работе [1]. Объект Сеть в системе КЗ-Тент представлен тремя структурами, каждая из которых содержит информацию о топологии и геометрии вершин, ребер и ячеек сети. С формальной точки зрения представление объекта Сеть соответствует классическому Граничному представлению (Boundary Representation, см. [5]). Свойства объекта Сеть наследуются из свойств объекта Каркас и служат основой для геометрического преобразования Сети на базе МНС.

Завершающим этапом формирования итоговой каркасно-сеточной модели ТТК является геометрическое преобразование объекта Сеть с использованием Метода натянутых сеток как это описано в работах [1], [2], [3]. Данное преобразование, имеющее в системе КЗ-Тент название «релаксация», направлено на отыскание новых координат узлов объекта Сеть, отвечающих условиям минимума ее энергетического функционала. Как это показано в [2], данная процедура эквивалентна отысканию такой псевдо-регулярной сети, узлы которой лежат на поверхности минимальной площади. Как отмечалось некоторыми исследователями (см., например, [6]) для проектирования ТТК в большинстве случаев является предпочтительным использование фрагментов поверхностей минимальной площади (так называемых минимальных поверхностей). Релаксация осуществляется на основе обобщенной формулировки МНС, предполагающей наличие внешних воздействий на систему в виде наложенных упругих узловых связей и узловых псевдонагрузок [4]. При необходимости данная модель может быть легко отредактирована путем изменения геометрии и/или топологии объекта Каркас. На рисунке приведен пример итоговой каркасно-сеточной модели тентовой тканевой конструкции.

Таким образом, в работе представлено описание каркасно-сеточной модели ТТК, принятой в системе автоматизированного проектирования КЗ-Тент, предназначенной для отыскания формы данного вида конструкций. Модель строится на базе пространственного каркаса, формируемого с помощью стандартного набора инструментов моделирования системы КЗ. Формируемый объект типа «каркас», состоящий из набора отрезков прямых линий и дуг окружностей, служит осно-

вой для построения предварительной сети с треугольными ячейками. Построенная сеть подвергается релаксации с помощью Метода натянутых сеток (МНС) совместно с заданными кинематическими граничными условиями, что позволяет получить модель тканевого полотнища. Разработанная каркасно-сеточная модель позволяет проектировщику быстро модифицировать каркас конструкции и переопределять в автоматическом режиме форму сети, моделирующей полотнище тента. Особенности данного типа модели, в сочетании с высокоэффективным инструментарием системы КЗ, позволяет осуществлять проектирование и производство тентовых тканевых конструкций практически любой сложности, как серийно, так и по индивидуальным проектам.

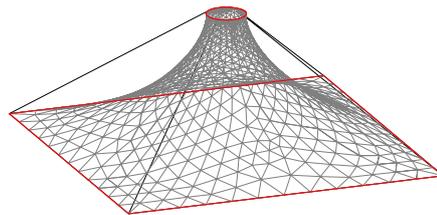


Рисунок: Итоговая Каркасочно-сеточная модель тентовой тканевой конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Попов, Е.В. *On Some Variation Formulations for Minimum Surface. The Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, vol.20, N 4, 1996.
- [2] Попов Е.В. *Построение поверхностей минимальной площади с помощью метода натянутых сеток. // Международный межвузовский сб. трудов кафедр графических дисциплин, Вып. 5, Н.Новгород, 2000.*
- [3] Попов Е.В., Тарасов А.И. *FABRIC CAD система проектирования Тентовых Конструкций // Proceedings of the 11th International Conference on Computer Graphics & Vision GRAPHICON'2001, UNN, Nizhny Novgorod, 2001.*
- [4] Попов Е.В. *Метод натянутых сеток в задачах геометрического моделирования. Дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук. // ИИГАСУ. Н. Новгород. 2001.*
- [5] Роджерс Д., Адамс Дж. *Математические основы машинной графики. М, изд-во «МИР», 2001.*
- [6] Fujikake M. *Analysis of fabric tension structures. // Computers and Structures, N 32, 1982.*

FRAME AND GRID MODEL OF TENSILE FABRIC STRUCTURE IN K3-TENT SYSTEM

Abstract

The frame and grid model of tensile fabric structure is described in this paper. The model is based on spatial framework that can be developed by means of standard K3 CAD system toolkit. The Framework object consists of a set of straight lines and circle arcs and is a basis of a preliminary triangle grid. Such grid supplied with cinematic boundary conditions is a subject for relaxation by Stretched Grid Method. The frame and grid model allows the Designer to modify quickly structure frame and to redefine automatically the shape of grid that models tent surface. The model allows one to take into account the structure symmetry conditions.

Keywords

Tensile fabric structure, Framework, Stretched Grid Method.