

Синтез параметрической конструктивной модели 3D-объекта

Н.Д. Жилина, М.В. Лагунова, Т.В. Мошкова, С.А. Роменский, С.И. Ротков, М.М. Смычѣк, В.А. Тюрина
zhilina@nngasu.ru | mvlmn@mail.ru | ng.forever.mtv@gmail.com | romensky.serge@gmail.com | rotkovs@mail.ru | mariasmychek@gmail.com | 55555_73@mail.ru

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия

В статье рассмотрен процесс синтеза конструктивной модели 3D-объекта на основе теории параметризации. Описано создание банка производных фигур (геометрических примитивов) с учётом формообразования поверхностей, входящих в их состав. Банк фигур предназначен для использования на этапах декомпозиции и последующей сборки с помощью теоретико-множественных операций при формировании конструктивной твердотельной модели.

Ключевые слова: электронная геометрическая модель изделия, параметризация, параметры формы, параметры положения, производная фигура, составная фигура, бинарное дерево (граф сборки).

Synthesis of a parametric constructive solid geometry model of a 3D-object

N.D. Zhilina, M.V. Lagunova, T.V. Moshkova, S.A. Romensky, S.I. Rotkov, M.M. Smychek, V.A. Tyurina
zhilina@nngasu.ru | mvlmn@mail.ru | ng.forever.mtv@gmail.com | romensky.serge@gmail.com | rotkovs@mail.ru | mariasmychek@gmail.com | 55555_73@mail.ru

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

In this article considered process of synthesis of constructive solid model of 3D object based upon parametrization theory. Also it describes developing storage of non-derivative figures (geometry primitives) with considering their surface's law of formation. Storage of non-derivative figures designed for using on stages of decomposition and following construction with boolean operations of creation of constructive solid model.

Keywords: electronic geometric model of the product, parametrization, form parameters, position parameters, non-derivative figure, composite figure, binary tree (assembly graph).

1. Введение

Процесс проектирования объекта в современных условиях невозможно осуществить без использования компьютерных программ, ускоряющих и повышающих эффективность всего процесса. Общей тенденцией развития систем трехмерного геометрического моделирования является расширение возможностей параметрического подхода при создании электронных моделей объектов. Отличие параметрической модели от обычной состоит в том, что в ней предусмотрены топологические и геометрические взаимосвязи и ограничения между элементами, составляющими модель.

Параметрический режим описания объекта имеет особенности в различных системах геометрического моделирования, определяемые функциональной полнотой той или иной системы. Проведенный анализ показывает, что ограничения систем часто связаны с трудностями параметрического задания сложных поверхностей и недостаточным ассортиментом операций, позволяющих задавать поверхности в соответствии с их аналитическим описанием. Для преодоления подобных противоречий пользователям систем приходится прибегать к различным приемам и способам упрощения, аппроксимации или замены необходимых поверхностей, что значительно снижает качество и эффективность работы при создании электронных моделей.

Исследование законов формообразования поверхностей на основе классической теории параметризации, формализация этих законов и применение их при 3D-моделировании изделий в CAD-системах,

представляет научный и практический интерес в целях повышения эффективности процесса создания электронных конструктивных моделей трехмерных объектов.

2. Конструктивная модель 3D-объекта

В соответствии с ГОСТ 2.052-2015 Электронная геометрическая модель изделия (рис.1) представляет собой совокупность геометрических элементов и атрибутов модели, которые совместно определяют геометрию изделия и его свойства, зависящие от формы и размеров [1].

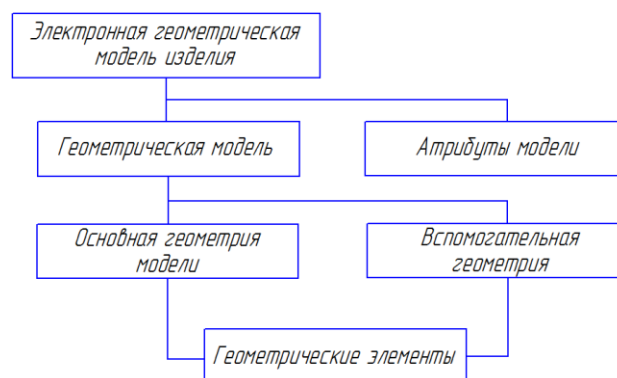


Рис. 1. Схематический состав электронной геометрической модели изделия

Конструирование геометрической модели является сложной и многовариантной задачей, связанной с

различными способами декомпозиции изделия на конструктивно-технологические примитивы и выбором способов получения той или иной поверхности.

Назначение конструктивных параметров геометрических элементов, определяющих основную и вспомогательную геометрию модели, может быть не связано с технологическими особенностями и часто носит субъективный характер. В этом случае возможно возникновение избыточной или, напротив, неполной геометрической информации о модели.

Теоретическим основам метода параметризации посвящены труды В.С. Полозова, И.И. Котова и других ученых, в которых сформулирована и описана теория параметризации [2], [3].

Параметром будем считать независимую величину, позволяющую из множества выделить элемент, либо подмножество элементов. Под параметризацией будем понимать процесс выбора и подсчета количества параметров, позволяющих однозначно выделить единственную геометрическую фигуру в пространстве. Параметрическое число фигуры [2, 4] определяет минимально необходимое, но достаточное, количество размеров на поле чертежа для однозначной интерпретации геометрии объекта как в двумерном, так и в трехмерном пространстве измерений.

Твердотельная геометрическая модель (твердотельная модель) определяется ГОСТ 2-052-2015 как «трехмерная геометрическая модель, представляющая форму изделия как результат композиции множества геометрических элементов с применением операций булевой алгебры к этим геометрическим элементам» [1]. Конкретизируем это определение.

Твердотельной (конструктивной) моделью будем называть совокупность $CM = \{G(R), B(M), A\}$,

где $G(R)$ - граф сборки конструкции, либо бинарная древовидная структура, определяющие порядок и характер взаимодействия составляющих объектов,

R - ребра графа, атрибутами которого могут быть параметры формы и положения i -ой модели относительно j -ой модели и знаки регуляризованных теоретико-множественных операций объединения, вычитания и пересечения.

Параметрами формы могут быть числовые значения масштабных коэффициентов по координатным осям.

Параметрами положения могут быть вектор переноса T , вектор поворота E , задающий углы поворота i -го объекта на заданные углы относительно координатных осей.

$B(M)$ - банк граничных моделей пространственных объектов, каждый из которых может быть как производной, так и составной фигурой. Модели объектов, составляющих банк, могут быть сформированы различными средствами и способами и заданы в своей собственной системе координат, не связанной с координатной системой проектируемого объекта. Каждой модели поставлено в соответствие символическое имя, по которому идет поиск информации, и имя файла, в котором хранится вся информация, относящаяся к модели.

A - атрибуты моделей (материал, плотность, цвет и т.д.) [4].

Модель материального тела или конструктивная (constructive solid geometry, CSG) модель дает возможность определять качественные характеристики объекта, его структуру, топологические и геометрические связи между составляющими его элементами.

Имея набор граничных моделей и информацию о связях между ними, можно получать конструктивные модели сложных объектов.

Конструируемую модель 3D-объекта будем рассматривать как составную фигуру (СФ), состоящую из геометрических примитивов, имеющих определенные параметры и способ образования. Такие геометрические примитивы будем называть «непроизводными фигурами» (НФ) и считать их неделимыми в данном классе рассматриваемых задач.

Для практического использования данного подхода необходим банк непроизводных фигур, параметры которых могут задаваться интерактивно.

Поскольку поверхности, ограничивающие одну и ту же непроизводную фигуру можно образовать различными формообразующими операциями, то в основу определения минимального, но достаточного количества параметров необходимо положить анализ определителя создаваемой поверхности. Поверхность считается заданной, если относительно любой точки пространства можно однозначно решить вопрос о ее принадлежности данной поверхности.

Определителем поверхности называют совокупность условий, задающих поверхность. Определитель фигуры состоит из двух частей – геометрической (ГЧО) и алгоритмической (АЧО) [3]. В геометрическую часть определителя входят геометрические образы и параметры постоянной формы, положения и величины. Алгоритмическая часть определителя поверхности представляет собой алгоритм построения точек и линий поверхности, занимающих на ней переменное положение.

Анализ закона образования поверхности позволяет выделить ее определитель. А алгоритмическая часть определителя дает возможность составить формальную модель конструирования непрерывного каркаса поверхности.

3. Синтез конструктивной модели 3D-объекта

Рассмотрим процесс синтеза конструктивной модели трехмерного объекта - составной фигуры, состоящей из стандартных геометрических примитивов, выбранных из некоторого банка непроизводных фигур. Объект может быть задан своими проекционными изображениями, например, стандартными ортогональными видами, либо аксонометрией (оба варианта задания показаны на рис.2).

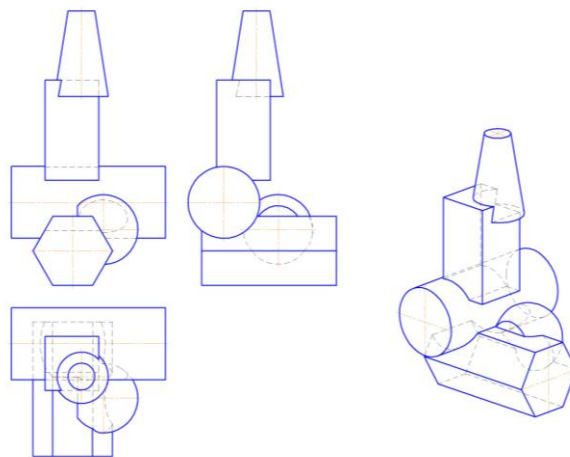


Рис. 2. Проекционные изображения составной фигуры

В процессе анализа изображений необходимо мысленно выделить из состава фигуры ряд производных фигур (рис.3), а также топологические и геометрические связи между ними.

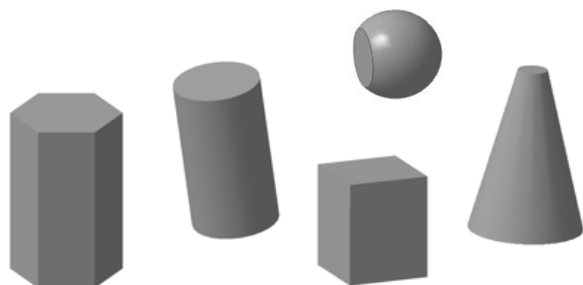


Рис. 3. Набор производных фигур, входящих в состав фигуры

Для уяснения сути процесса конструирования, а именно таких его этапов, как декомпозиция и последующая сборка составной фигуры, авторами статьи разработан и успешно применяется в различных аспектах научной и педагогической деятельности «Электронный конструктор графа сборки 3D-объекта» (рис.4) [5]. Конструктор предназначен для генерирования графа сборки составной фигуры (бинарного дерева) и наглядной демонстрации топологических связей между примитивами.

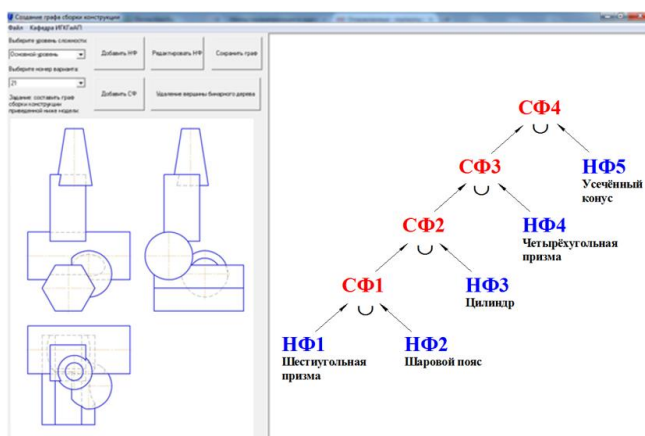


Рис. 4. Интерфейс электронного конструктора графа сборки 3D-объекта

Пользователь может выбирать производные фигуры (примитивы) из банка объектов, входящего в состав конструктора (рис.5).

При отсутствии необходимого примитива следует использовать функционал используемой системы геометрического моделирования для создания собственной параметрической производной фигуры (НФ).

После выбора производной фигуры, определяется способ образования ограничивающей ее поверхности. Например, примитив «конус» может иметь разные геометрическую и алгоритмическую части определителя и, следовательно, быть образован с использованием разных кинематических процедур (рис.6).

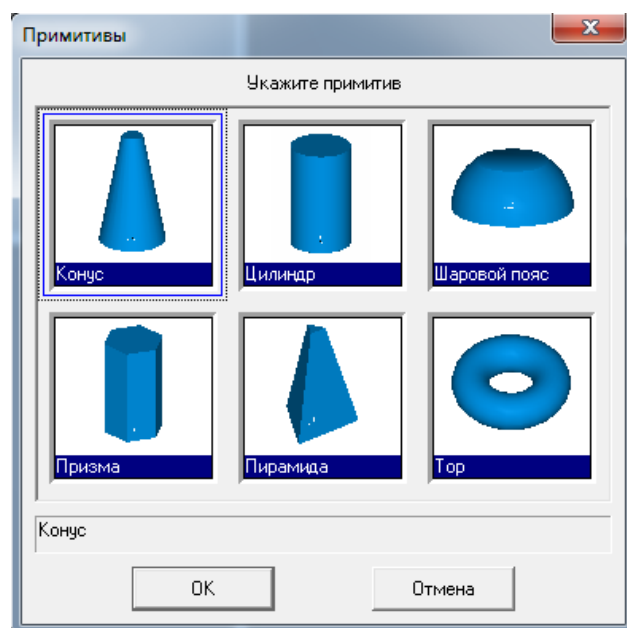


Рис. 5. Интерфейс диалогового окна для выбора прототипа производной фигуры

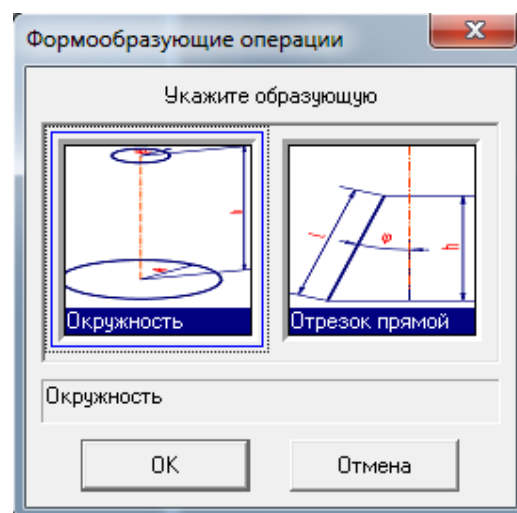


Рис. 6. Интерфейс диалоговых окон для выбора способа формообразования конической поверхности

Выбор вида образующей для кинематической формообразующей операции определяет набор параметров формы прототипа. Например, если выбран вид образующей «Окружность», то для задания элементов геометрической части определителя поверхности необходимо задать три параметра: радиусы образующих, определяющих основания конуса ($R1$, $R2$) и расстояние между ними (h). В этом случае используется формообразующая операция «По сечениям» (рис.7).

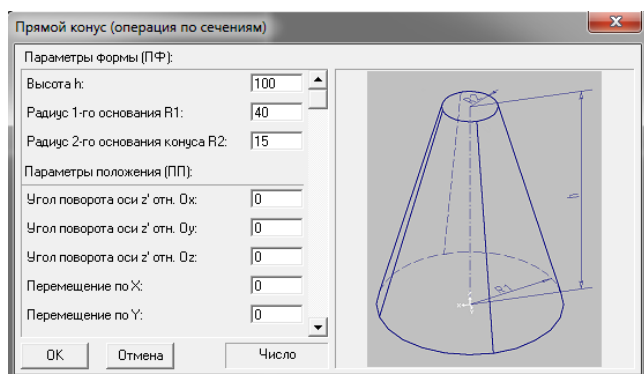


Рис. 7. Интерфейс диалогового окна для выбора параметров прямого конуса в случае вида образующей «Окружность» - операция «По сечениям»

Если выбран вид образующей «Отрезок прямой», то для задания элементов геометрической части определителя поверхности необходимо задать также три параметра, представленные разными наборами, например, длиной образующей (l), углом наклона этой образующей (φ) и высотой (h). В этом случае используется формообразующая операция «Вращение» (рис. 8).

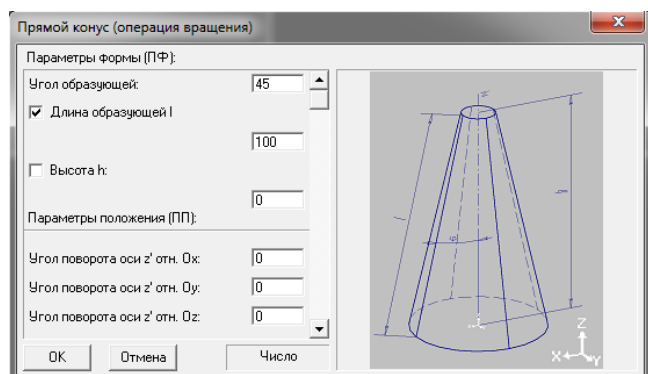


Рис. 8. Интерфейс диалогового окна для выбора параметров прямого конуса в случае вида образующей «Отрезок прямой» - операция «Вращение»

Параметры формы выделены во внутренней (локальной) системе параметризации (x,y,z), совмещенной с элементами геометрической части определителя поверхности. Например, в случае формообразующей операции «Вращение» ось z локальной системы координат совпадает с осью вращения конуса. Выбор параметров положения внутренней системы параметризации производной фигуры относительно внешней системы (XYZ) не зависит от параметров формы фигуры. Положение производной фигуры описывается в общем случае шестью параметрами положения внутренней системы относительно внешней системы параметризации.

Аналогично создаются другие производные фигуры, например, шаровой пояс, выбор способа формообразования которого показан на рис. 9, а процесс задания параметров формы и положения на рис. 10.

Примеры задания параметров формы и параметров положения внутренних (локальных) систем параметризации некоторых геометрических примитивов относительно внешней системы параметризации продемонстрированы на рис. 11.

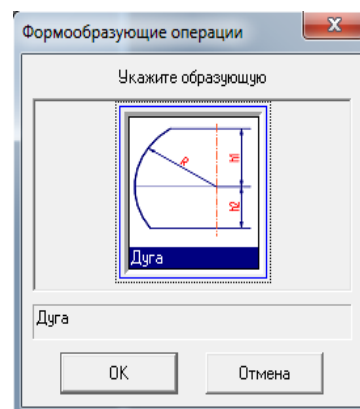


Рис. 9. Интерфейс диалогового окна для выбора способа формообразования сферической поверхности

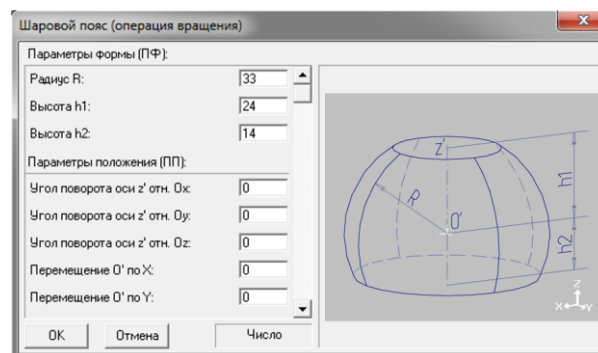


Рис. 10. Интерфейс диалогового окна для задания параметров формы и положения шарового пояса

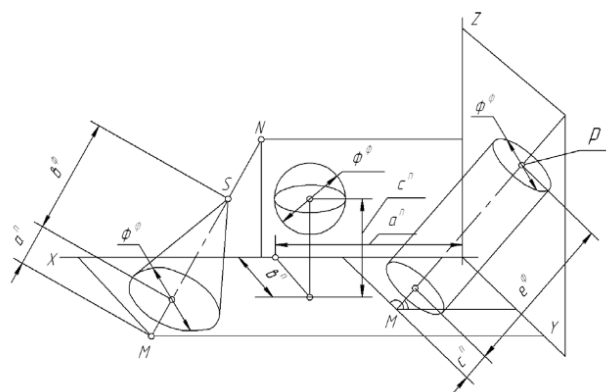


Рис. 11. Задание параметров производных фигур относительно внешней системы параметризации

Далее процесс сборки составной фигуры из геометрических примитивов (НФ) заключается в анализе связей между производными фигурами и применении соответствующих теоретико-множественных (булевых) операций [6].

Созданная таким образом электронная конструктивная модель составной фигуры позволяет получить различные изображения детали, например, многовидовый технический чертеж или аксонометрическое изображение. Такой подход позволяет соотнести и сопоставить геометрическую

информацию об объекте, представленную на разных геометрических моделях в наглядном и формализованном виде.

4. Заключение

Конструирование электронной геометрической модели изделия на параметрической основе способствует установлению точных геометрических и топологических связей в процессе создания 3D модели и создает условия для исследования процесса формообразования ограничивающих объект поверхностей за счет использования различных видов геометрических и алгоритмических частей определителей. Использование разработанных авторами приложений позволяет повысить эффективность процесса создания электронных конструктивных моделей трехмерных объектов с помощью стандартных систем геометрического моделирования.

5. Благодарности

Работа выполнена по грантам РФФИ №15-07-05110, №17-07-00543

6. Литература

- [1] ЕСКД. Единая система конструкторской документации. ГОСТ 2.052-2015 Электронная модель изделия. Общие положения / База нормативных документов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://russgost.ru>.
- [2] Полозов, В.С. Начертательная геометрия (информационно-параметрический подход в инженерных графических задачах) : Учебное пособие. – Н.Новгород : Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2000, – 61 с.
- [3] Котов, И.И., Алгоритмы машинной графики / И.И.Котов, В.С. Полозов, Л.В. Широкова. – М., «Машиностроение», 1977, – 231 с.
- [4] Ротков С.И. Средства геометрического моделирования и компьютерной графики пространственных объектов для САЛС-технологий: Дис. докт. техн. наук: 05.01.01 / С.И.Ротков. – Н. Новгород, 1999. – 287 с.
- [5] Лагунова, М.В. Электронный конструктор графа сборки 3D-объекта / М.В. Лагунова, Т.В. Мошкова, С.А. Роменский, С.И. Ротков, М.М. Смычк, В.А. Тюрина // Междунар. науч. школа-семинар МГУ, Институт физико-технической информатики, – 21-24 нояб. 2016 г. – Москва-Протвино, 2016. – С. 11-13.
- [6] Жилина, Н.Д. Автоматизация процесса чтения чертежа с использованием системы Компас-3D / Н.Д.Жилина, М.В.Лагунова, Т.В. Мошкова, С.И. Ротков, В.А. Тюрина // ГрафиКон'2014 : 24-я междунар. конф. по компьютерной графике и зрению : Академия архитектуры и искусств ЮФУ. – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 17-19.

Об авторах

Жилина Наталья Дмитриевна, к.п.н., доцент, профессор кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, zhilina@nngasu.ru

Лагунова Марина Викторовна, д.п.н., проф., профессор кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета mvlmn@mail.ru

Мошкова Татьяна Владимировна, к.т.н., доцент, профессор кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, ng.forever.mtv@gmail.com

Роменский Сергей Александрович, аспирант кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, romensky.serge@gmail.com

Ротков Сергей Игоревич, д.т.н., проф., зав. кафедрой Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, rotkovs@mail.ru

Смычк Мария Михайловна, ассистент кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета mariasmychek@gmail.com

Тюрина Валерия Александровна, к.т.н., доцент, профессор кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета 55555_73@mail.ru