

## МЕТОДИКИ ГЕНЕРАЦИИ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ И АНАЛИЗА ФОРМ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**ЯКУБОВ Сабир Халмурадович**

доктор технических наук, профессор

Институт военной авиации

Университет военной безопасности и обороны Республики Узбекистан

г. Карши, Узбекистан

В работе проанализированы различных подходов и методики генерации дискретных моделей и анализа форм технических объектов машиностроения, построению дискретных моделей для автоматизированного проектирования в машиностроении.

**Ключевые слова:** Дискретные модели, формы объектов машиностроения, тонкостенные оболочки, математическое моделирование, компьютерное моделирование, автоматизация проектирования.

**Введение.** Построение дискретных моделей объектов машиностроения связано с необходимостью описания их форм, для чего используются разные представления форм объектов: граничное, конструктивная блочная геометрия, функциональное и т.п. Функциональное представление, основанное на использовании неявных функций, является наиболее универсальным и теоретически позволяет описать форму объекта произвольной сложности. Неявное описание формы объекта позволяет классифицировать положение точки пространства по отношению к его пределу, но требует разработки методов генерации дискретных моделей как объединения элементарных фигур (meshing) [1; 2].

На практике применяемые объекты машиностроения имеют сложную форму так, как сплошными телами, так и тонкостенными оболочками, как

правило из композиционных материалов. Их натурные испытания требуют подготовки условий, которые соответствуют режимам эксплуатации объекта. В таких случаях для повышения эффективности процесса проектирования объектов машиностроения используют математическое моделирование на базе компьютерной техники. В то же время факторами, влияющими на эффективность процесса проектирования объектов машиностроения, становятся точность математических моделей и время, необходимое для компьютерного моделирования. В результате в последнее время значительно увеличилось количество работ, посвящённых разработке математических моделей для автоматизированного проектирования в машиностроении, химической, нефтегазо-перерабатывающей промышленности горно-металлургических производствах [5].

Точность результатов, позволяющая получить САПР машиностроения, в том числе, зависит от качества дискретных моделей форм объектов. При разработке методов улучшения качества дискретных моделей наиболее часто используются две характеристики: качество формы элемента (близость к правильной форме, то есть отсутствие очень острых углов, соотношение длин сторон близко к единице и т.п.) и близость сетки к равномерной [3; 7; 8].

**Методы исследования.** Реализация подходов и методики генерации дискретных моделей форм объектов зависит от схемы представления последних. Под схемой представления множества форм объектов  $\mathbf{O}$  множеством  $\mathbf{L}$  понимают отношение  $r$ , которое устанавливает соответствие между  $\mathbf{O}$  и  $\mathbf{L}$ . Если  $\mathbf{O}$  – множество всех возможных форм объектов, а  $\mathbf{L}$  – множество формальных описаний моделей геометрических объектов, то схема представления  $r$  устанавливает отношение между формальным описанием и формой объекта. В исследованиях, посвящённых проблеме компьютерное моделирование форм объектов, выполненных в работах [3], выделено восемь основных схем представления.

**Инженерные чертежи** – широко распространённый инструмент «общения» между инженерами путём представления объекта в виде набора двумерных проекций. Основной недостаток: – возможность неоднозначной трактовки некоторых элементов, что обуславливает и к сложности формализации.

**Каркасное представление** использовалось в ранних САПР машиностроении для визуализации объектов их рёбрами (каркасом). Оно допускает неоднозначность интерпретации, следовательно, его применение ограничено.

**Представление экземплярами примитивов** основано на формировании коллекции параметризованных моделей форм объектов. Каждый примитив своим названием и списком параметров представляет семейство форм. Основной недостаток такого подхода – невозможность формирования новых примитивов из существующих.

**Воксельное представление** базируется на перечислении кубических ячеек, полностью принадлежащих объекту. Это представление применяется в архитектуре, где объекты часто имеют блочную структуру. Однако, в целом, оно представляет форму с некоторой точностью, которая увеличивается с уменьшением размера ячейки, но в то же время растёт требование к вычислительным ресурсам.

**Дискретные модели** представляют формы объектов множеством простых фигур, которые не пересекаются и могут иметь общие вершины, ребра и грани. Поверхность объекта аппроксимируется гранями частей. Основные области применения этого представления – визуализация и анализ состояния объектов.

**Конструктивная сплошная (блочная) геометрия** (Constructive Solid Geometry, CSG) объединяет семейство схем подачи твердых тел как результат булевых операций для комбинирования примитивов или сплошных. Семантически модель тела рассматривается как дерево теоретико-множественных операций (объединение, сечение, разница) и примитивов,

представленных сплошными подмножествами евклидового пространства. Примитивами обычно являются простейшие геометрические фигуры (куб, цилиндр, призма, пирамида, сфера, конус), что затрудняет их применение для моделирования нестандартных тел.

*Схемы представления разверткой* основаны на простом наблюдении, что движение плоского множества через пространство может образовать «объем», подаваемый движущимся объектом и траекторией его движения. Чаще так получают тела вращения или призмы с разными сечениями. Такие техники весьма наглядны, однако их применение ограничено.

*Предельное представление* рассматривает форму объекта как композицию его границ. Границы подаются прямолинейными (треугольниками или криволинейными участками (например, поверхностями Безье), которые называют гранями. Оно очень распространено в компьютерной графике, а также используется для численного исследования оболочечных конструкций. Тем не менее, ручное построение таких моделей достаточно трудоёмко.

Анализ вышеприведённых представлений свидетельствует, что их практическое применение ограничено или требует значительных усилий для построения моделей сложных объектов сложной формы. С точки зрения универсальности одним из наиболее перспективных является функциональное представление, основанное на использовании языка неявных математических функций [1; 2; 4]. Тем не менее, его использование инженерами очень сложно с точки зрения построения и верификации модели.

Одним из распространённых способов описания моделей объектов со сложной формой в САПР машиностроения является использование проблемно-ориентированных языков. Например, HyperFun, PLaSM, BDRY, QMSH и т.д. Такие языки обычно позволяют строить модели конструируя их с примитивов или путём описания поверхностей объекта за помощью полигональных граней [5; 6; 8; 10].

**Заключение.** Большинство публикаций, посвящённых построению

дискретных моделей САПР машиностроения, учитывают только геометрические характеристики объектов и не позволяют строить адаптивные дискретные модели для форм объектов при функциональном подходе, который признан как наиболее универсальный [7; 9].

Из анализа научно-технических работ выявлено противоречие между необходимостью построения дискретных моделей форм объектов, позволяющих с заданной точностью выполнять численный анализ состояния объектов в САПР машиностроения и ограниченностью возможностей существующих методов [5].

Исходя вышеизложенного следует отметить, несмотря на многочисленные публикации, посвящённые решению задач моделирования и анализа форм в САПР машиностроения, выявлено противоречие между необходимостью построения дискретных моделей форм объектов, позволяющих с заданной точностью выполнять численный анализ состояния объектов в САПР машиностроения, и ограниченностью существующих методов [7; 9; 10].

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Евсеев В.В. Метод декомпозиций сборочного чертежа на базе нечётких множеств // Технология приборостроения. – 2006. – № 2. – С. 40–45.
2. Информационно-вычислительные системы в машиностроении: CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, А.В. Рыбаков. – М.: Наука, 2003. – 300 с.
3. Кундас С.П. Компьютерное моделирование технологических систем. В 2 ч. Ч. 1. – Минск.: БГУИР, 2002. – 168 с.
4. Невлюдов И.Ш., Плотникова З.В., Евсеев В.В. Модель идентификаций конструкторско-технологических элементов второго уровня // Радиотехника. – 2007. – № 151. – С. 278–282.
5. A two-level optimization feature for the design of aerospace structures / E. Carrera, L. Mannella, G. Augello, N. Gualtieri // Journal of Aerospace Engineering. 2003. Vol. 217, No 4. P. 189–206.

6. Efficient 3D modeling of damage in composite materials / El-Sisi A. E.-D. A., H. M. El-Emam, H. A. Salim, H. E.-D. M. Sallam // *Journal of Composite Materials*. 2015. Vol. 49, No 7. P. 817–828.
7. Li D., Guo S., Xiang J. Modeling and nonlinear aeroelastic analysis of a wing with morphing trailing edge // *Journal of Aerospace Engineering*. 2013. Vol. 225, No 4. P. 619–631.
8. Meng Q., Jin Z., Fisher J. Comparison between FEBio and Abaqus for biphasic contact problems // *Journal of Engineering in Medicine*. 2013. Volume 227, No 9. P. 1009–1019.
9. Turner T. L., Patel H. D. Analysis of SMA Hybrid Composite Structures in MSC.Nastran and ABAQUS // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2007. Vol. 18, Iss. 5. P. 435–447.
10. Validation of a Laminated Beam Model of LIPCA Piezoelectric Actuators / N. S. Goo, A. Haris, H. C. Park, K. J. Yoon // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2005. Vol. 16, No 3. P. 189–195.

## **METHODS FOR GENERATION OF DISCRETE MODELS AND ANALYSIS OF SHAPE OF ENGINEERING OBJECTS**

**YAKUBOV Sabir Khalmuradovich**

Doctor of Engineering Sciences, Professor

Institute of Military Aviation

University of Military Security and Defense of the Republic of Uzbekistan

Karshi, Uzbekistan

This paper analyzes various approaches and methods for generating discrete models and analyzing the shapes of engineering objects, as well as constructing discrete models for computer-aided design in mechanical engineering.

**Keywords:** Discrete models, shapes of engineering objects, thin-walled shells, mathematical modeling, computer modeling, design automation.