

**И.И. Колодовский, Т.А. Свирская, Ю.В. Полозков**

## **Формообразование скульптурных объектов с помощью компактной системы рекурсивного копирования**

Результаты деятельности людей, занятых в творческой сфере, например, скульпторов, воплощаются в виде малых скульптурных форм, сувенирных изделий, предметов быта и других художественных изделий, которым свойственна высокая нерегулярность внешней пространственной формы. Их изготовление связано с большим объемом ручного труда, который затрачивается на получение размерных характеристик геометрической формы и непосредственное изготовление изделия. Поэтому производство и тиражирование художественных изделий традиционными методами является трудоемким и малоэффективным процессом. Повышение эффективности обеспечивается внедрением автоматизированных методов и технологий, а также использованием в производстве рекурсивных приемов решения задач геометрического моделирования, позволяющих производить скульптурные объекты посредством компьютерных трансформаций цифровых моделей ранее изготовленных продуктов или их элементов. Реализуются такие технологии с помощью компактных, т. е. сочетающих свернутость в пространстве и времени с минимальным уровнем функциональной и ресурсной избыточности, систем рекурсивного копирования, актуальность разработки и практического применения которых особенно возросла в современных экономических условиях [1].

Производственный процесс, реализуемый компактной системой рекурсивного копирования можно рассматривать как информационное преобразование нематериального художественного образа в реальное изделие, в основу которых положен ранее изготовленный объект – «прототип». Функциональную модель этого преобразования можно представить набором поэтапно протекающих процедур (рис. 1): информационное описание существующего прототипа (оцифровка); хранение и поиск информации; компьютерное объемное моделирование; формообразование физического объекта на основе компьютерной модели (быстрое прототипирование).

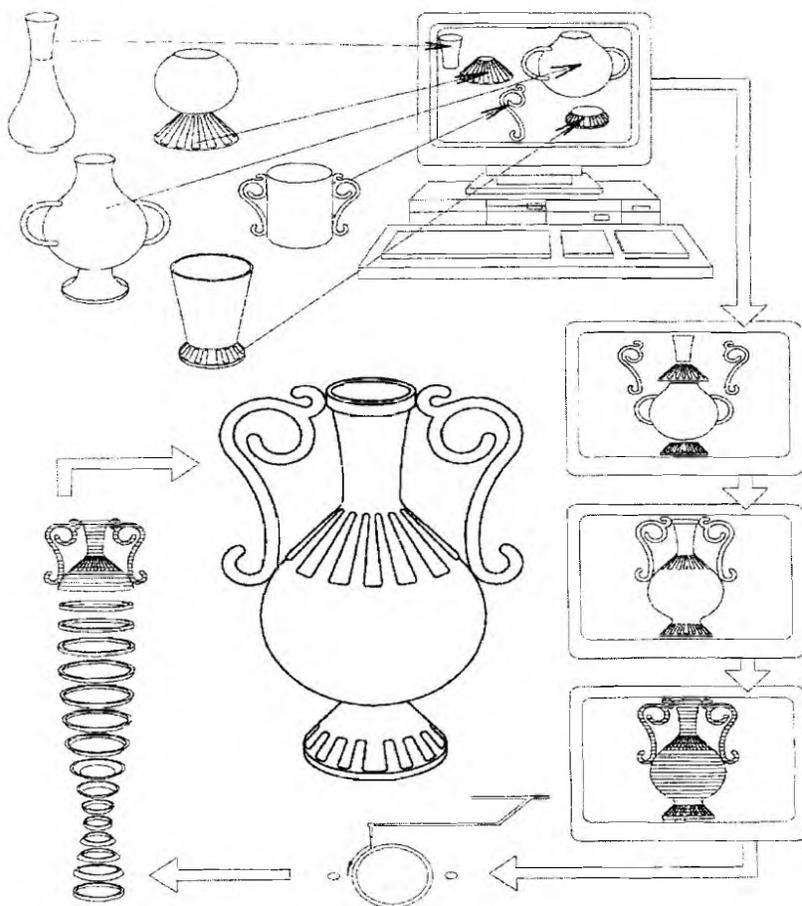
Описание геометрической формы прототипа заключается в получении информации путем его измерения. Эта информация организуется в цифровую модель. Данная модель содержит массив пространственных координат точек поверхности исследуемого объекта. Таким образом, при оцифровке реальному художественному объекту ставится в соответствие его объемная цифровая модель.

Полученные цифровые модели объектов объединяют в базу графических данных. Это позволяет, при необходимости, оперативно находить цифровые геометрические образы и комбинаторно синтезировать их фрагменты в новый высокохудожественный объект.

Разработка компьютерных моделей будущих изделий осуществляется в режиме компьютерного проектного многовариантного моделирования. Фрагменты цифровых моделей объектов из базы графических данных подвергаются избирательным преобразованиям (избирательному масштабированию, отсечению, интегрированию фрагментов базы графических данных и др.) с

помощью функций компьютерного моделирования. Затем выбирается порядок сборки слоев. Цифровая модель объекта разбивается на слои для дальнейшего послойного синтеза изделия. Шаг секущих плоскостей выбирается исходя из необходимой точности. В результате проектирования получается компьютерная модель, несущая полную конструкторскую информацию для изготовления физического объекта. Эта информация преобразуется в программу. Программа управляет движением формообразующего инструмента.

## ОБРАТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ



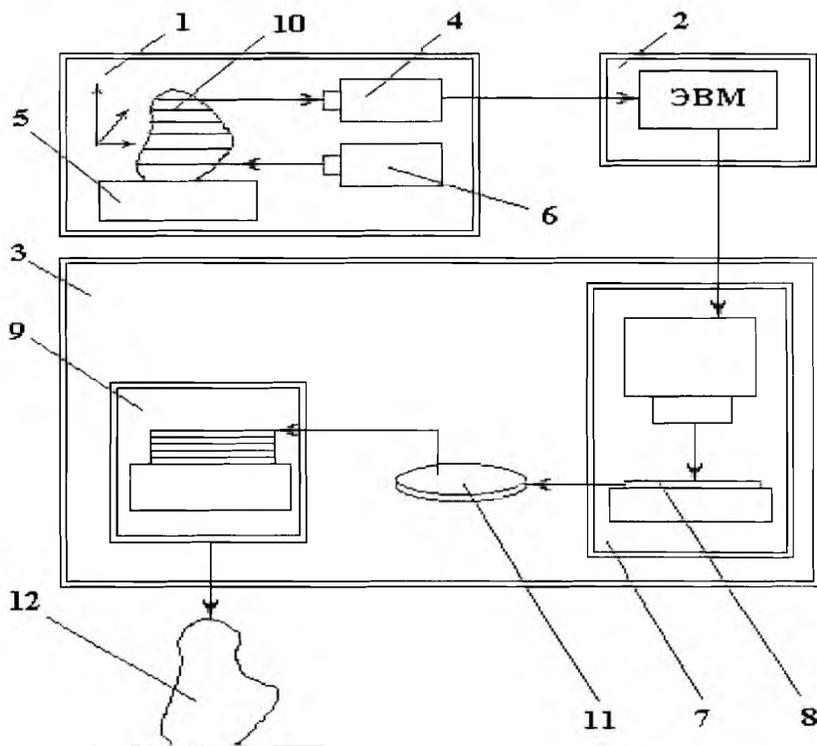
**Рис. 1. Модель формообразования  
в компактной системе рекурсивного копирования**

Функциональная модель формообразования трехмерных объектов определяет структурную модель компактной системы рекурсивного копирования. Эффективность такой системы достигается за счет обеспечения ее компакт-

ности. Конфигурация этой системы включает модуль ввода информации 1, модуль обработки информации 2, производственный модуль 3 (рис. 2).

Для оцифровки трехмерных объектов предлагается использовать видеосистему. Видеосистемы обладают невысокой стоимостью, достаточной точностью и обеспечивают высокую производительность и быстроту передачи информации в модуль обработки. В состав предлагаемой видеосистемы входят видеокамера, проектор, поворотный стол и персональный компьютер. Проектор оснащен слайдом с изображением координатной сетки с равноотстоящими узлами. Процесс оцифровки включает съемку установленной наклонно к горизонтальной плоскости видеокамерой объекта, на который проецируются световые полосы слайда, вставленного в расположенный горизонтально проектор. Из видеокамеры информация о трехмерной сцене импортируется в компьютер.

В компьютере информация организуется с помощью программного обеспечения в цифровые модели объектов. Составляющими элементами цифровых моделей объектов являются координаты точек поверхности сканируемого объекта в выбранной пространственной системе координат.



**Рис. 2. Конфигурация компактной системы рекурсивного копирования нерегулярных трехмерных объектов**

**Обозначения:** 1. Модуль ввода информации; 2. Модуль обработки информации; 3. Производственный модуль; 4. Видеокамера; 5. Координатный стол; 6. Проектор; 7. Установка лазерного раскроя; 8. Материал; 9. Узел сборки; 10. Исходный объект; 11. Вырезанный слой; 12. Готовый объект.

Модуль обработки и управления является функциональным инвариантом всей системы. С его помощью осуществляется взаимосвязь между составляющими компонентами системы. Также в этом модуле разрабатывается компьютерная модель. Для решения данных задач в качестве модуля обработки и управления предлагается использовать персональный компьютер класса «Pentium» и выше.

Формообразование объектов производства осуществляется автоматизировано производственным модулем. Этот модуль реализует технологии быстрого прототипирования. Наиболее производительной из них является технология послойной сборки изделия. Модуль послойного синтеза включает: CO<sub>2</sub>-лазер; оптический канал; систему управления, координатный стол. Координатный стол автоматически управляется с помощью компьютера, при этом лучом лазера вырезаются плоские элементы требуемого контура. Способы соединения слоев позволяют изготовить как монолитные, так и полые каркасные изделия. Для автоматизации процесса оцифровки пространственных объектов была разработана математическая модель [2], которая положена в основу его программной поддержки. Программное обеспечение реализуется в среде пакета компьютерной алгебры Maple V, также могут быть использованы Mathcad, Mathematica, Derive. Состав функционального наполнения программного обеспечения оцифровки должен выполнять набор основных задач, возникающих в процессе создания и преобразования объемной цифровой модели (рис. 3). Таким образом, оно позволяет идентифицировать точки поверхности объекта, которые высвечиваются лучом проектора в процессе оцифровки. Идентификация этих точек состоит в считывании числовых параметров, характеризующих их положение в системе координат изображения. Каждой точке присваиваются номер уровня и ее номер в этом уровне. Найденные числовые параметры в определенном порядке организуются в массив.



**Рис. 3. Набор функциональных задач программного обеспечения для оцифровки нерегулярных объектов**

Алгоритм пересчета числовых параметров включает операции формирования списка исходных данных, ввода элементов числовых параметров из

массива и непосредственного протоколирования команд математических исчислений, дополняемых процедурами программирования.

Полученные результаты организуются в массивы, которые описывают пространственную конфигурацию отдельных сторон объекта. Объемная цифровая модель объекта формируется объединением данных массивов по граничным точкам. Для повышения точности цифровой модели, полученные данные подвергаются различным методам интерполяции, удаления невидимых линий и закраски. Набор функциональных задач программного обеспечения оцифровки дополняется процедурами фильтрации. Эти процедуры снижают искаженность данных различного рода шумами, возникающими на этапах ввода и преобразования информации. Для визуального восприятия в среде графического редактора цифровая модель объекта отображается на мониторе компьютера.

Сформированная объемная цифровая модель пространственно-сложного объекта является составляющим компонентом базы графических данных. Она подвергается избирательному преобразованию с помощью функций компьютерного моделирования. В результате проектирования получается компьютерная модель, несущая конструкторскую информацию для изготовления физического объекта.

Изготовление материального объекта осуществляется с помощью производственного модуля компактной системы рекурсивного копирования. В этом модуле полученная компьютерная модель преобразуется в управляющие воздействия формообразующим инструментом. Изготовленные элементы собираются вручную или автоматически с помощью манипулятора. Таким образом, осуществляется комплексное (сквозное) проектирование/производство скульптурных объектов.

Анализ функциональной модели формообразования сложных трехмерных объектов позволил разработать вариант компактного производственного комплекса. Использование в этом комплексе видеосистемы позволяет решить проблему информационного обеспечения. Применение физико-технических эффектов послынного синтеза позволяет быстро и точно изготавливать объекты со сложными скульптурными поверхностями. Предложенная компактная система рекурсивного копирования позволяет автоматизировать производственный процесс, а также резко сократить время и стоимость производства не только единичных изделий, но и серийного изготовления художественной продукции за счет быстрого изготовления дешевой формующей оснастки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Полозков Ю.В., Свирский Д.Н.** Концепция компактной системы рекурсивного копирования скульптурных поверхностей // Сборник научных трудов ВГТУ. Витебск: ВГТУ, 1998. С. 233 - 237.
2. **Завацкий Ю.А., Полозков Ю.В., Свирский Д.Н.** Математическое моделирование процесса оцифровки пространственных объектов // Веснік ВДУ. 1999, № 3. С. 49-53.

## S U M M A R Y

*The irregular 3D objects automated production method is researched. The structural model of reverse engineering compact system is shown. The opportunities of formalization and automatization of complex 3D objects creation are considered.*

*Поступила в редакцию 10.04.2000*