

**МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛИ**

© 2016 И.А. Зиннатуллин, Д.С. Горяинов

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

Рассматривается метод повышения эффективности технологической подготовки производства на основе автоматизации разработки технологических процессов с применением распознавания конструкторско-технологических элементов.

Ключевые слова: автоматизация, САПР ТП, электронная модель изделия, конструкторско-технологический элемент, распознавание, нейронные сети, граф связности граней.

Методология автоматизированного проектирования изготовления деталей разрабатывается с конца 60-х годов и, несмотря на достигнутые результаты в области формализации и моделирования этапов разработки технологических процессов (ТП), принятие множества проектных технологических решений технологом касательно определения структуры ТП ведется вручную. Такое положение во многом связано с малой степенью разработки методического обеспечения, выражающейся в формализованных правилах определения состава и последовательности технологических операции. Одной из задач решения данной проблемы является автоматизированное формирование содержания (состава) технологической операции на основе конструкторско-технологических параметров предмета производства (ПП) роль которых в настоящее время наиболее полно выполняет электронная модель изделия (ЭМИ) [1].

Проблема создания автоматизированных систем синтеза структур ТП является актуальной научно технической проблемой. Такие системы должны синтезировать единичные ТП изготовления деталей не путем заимствования проектных технологических решений из типовых ТП, а формировать их на основании конструктивно-технологических характеристик ПП применительно к конкретной сложившейся производственной системе, с учетом ее ограниченных технологических возможностей и ресурсов [2]. Такие системы соответствуют основной цели технологической подготовки производства (ТПП): снижение времени принятия проектных технических решений с одновременным повышением показателей качества процесса ТПП.

Зиннатуллин Ильдар Абузарович, директор научно-производственного центра «Компьютерная биомеханика» при научно-исследовательской части СамГТУ.

E-mail: zinnat.ildar@gmail.com

Горяинов Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения».

E-mail: goryainovd@yandex.ru

Концепция автоматизированного распознавания конструкторско-технологических элементов (КТЭ) является подсистемой САПР синтеза ТП и предусматривает разработку метода, обеспечивающего автоматизированное формирование списка КТЭ – исходного материала для автоматизированного формирования состава (содержания) технологической операции инвариантно к классу ПП. КТЭ представляют собой сочетание различных типов элементарных поверхностей (ЭП) ЭМИ, скомпонованных в группы по принципу общности технологии их формообразования. КТЭ не ограничиваются определенным числом поверхностей, входящих в него т.к. современные детали машин имеют тенденцию к усложнению, вследствие чего растет количество поверхностей ПП, выполняющих различные функции и соответственно пополняющие количественный состав поверхностей, входящих в КТЭ. Необходимость различных конструктивных решений, принимаемых в зависимости от требований, выдвигаемых к изделию, может привести к тому, что конструктивные элементы, отнесенные одной группе, будут иметь различную геометрическую форму. В качестве примера на рисунке 1 представлены различные варианты геометрии КТЭ «Ступень».

Анализ топологических характеристик элементарных объектов, составляющих ЭМИ - граней, ребер, петель и вершин - является первым шагом, реализующим алгоритмы автоматизированного распознавания КТЭ. Переход к рассмотрению топологических характеристик позволяет получить информацию о геометрической форме локального фрагмента ЭМИ и в последующем, отнести его к определенному классу КТЭ.

Широкое распространение получило математическое описание объемного тела на основе конструктивного объемного представления геометрии (CSG-представления). Это представление описывает историю создания примитивов и применения булевых операций. В конструкторских САПР широко используется данное представ-

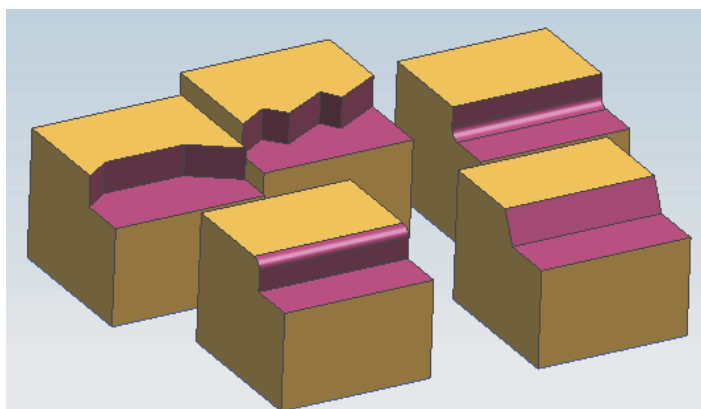


Рис. 1. Возможные варианты геометрии КТЭ «Ступень»

ление, однако, с позиции автоматизированного распознавания КТЭ CSG представление обладает значительными недостатками: не позволяет перейти на уровень доступа к отдельным граням и анализу информации о смежности граней; нет прямого доступа к ребрам и вершинам; представление объектов не уникально, что так же затрудняет распознавание.

В предлагаемом методе используется граничное представление объемного тела boundary representation (b-rep). Структура данных такого представления содержит сведения о границах объема на основе информации о вершинах, ребрах, гранях и их соединении друг с другом. На рис. 2 представлены изображения КТЭ (параллелепипед с глухим отверстием совместно со структурой b-гер данного твердого тела).

Граничное представление объемного тела может быть представлено следующей математической формулировкой:

Объемное тело = $(V | \forall \text{ Вершина}, P | \forall \text{ Ребро}, \Gamma | \forall \text{ Грань})$,
 где V, P, Γ – есть комплекты вершин, ребер и граней тела соответственно.

v, p, γ – соответствующие структурные элементы тела.

В этом выражении каждое ребро имеет две вершины, и является результатом примыкания двух смежных граней. Каждая грань окружена петлей ребер. Петля ребер это топологический объект, который описывает одну из границ грани и содержит информацию о том, где и как к данной грани примыкает соседние грани. Петли могут быть внешними, если они совпадают с граничными кривыми граней, и внутренними, если петля полностью расположена внутри граничных кривых грани, например, отверстие или бобышка на грани. Одна грань может иметь несколько петель.

Для реализации процесса автоматизированного распознавания КТЭ в ЭМИ разработана новая структура данных о топологических объектах ЭМИ (ребра, вершины, грани, петли). Предлагаемая структура данных ориентирована на поддержку процессов распознавания путем применения инструментов анализа к топологическим объектам.

Для формализации представления о каждом из «потенциальных КТЭ» (паз, карман, ступень, сквозной карман, и т.п.) использован подход на основе графе-реберных графов связности (AAG) [3]. Каждому ребру между вершинами присваиваются атрибуты в зависимости от вогнутости,

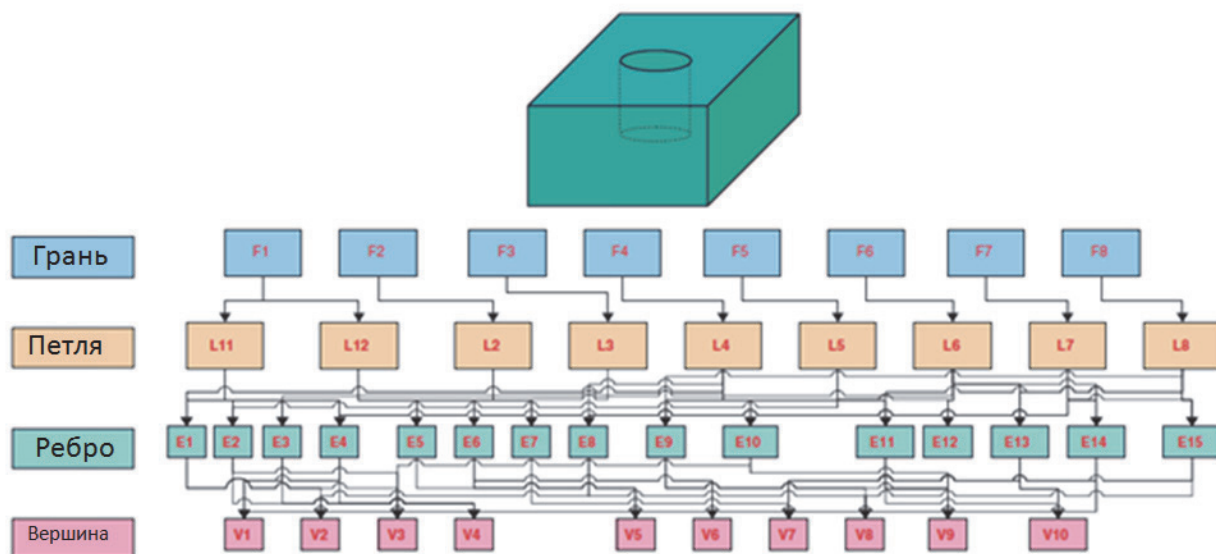


Рис. 2. Вид тела и его граничного описания

выпуклости и т.п. На основании грани-рёберного графа, для всех потенциальных КТЭ необходимо составить таблицу с визуальным представлением, лингвистическим и формализованным описанием (рис. 3).

Преимущества применения грани-рёберного графа связности:

грани помогают обнаруживать потенциальный КТЭ, поскольку задают вектор положения и ограничения перемещений режущего инструмента при удалении объёма материала потенциального КТЭ из заготовки.

Признак выпуклости или вогнутости двух соединённых граней, выражающийся как атрибут ребра, может указывать на существование потенциальных КТЭ. Например, вогнутое ребро между двумя соседними гранями обычно указывает на то, что в заготовке необходимо удалить данный объём, чтобы получить заданную форму. Удаляемый объём может быть определен как потенциальный КТЭ.

Различные топологические взаимоотношения граней и ребер позволяют классифицировать различные типы КТЭ.

Каждому ребру между вершинами присваивается атрибут «0» если грани образующие кривую – вогнуты (угол между ними составляет $<180^\circ$), и атрибут «1» если они выпуклы (угол между ними составляет $>180^\circ$). На основании грани-рёберного графа, для всех потенциальных КТЭ необходимо составить таблицу с визуальным представлением (Таблица 1), лингвистическим и формализованным описанием.

Следующим этапом является группирование извлечённых топологических объектов электронной модели в потенциальные конструкторско-технологические элементы. В общем случае, процесс автоматизированного распознавания КТЭ можно представить, как обработку входной информации блоком САПР-ТП механообработки по преобразованию множества данных «низкого уровня» (грани, ребра, петли, вершины) составляющих структуру ЭМИ в данные «высокого уровня» (отверстия, пазы, карманы). На основе идентифицированных в ЭМИ КТЭ возможно принимать проектные технологические решения

о структуре ТП, применяя к ним типовые маршруты обработки.

Данные «нижнего» уровня являются элементарными структурными составляющими ЭМИ и именно характер их взаимоотношения между собой формирует облик детали. От характера сочетания элементарных поверхностей (от той геометрической формы, которую они образуют) зависят параметры КТЭ (геометрические характеристики: длина, высота, ширина, глубина, диаметр и т.п.), напрямую влияющие на автоматизированное формирование маршрута обработки данного КТЭ. Задача идентификации геометрической формы потенциальных КТЭ в ЭМИ предполагает формирование эвристических правил, позволяющих выделить характерные особенности (параметры) каждого из потенциальных КТЭ. В этом случае подсистема САПР-ТП автоматизированного распознавания КТЭ может приступить к классификации КТЭ т.е. описать электронную модель в технологических терминах, подобно тому как технолог мысленно осуществляет декомпозицию чертежа детали на КТЭ.

Важным параметром, позволяющим в последующем оценить количественные параметры распознанного КТЭ такие как глубина, ширина, высота и т.п. и, тем самым, перейти к автоматизированной оценке способа машинной обработки данного региона детали является определение грани основания. Грань основания – это грань, задающая нормаль инструмента при обработке КТЭ.

Выделим основные эвристические характеристики, позволяющие распознать грань основания во множестве граничного представления ЭМИ и использовать данные знания для КТЭ:

Грань основания в КТЭ может быть только одна.

Грань основания для каждого типа КТЭ имеет свой тип (плоская, цилиндрическая и т.п.).

Грань основания КТЭ полностью доступна (открыта) для подхода режущего инструмента в направлении нормальном базовой грани.

Набор рёбер, ограничивающих базовую грань или все грани КТЭ являются петлями. Для каждой петли формируется вектор параметров в зависимости от расположения петли: выпуклая

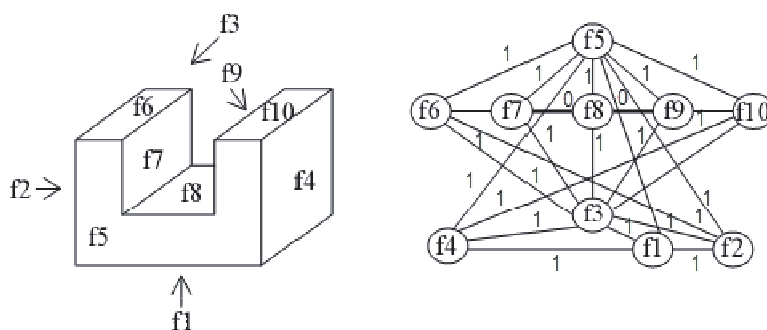
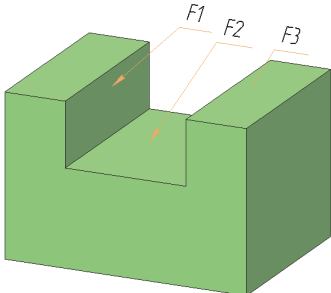
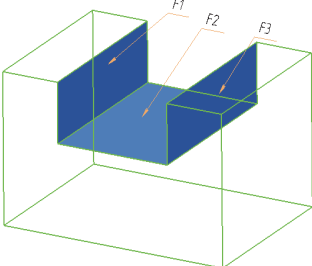

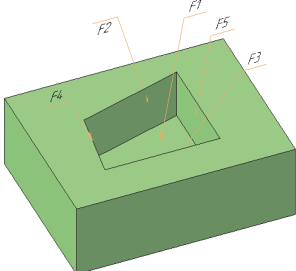
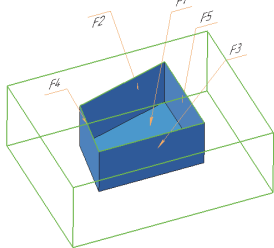
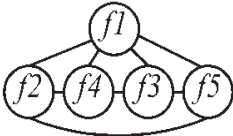
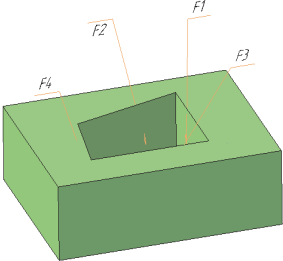
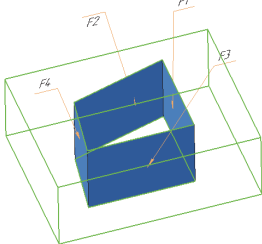
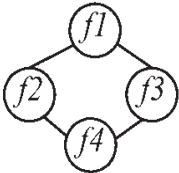
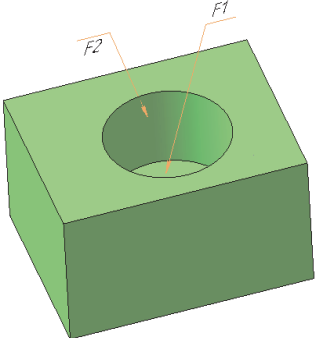
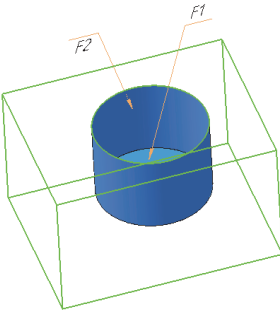



Рис. 3. Пример грани-рёберного графа связности, описывающего топологию тела, где f_n – номер грани

Таблица 1. Визуальное представление некоторых конструкторско-технологических элементов

Наименование КТЭ	Визуальное представление модели	Визуальное представление КТЭ	Гроне-рёберный граф
Паз			
Карман			
Сквозной карман			
Отверстие глухое			

или вогнутая; формы кривых, образующих петлю; наличия окружностей или прямых линий в петле и др. На основе анализа характеристики ребер становится возможным перейти к распознаванию КТЭ на основе циклов (петель). Петли содержат информацию о пересечениях граней с соседними гранями и отражают тем самым специфику геометрической формы данного региона ЭМИ. Классифицируем петли в зависимости от того, какие ребра и с какими атрибутами образуют данные петли. Формализованное описание атрибутов и классов петель занесем в таблицу 2.

Важной задачей при формировании вектора параметров петель является разделение похожих типов КТЭ. После того как сформирован вектор параметров для каждой петли он анализируется

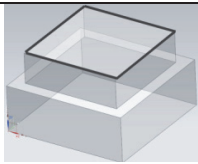
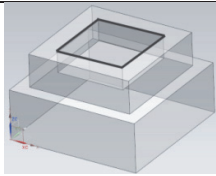
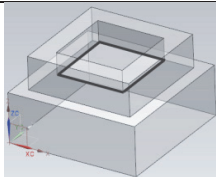
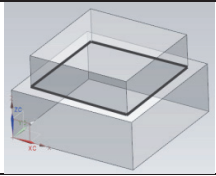
для определения принадлежности к типу КТЭ.

Для идентификации КТЭ в ЭМИ предложено применение нейронной сети (НС).

Выходное значение нейронной сети соответствует шифру определённого КТЭ. Распознанные КТЭ по определённым правилам очередности формируют переходы обработки детали.

Таким образом, разработанный метод распознавания КТЭ с применением анализа данных о топологических объектах ЭМИ (ребра, вершины, грани, петли) на основе В-гер представления, позволяет автоматизировать этап ТПП. Метод позволяет описать и автоматизировано распознать практически любую форму КТЭ. Метод легко реализуем программными средствами, например, в модулях CAD и CAM САПР «верхнего»

Таблица 2. Классификация и представление петель

Класс петли	Атрибут петли	Лингвистическое описание	Математическое описание	Графическое представление
Выпуклая петля	Выпуклая наружная петля (Пет _{вып. нар.})	Все ребра входящие в петлю имеют атрибут «Выпуклые»	Пет _{вып. нар.} = {ребра ∈ P _{вогн.} }	
	Внутренняя наружная Петля (Пет _{вып. внутр.})	Все ребра входящие в петлю имеют атрибут «Выпуклые»	Пет _{вып. внутр.} = {ребра ∈ P _{вогн.} }	
Вогнутая петля	Наружняя Петля (Пет _{вогн. наруж.})	Все ребра входящие в петлю имеют атрибут «Вогнутые»	Пет _{вогн. наруж.} = {ребра ∈ P _{вогн.} }	
	Внутренняя Петля (Пет _{вогн. внутр.})	Все ребра входящие в петлю имеют атрибут «Вогнутые»	Пет _{вогн. внутр.} = {ребра ∈ P _{вогн.} }	
Гибридная петля	Наружняя Петля	Присутствуют как «Вогнутые» ребра так и имеют «Выпуклые»	Пет _{гибр. наруж.} = {ребра ∈ (P _{вогн.} ∪ P _{вып.})}	
	Внутренняя Петля	Присутствуют как «Вогнутые» ребра так и имеют «Выпуклые»	Пет _{гибр. внутр.} = {ребра ∈ (P _{вогн.} ∪ P _{вып.})}	

уровня. К недостаткам метода можно отнести неоднозначность распознавания КТЭ в случае их пересечения.

М.: Академия, 2007. 272 с.

- Митрофанов В.Г. Калачев О.Н., Схиртладзе А.Г. САПР ТП в технологии машиностроения. Ярославль: 1995. 298 с
- Li W.D., Ong S.K., Nee A.Y.C. Integrated and collaborative product development environment World Scientific Publishing Co Pte Ltd (27 Mar 2006), 348 pp.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кондаков А.И. САПР технологических процессов.

AUTOMATED FEATURE RECOGNITION METHOD

© 2016 I.A. Zinnatillin, D.S. Goryainov

Samara State Technical University

Discuss technologic readiness efficiency, using automated feature recognition method.

Keywords: automation, CAPP-systems, digital mock-up, design feature, recognition, neural nets, Attributed Adjacency Graph

Ildar Zinnatullin, Director of Research and Production Center "Computer Biomechanics" at the Research and Development Division of the Samara State Technical University.

E-mail: zinnat.ildar@gmail.com

Dmitry Goryainov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Mechanical Engineering Technology Department.

E-mail: goryainovd@yandex.ru