

УДК621.7-52

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

И.Н. ДОМКИН, Е.О. ЖИХОРЕВ, В.С. АНИСИМОВ

(Представлено: д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК; Р.С. ХМЕЛЬНИЦКИЙ)

Рассматривается современное машиностроение, характеризующееся широким спектром проектных работ, сложностью конструкции, сжатыми сроками выполнения заказов, что вынуждает проводить работы на современном техническом уровне, с использованием интегрированных систем автоматизированного проектирования. Оптимизация ранее созданных технологических процессов необходима в силу долгосрочного их использования и стремления к уменьшению расходов на производство.

Компьютерное моделирование техпроцесса во многом ускоряет процесс изготовления деталей за счет выявления и устранения возможных ошибок на этапах конструирования и подготовки производства и изготовления изделия.

CAD/CAM являются компьютерной технологией для проектирования и выпуска рабочей документации. Программы CAD/CAM используются для проектирования изделий и программирования производственных процессов, в частности станков с числовым программным управлением (ЧПУ). В САМ используются модели и сборки, созданные в САД для формирования траекторий перемещения инструментов, которые управляют станками, создающими физические детали по проектам. Программное обеспечение CAD/CAM наиболее часто используется для обработки прототипов и готовых деталей [1].

САМ-системы (computer-aided manufacturing компьютерная поддержка изготовления) предназначены для проектирования обработки изделий на станках с ЧПУ (фрезерных, сверлильных, эрозионных, пробивных, токарных, шлифовальных и др.) и выдачи программ для этих станков. В настоящее время они являются практически единственным способом для изготовления сложнопрофильных деталей и сокращения цикла их производства. В САМ-системах используется трехмерная модель детали, созданная в САД-системе. Традиционно существует также деление CAD/CAM/CAE-систем на системы верхнего, среднего и нижнего уровня.

Примерами CAD/CAM-систем *верхнего уровня* являются Pro/Engineer, Unigraphics, CATIA (все они имеют расчетную часть CAE). Наиболее известными CAD/CAM-системами *среднего уровня* являются: ADEM; Cimatron (Cimatron Ltd.); Mastercam (CNC Software, Inc.); AutoCAD 2000; Powermill (DELCAM) и другие. К числу CAD/CAM-систем *среднего уровня* на основе ядра Parasolid принадлежат CADKEY 99 (CADKEY Corp.); SolidWorks (SolidWorks Corp.); Unigraphics Modeling (Unigraphics Solutions) и другие САД-системы *нижнего уровня* (например, Medusa, TrueCAD, «Компас» и др.) применяются только при автоматизации чертежных работ.

По целевому назначению различают следующие системы автоматизированного проектирования (САПР) или подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования:

- **CAD** (англ. computer-aided design/drafting) – средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства систем автоматизированного проектирования, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, и САПР общего назначения;

- **CADD** (англ. computer-aided design and drafting) – средство проектирование и создание чертежей;

- **CAGD** (англ. computer-aided geometric design) – средство геометрического моделирования;

- **CAE** (англ. computer-aided engineering) – средства автоматизации инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий;

- **CAA** (англ. computer-aided analysis) – подкласс средств CAE, используемых для компьютерного анализа;

- **CAPP** (англ. computer-aided process planning) – средства автоматизации планирования технологических процессов, применяемые на стыке систем САД и САМ.

Многие системы автоматизированного проектирования совмещают в себе решение задач, относящихся к различным аспектам проектирования CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют комплексными или интегрированными. С помощью САД-средств создается геометрическая модель изделия, которая используется в качестве входных данных в системах САМ и на основе которой в системах CAE формируется требуемая для инженерного анализа модель исследуемого процесса.

В общем случае процесс работы в САМ-системе выглядит линейно. Начинается работа с подготовки геометрии; затем выбираются элементы, подлежащие обработке; после назначается стратегия; определяются параметры операции, режимы резания и инструмент; производится графическую проверку рассчитанных системой траекторий; запускается постпроцессирование и получается код управляющей программы (УП). За годы эволюции САМ этот процесс принципиально не изменился, лишь отдельные его фрагменты подверглись автоматизации или стали более функциональными и интерактивными. На любом из этапов процесса можно внести корректировки в операцию, например, изменить диаметр инструмента, глубину обработки, количество проходов и запустить пересчет операции с новыми параметрами. Такие итерации могут продолжаться многократно, пока программист и оператор на станке не будут удовлетворены результатом. Возрастающая сложность оборудования и необходимость сокращения времени подготовки УП сподвигла разработчиков САМ-систем на модернизацию устоявшегося процесса.

Новый подход заключается в интерактивном использовании станочных данных уже на начальном этапе проектирования операций обработки. Если сейчас программист взаимодействует с трехмерной моделью станка исключительно во время симуляции обработки, то в будущем он сможет производить виртуальную наладку, например, размещать приспособление на столе станка или позиционировать заготовку. Виртуальная наладка непосредственно влияет на принятие решений в процессе создания операций обработки и позволяет, к примеру, понять, хватит ли угла поворота рабочего стола с заготовкой или каким окажется качество поверхности обработанной детали с учетом данных об ускорении и замедлении рабочих органов станка. Причем речь идет не о режиме симуляции обработки, а о процессе, влияющим на создаваемые в САМ-системе траектории. При выборе стратегии обработки система будет способна предупредить, например, о невозможности использования данной стратегии, предложить максимально допустимые режимы резания или оценить выбранные, оптимизировать расчеты траектории с учетом кинематики станка (что особенно актуально для 5-ти осевого фрезерования) и, разумеется, помочь избежать коллизий. Более того, операции трансформации (копирование, поворот, смещение) над виртуальной деталью приведут к немедленному пересчету операций обработки.

Одним из наиболее перспективных аспектов применения САМ-систем является автоматизация подбора инструмента и режимов резания непосредственно из САМ-системы, которая передает параметры распознанных конструктивных элементов 3D-модели обрабатываемой детали в облако, а обратно получает список инструментов и рекомендованные значения режимов обработки. Причем нужно отметить, что импортированные инструменты служат не только для последующего расчета траекторий и верификации, но и снабжены каталожными номерами, что значительно облегчает работу технолога, отвечающего за выбор и приобретение инструмента, необходимого для выполнения текущего производственного задания.

Неотъемлемой частью САМ-систем является постпроцессирование. Постпроцессор – программа, которая преобразует файл траектории движения инструмента и технологических команд (промежуточный файл), сформированный САМ-системой, в файл УП в соответствии с требованиями конкретного комплекса «станок – система ЧПУ». В ряде отечественных систем постпроцессоры какое-то время назывались паспортами.

Для того чтобы абстрагироваться от большого разнообразия станков, систем ЧПУ и языков программирования обработки, САМ-система генерирует промежуточный файл, содержащий информацию о траектории, угле поворота инструмента (в случае многокоординатной обработки) и обобщенные команды управления станком. Обычно этот промежуточный файл называется CL-файлом (CutterLocation) или CLDATA-файлом. Далее в работу вступает постпроцессор. Он преобразует этот промежуточный файл в программу обработки в строгом соответствии с форматом программирования конкретного станка с ЧПУ.

Такая технология позволяет программисту во время проектирования обработки в САМ-системе не задумываться о том, на какой конкретно станок попадет УП и каков будет ее формат. Ему необходимо лишь выбрать постпроцессор, соответствующий определенному станку с ЧПУ, и тот возьмет на себя всю работу по созданию программы обработки определенного формата [2].

Постпроцессирование, пожалуй, одна из самых консервативных областей САМ. Тем не менее и здесь можно проследить определенную эволюцию.

К сожалению, разработчики САМ-систем не придерживаются единого стандарта для формирования промежуточных CL-файлов. В результате текстовый файл с описанием алгоритмов преобразования (постпроцессор) одной САМ-системы будет абсолютно бесполезен для использования внутри другой САМ-системы. Для разработки даже такого текстового постпроцессора «с нуля» необходимы глубокие знания самой системы и принципов преобразования исходных данных. Поэтому пользователю предоставляют набор базовых постпроцессоров с редактируемыми переменными. Сегодня наиболее эффективным и простым решением проблем постпроцессирования на предприятии является использование универсального постпроцессора, так называемого генератора постпроцессоров. В таблице 1 представлены основные характеристики некоторых наиболее распространенных САМ-систем.

Таблица 1. – Характеристики САМ-систем

Программа	Страна (город)	Компания	Самостоятельная/ в составе	Верификация	Тип промышленности
T-FLEX CAD	Россия (Москва)	ЗАО «ТОП Системы»	-/+	-	Общее машиностроение
TEBIS	Германия	TebisTechnische Information system AG	-/+	+	Общее машиностроение
VISI-Series	Мексика	Vero Software	-/+	-	Аэрокосмическая, автомобильная промышленность
EdgeCAM	Англия	Vero Software	+/-	+	Общее машиностроение
SprusCAM	Россия	«Спрут-Технология»	+/-	+	Общее машиностроение
UNIGRAPHIC SNX	США – Германия	United Computing-Siemens PLM Software	-/+	+	Судостроение, двигателестроение
ESPRIT	США	DP Technology	-/+	+	Общее машиностроение, аэрокосмическая промышленность
MasterCAM	США	CNC Software	-/+	+	Общее машиностроение, деревообработка
SolidCam	США	CNC Software	-/+	+	Общее машиностроение
Cimatron	Израиль	Cimatron Ltd.	-/+	+	Автомобильная, авиационная, космическая, медицинская промышленность, производство электроники
CATIA	Франция	DassaultSystemes	-/+	+	Аэрокосмическая, автомобильная, радиоэлектронная, судостроительная
VX	Китай	VXCorp.- ZW Soft	-/+	+	Общее машиностроение
Emco CamConcept	Германия	EMCO	+/-	-	Общее машиностроение
Powersolutions	Великобритания	Small Heath	-/+	+	Общее машиностроение
ADEM	Россия (Москва)	АДЕМ	-/+	+	Авиационная, аэрокосмическая, машиностроительная промышленность

Как видно из таблицы 1, наиболее известными программами на данный момент являются 3 российских программы и 11 иностранных (США – 3, Великобритания – 2, Германия – 2, Мексика, Израиль, Китай, Франция). Среди них самостоятельных (автономных) – 3 наименования, остальные 11 находятся в составе PLM (систем управления жизненным циклом изделия).

В таблице 2 представлены возможности САМ-систем, которые свидетельствуют о применении 5-осевой обработке на токарных, сверлильных, фрезерных и электроэрозионных операциях.

Таблица 2. – Основные возможности САМ систем

Программа	Возможности	Примечания
T-FLEX CAD	Электроэрозионная обработка 2–5-координатное фрезерование	
TEBIS	Обработка 3 + 2 оси, точение, фрезерование	Сканирование поверхностей для анализа геометрии, интерактивное управление инструментами
VISI-Series	2–5-координатная механическая обработка, электроэрозионная обработка	Удобное проектирование форм для литья

Окончание таблицы 2

Программа	Возможности	Примечания
EdgeCAM	2,5–5-координатная фрезерная обработка, токарная обработка, электроэрозионная обработка	Мастер постпроцессоров, библиотека инструментов, исключение холостых проходов инструмента
SprusCAM	2,5-5-координатная фрезерная обработка, токарная обработка токарно-фрезерная обработка, электроэрозионная обработка, плазменная, лазерная, газовая	Возможна разработка программ для управления промышленными роботами
UNIGRAPHIC SNX	Токарная обработка, фрезерная обработка на 3-5-осевых станках, токарно-фрезерная обработка	Поддержка высокоскоростного фрезерования
ESPRIT	Токарная обработка на многоосевых станках, 2,5-осевое фрезерование, циркулярное фрезерование по 4-й оси	Реалистичная точная визуализация
MasterCAM	2,5-5-координатная фрезерная обработка, токарная обработка токарно-фрезерная обработка, электроэрозионная обработка	Возможно проектирование и создание объемных художественных объектов из плоских шаблонов. Модуль для деревообработки. Генерирование ЧПУ программы
SOLIDCAM	2,5-5-координатная фрезерная обработка, токарная обработка токарно-фрезерная обработка, электроэрозионная обработка Сверлильная обработка	Возможно проектирование и создание объемных художественных объектов из плоских шаблонов. Реалистичная точная визуализация. Генерирование ЧПУ программы
Cimatron	Токарная, токарно-фрезерная, проволочная эрозионная обработка 2,4,5-координатная фрезерная обработка	Поддержка станков с противощпинделем, генератор постпроцессоров
CATIA	Токарная обработка, сверлильная обработка	Большое предназначение моделированию деталей и кинематики
VX	5-осевая обработка, гравировка по 3-м осям	
Emco CamConcept	Токарная, фрезерная, сверлильная	Генерирование ЧПУ программы
Powersolutions	Токарная, фрезерная, сверлильная обработка	
ADEM	Фрезерование с произвольным числом управляемых осей, токарная, токарно-фрезерная обработка, гравировка, обработка на прессах с ЧПУ	

Таким образом, CAD/CAM-технологии позволяют добиться двух важных результатов – сократить время изготовления продукции и значительно снизить влияние человеческого фактора (а значит, ошибок). Самостоятельное, не связанное между собой функционирование систем CAD и CAM дает эффект, размер которого может быть существенно увеличен интеграцией этих систем посредством CAPP. Такая интегрированная система CAD/CAM на информационном уровне поддерживается единой базой данных, в которой хранится трехмерная математическая модель изделия, т.е. информация о его структуре и геометрии (как результат проектирования в системе CAD), о технологии изготовления (как результат системы CAPP) и УП для оборудования с ЧПУ (как исходная информация для обработки в системе CAM на оборудовании с ЧПУ) [3–5].

ЛИТЕРАТУРА

1. CAD/CAM-системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/solutions/cad-cam>. – Дата доступа: 16.09.2015.
2. Будущее САМ-систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18313/. – Дата доступа: 16.09.2015.
3. Смелов, В.Г. Пути 3D-параметризации лопаток ГТД для использования с CAD/CAM/CAE пакетах / В.Г. Смелов, И.Л. Шитарев // Вестн. гос. аэрокосм. ун-та. – 2008. – № 3. – С. 44–47.
4. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей: / А.В. Богуслаев [и др.] ; Запорож. нац. техн. ун-т. – Запорожье : Мотор-Сич, 2009. – 468 с.
5. Невлюдов, И.Ш. Использование CAD/CAM/CAE/CAPP при формировании управляющих программ для станков с ЧПУ / И.Ш. Невлюдов, С.С. Великодный, М.А. Омаров // Вост.-Европ. журнал передовых технологий. – 2010. – № 2/2 (44). – С. 37–44.