

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра “Оборудование и инструмент  
компьютеризированного производства”

658.51(07)  
М135

П.Г. Мазеин, А.В. Шаламов

**СКВОЗНОЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ В САД/САМ СИСТЕМАХ**

Учебное пособие

Челябинск  
Издательство ЮУрГУ  
2002

УДК 658.512-52(075.8)

Мазеин П.Г., Шаламов А.В. Сквозное автоматизированное проектирование в CAD/CAM системах: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 83 с.

Изложены классификация, структура и преимущества сквозных CAD/CAM систем, сравнительные характеристики различных CAD/CAM систем.

Показаны примеры использования CAD/CAM систем в машиностроении.

Учебное пособие предназначено для студентов механико-технологического факультета и может быть полезным для работников предприятия.

Ил. 48, табл. 2, список лит. – 13 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией механико-технологического факультета.

Рецензенты: Г.Г. Созыкин, М.Л. Гельфонд.

## ВВЕДЕНИЕ

По мнению ведущих мировых аналитиков, основными факторами успеха в современном промышленном производстве являются: сокращение срока выхода продукции на рынок, снижение ее себестоимости и повышение качества. К числу наиболее эффективных технологий, позволяющих выполнить эти требования, принадлежат так называемые CAD/CAM/CAE системы (системы автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа) [1].

В настоящее время многие предприятия России занимаются внедрением систем автоматизированного проектирования изделий, к этому вынуждают условия рынка, на котором выигрывают предприятия с наименьшими затратами производящие нужную продукцию высокого качества. Быстрое освоение новой продукции возможно в современных условиях только на основе сквозных автоматизированных систем проектирования, являющихся составной частью интегрированных гибких производственных систем: CAD/CAM/CAE/FMS/PDM/EPD.

Появление и быстрое распространение систем сквозного автоматизированного проектирования привело к скачку в области проектирования и производства изделий в различных отраслях машиностроения.

В последнее время бурными темпами развивается производство пластмасс. К 2005-му году ожидается, что объем производства достигнет уровня 150...170 млн. тонн. Наибольшую сложность в единичном производстве представляет изготовление инструментальной оснастки: штампов и пресс-форм (ПФ) для литья пластмасс. Потребность в оснастке постоянно возрастает. Сокращение сроков и трудоемкости проектирования, повышение качества проектов может быть достигнуто только за счет автоматизации процессов проектирования и производства. Развитие производства штампов и пресс-форм сопровождалось созданием систем автоматизированного проектирования – CAD/CAM систем. В их основу положена концепция “свободного” конструирования (free design), согласно которой конструктор создает в своем воображении конструктивный образ детали, описывает его на входном геометрическом языке и вводит в ПЭВМ. Средства вычислительной техники реализуют вспомогательные “сервисные” проектные функции, позволяющие конструктору анализировать и корректировать созданную им конструкцию, выполнять необходимые проектные расчеты, формировать и автоматически выводить на графические устройства чертежи, разрабатывать технологический процесс и управляющие программы изготовления этой детали на оборудовании с ЧПУ. Системы CAD/CAM/CAE/FMS/PDM позволяют автоматизировать трудоемкие проектные расчеты, процессы разработки чертежей и подготовки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, что позволяет существенно повысить качество и производительность труда конструктора и технолога.

В данном пособии рассмотрены наиболее распространенные в мире CAD/CAM/CAE системы, приведена классификация систем, рекомендации по выбору САПР для предприятия. Выполнен анализ структуры и возможностей современных систем высокого уровня на примере системы Pro/ENGINEER. В работе также дается пример сквозного проекта, выполненный в системе сквозного проектирования Pro/ENGINEER.

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ CAD/CAM СИСТЕМ

Прежде чем углубляться в изучение систем автоматизированного проектирования (САПР) дадим расшифровку некоторых широко используемых сокращений:

– CAD (Computer Aided Design) системы – компьютерная поддержка проектирования. Предназначены для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации (более привычно они именуются системами автоматизированного проектирования – САПР). Как правило, в современные CAD системы входят модули моделирования трехмерной объемной конструкции (детали) и оформления чертежей и текстовой конструкторской документации (спецификаций, ведомостей и т. д.). Ведущие трехмерные CAD системы позволяют реализовать идею сквозного цикла подготовки и производства сложных промышленных изделий;

– CAM (Computer Aided Manufacturing) системы – компьютерная поддержка изготовления. Предназначены для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и выдачи программ для этих станков (фрезерных, сверлильных, эрозионных, пробивных, токарных, шлифовальных и др.). CAM системы еще называют автоматизированными системами технологической подготовки производства (АСТПП). В настоящее время они являются практически единственным способом для изготовления сложнопрофильных деталей и сокращения цикла их производства. Как правило, в CAM системах используется трехмерная модель детали, созданная в CAD системе;

– CAE (Computer Aided Engineering) системы – поддержка инженерных расчетов. Представляют собой обширный класс систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу (группу задач), начиная от расчетов на прочность, анализа и моделирования тепловых процессов до расчетов гидравлических систем и машин, расчетов процессов литья. В CAE системах также используется трехмерная модель изделия, созданная в CAD системе. CAE системы еще называют системами инженерного анализа;

– FMS (Flexible Manufacturing Systems) системы – организация и управление гибкими производственными комплексами. Российский аналог таких систем – ГПС (гибкие производственные системы);

– PDM (Project Development Systems) системы – управление проектом, организация документооборота на предприятии. Российский аналог таких систем – АСУП (автоматизированные системы управления).

### 1.1. История развития мирового рынка CAD/CAM/CAE систем

Историю развития рынка CAD/CAM/CAE систем можно достаточно условно разбить на три основных этапа, каждый из которых длился, примерно, по 10 лет. Первый этап начался в 70-е гг. В ходе его был получен ряд научно-практических результатов, доказавших принципиальную возможность проектирования сложных промышленных изделий. Во время второго этапа (80-е гг.) появились и начали быстро распространяться CAD/CAM/CAE системы массового применения. Третий этап развития рынка (с 90-х гг. до настоящего времени) характеризуется совершенствованием функциональности CAD/CAM/CAE систем и их дальнейшим распространением в высокотехнологичных производствах (где они лучше всего продемонстрировали свою эффективность).

На начальном этапе пользователи CAD/CAM/CAE систем работали на графических терминалах, присоединенных к мэйнфреймам (компьютеры, обладающие большой вычислительной мощностью, к которым подключаются терминалы – машины, не имеющие собственных вычислительных средств и использующие ресурсы главного компьютера). Первые мэйнфреймы производили компании IBM и Control Data, или же мини-ЭВМ PDP/11 (от Digital Equipment Corporation) и Nova (производства Data General). Большинство таких систем предлагали фирмы, продававшие одновременно аппаратные и программные средства (в те годы лидерами рассматриваемого рынка были компании Applicon, Auto-Trol Technology, Calma, Computervision и Intergraph). У мэйнфреймов того времени был ряд существенных недостатков. Например, при разделении системных ресурсов слишком большим числом пользователей нагрузка на центральный процессор увеличивалась до такой степени, что работать в интерактивном режиме становилось трудно. Но в то время пользователям CAD/CAM/CAE систем ничего, кроме громоздких компьютерных систем с разделением ресурсов (по устанавливаемым приоритетам), предложить было нечего, т. к. микропроцессоры были еще весьма несовершенными. По данным Dataquest, в начале 80-х гг. стоимость одной лицензии CAD системы доходила до \$ 90000.

Развитие приложений для проектирования шаблонов печатных плат и слоев микросхем сделало возможным появление схем высокой степени интеграции (на базе которых и были созданы современные высокопроизводительные компьютерные системы). В течение 80-х гг. был осуществлен постепенный перевод CAD систем с мэйнфреймов на персональные компьютеры (ПК). В то время ПК работали быстрее, чем многозадачные системы, и были дешевле. По данным Dataquest, к концу 80-х гг. стоимость CAD-лицензии снизилась, примерно, до \$ 20000.

Следует сказать, что в начале 80-х гг. произошло расслоение рынка САД систем на специализированные секторы. Электрический и механический сегменты САД систем разделились на отрасли ECAD и MCAD. Разошлись по двум различным направлениям и производители рабочих станций для САД систем, созданных на базе ПК:

- часть производителей сориентировалась на архитектуру IBM PC на базе микропроцессоров Intel x86;

- другие производители предпочли ориентацию на архитектуру Motorola (ПК ее производства работали под управлением ОС Unix от AT&T, ОС Macintosh от Apple и Domain OS от Apollo).

Производительность САД-систем на ПК в то время была ограничена 16-разрядной адресацией микропроцессоров Intel и MS DOS. Вследствие этого, пользователи, создающие сложные твердотельные модели и конструкции, предпочитали использовать графические рабочие станции под ОС Unix с 32-разрядной адресацией и виртуальной памятью, позволяющей запускать ресурсоемкие приложения.

К середине 80-х гг. возможности архитектуры Motorola были полностью исчерпаны. На основе передовой концепции архитектуры микропроцессоров с усеченным набором команд (Reduced Instruction Set Computing – RISC) были разработаны новые чипы для рабочих станций под ОС Unix (например, Sun SPARC). Архитектура RISC позволила существенно повысить производительность САД систем.

С середины 90-х гг. развитие микротехнологий позволило компании Intel удешевить производство своих транзисторов, повысив их производительность. Вследствие этого появилась возможность для успешного соревнования рабочих станций на базе ПК с RISC/Unix-станциями. Системы RISC/Unix были широко распространены во 2-й половине 90-х гг., и их позиции все еще сильны в сегменте проектирования интегральных схем. Зато сейчас ОС MS Windows NT и MS Windows 2000 практически полностью доминируют в областях проектирования конструкций и механического инжиниринга, проектирования печатных плат и др.

По данным Dataquest и IDC, начиная с 1997 г. рабочие станции на платформе Windows NT/Intel (Wintel) начали обгонять Unix-станции по объемам продаж. За прошедшие с начала появления САД/CAM/CAE систем годы стоимость лицензии на них снизилась до нескольких тысяч долларов (например, \$ 6000 у Pro/ENGINEER).

## 1.2. Общая классификация САД/CAM/CAE систем

За почти 30-летний период существования САД/CAM/CAE систем сложилась следующая общепринятая международная классификация:

- чертежно-ориентированные системы, которые появились первыми в 70-е гг. (и успешно применяются в некоторых случаях до сих пор);

- системы, позволяющие создавать трехмерную электронную модель

объекта, которая дает возможность решения задач его моделирования вплоть до момента изготовления;

– системы, поддерживающие концепцию полного электронного описания объекта (EPD – Electronic Product Definition). EPD – это технология, которая обеспечивает разработку и поддержку электронной информационной модели на протяжении всего жизненного цикла изделия, включая маркетинг, концептуальное и рабочее проектирование, технологическую подготовку, производство, эксплуатацию, ремонт и утилизацию. При применении EPD-концепции предполагается замещение «компонентно-центрического» последовательного проектирования сложного изделия на «изделие-центрический» процесс, выполняемый проектно-производственными командами, работающими коллективно, отдельные члены которых могут быть расположены в разных странах. Вследствие разработки EPD-концепции и появились основания для превращения автономных CAD, CAM и CAE систем в интегрированные CAD/CAM/CAE системы.

Традиционно существует также деление CAD/CAM/CAE систем на системы верхнего, среднего и нижнего уровней. Следует отметить, что это деление является достаточно условным, т. к. сейчас наблюдается тенденция приближения систем среднего уровня (по различным параметрам) к системам верхнего уровня, а системы нижнего уровня все чаще перестают быть просто двумерными чертежно-ориентированными и становятся трехмерными. Также ярко выражено увеличение числа пользователей систем среднего уровня за счет перехода пользователей к компьютерному проектированию (рис. 1.1).

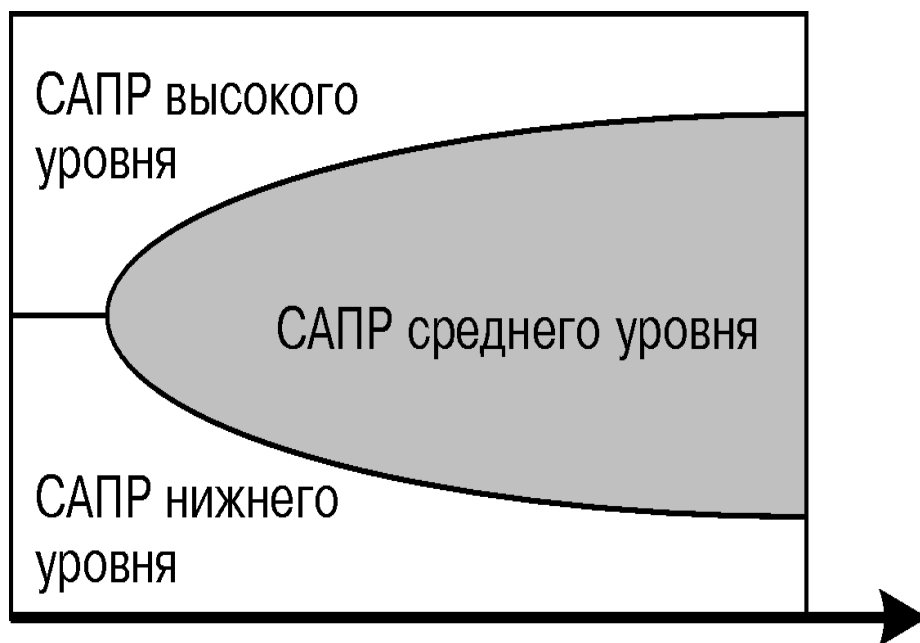


Рис. 1.1. Изменение количества пользователей САПР

Примерами CAD/CAM систем верхнего уровня являются Pro/Engineer, Unigraphics, CATIA, EUCLID, I-DEAS. Все они имеют модули инженерного анализа – CAE и могут работать с большими сборками (более 2000 сборочных единиц). Примером проекта, выполненного в системе высокого уровня, может служить проект цеха химического завода (рис. 1.2).

В настоящее время в САПР широко используются два типа твердотельного геометрического ядра (Parasolid от фирмы Unigraphics Solutions и ACIS от Spatial Technology).

Системы верхнего уровня имеют, как правило, свои собственные ядра. Например, Pro/ENGINEER начиная с версии 2000 выходит на общем с Pro/DESKTOP ядре – Granite.

Наиболее известными CAD/CAM системами среднего уровня на основе ядра ACIS являются: ADEM (Omega Technology); Cimatron (Cimatron Ltd.); Mastercam (CNC Software, Inc.); Mechanical Desktop и Autodesk Inventor (Autodesk Inc.); Powermill (DELCAM); CADdy++ Mechanical Design (Ziegler Informatics GmbH); семейство продуктов Bravo (Unigraphics Solutions), IronCad (VDS) и др.

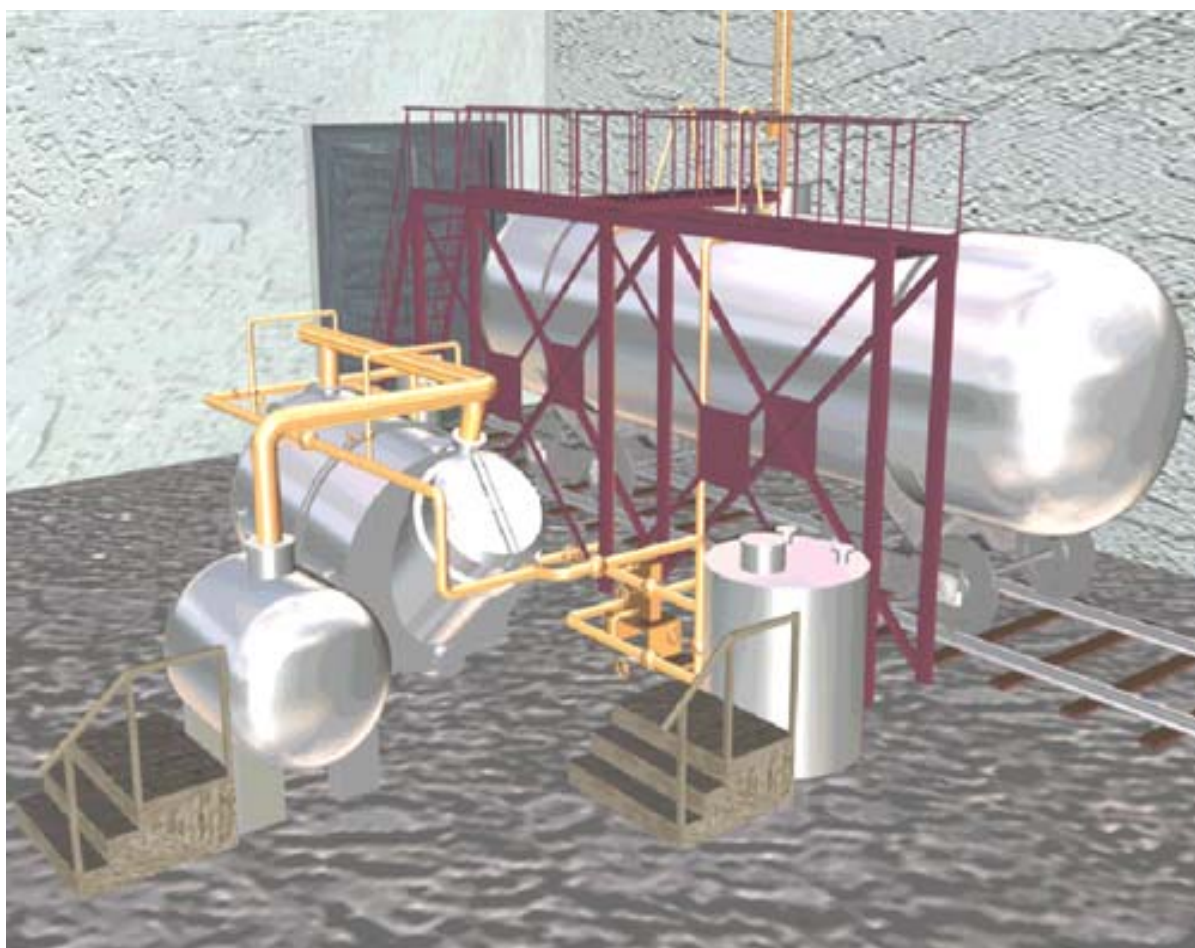


Рис. 1.2. Пример проекта, выполненный в системе верхнего уровня



К числу CAD/CAM систем среднего уровня на основе ядра Parasolid принадлежат, в частности, MicroStation Modeler (Bentley Systems Inc.); CADKEY 99 (CADKEY Corp.); Pro/Desktop (Parametric Technology Corp.); SolidWorks (SolidWorks Corp.); Anvil Express (MCS Inc.), Solid Edge и Unigraphics Modeling (Unigraphics Solutions); IronCAD (VDS) и др.

CAD системы нижнего уровня (например, AutCAD LT, Medusa, TrueCAD, КОМПАС, БАЗИС и др.) применяются только при автоматизации чертежных работ и имеют, как правило, свои собственные геометрические ядра.

### 1.2.1. Системы нижнего уровня

Эти системы представляют собой электронный кульман. Программы этого уровня предназначены для создания чертежей и, как правило, имеют весь необходимый для этого инструментарий: рисование геометрии, простановка размеров, символов шероховатости, технологических требований и т.д.

Применимость таких программ для российских предприятий следует рассматривать с точки зрения потребностей и финансовых возможностей предприятия, соответствия требованиям российских стандартов

Наиболее распространенными на отечественном рынке являются: AutoCAD, Компас-график, T-Flex 2D. Последние две программы, созданные отечественными компаниями, представляются наиболее целесообразными для внедрения на отечественных предприятиях. Они имеют следующие преимущества перед AutoCAD:

- 1) возможность параметризации чертежа (создавая чертеж типовой детали) без применения навыков программирования;
- 2) большое количество консалтинговых центров;
- 3) более низкая стоимость.

Следует отметить, что соответствие требованиям российским стандартам является весьма существенным параметром, характеризующим программу, так как далеко не все иностранные фирмы включают поддержку требований ЕСКД в свои программные продукты.

Как правило, для таких систем не требуется больших вычислительных мощностей и вполне приемлемая конфигурация персонального компьютера для работы с такой системой Pentium 233 MMX с 32 мегабайтами оперативной памяти и 15 дюймовым монитором. Стоимость систем нижнего уровня находится в пределах 900...1500 долларов.

Завершая обзор систем нижнего уровня, следует отметить, что российские продукты сейчас имеют также и модуль трехмерного моделирования и продолжают приближаться по возможностям к системам среднего уровня. Срок освоения систем такого уровня, при условии того, что человек владеет навыками работы с компьютером и опытом построения бумажных чертежей, составляет от одной до двух недель.

## 1.2.2. Системы среднего уровня

Чтобы понять, почему с течением времени потребовался переход от программ нижнего уровня к более мощным программам, проанализируем, как описывается чертеж в системах нижнего уровня.

Геометрия деталей и сборочных единиц описывается через плоские изображения: виды, сечения, разрезы и приложенные к ним символы размеров, то есть дискретный символьный способ описания. При этом, как правило, не было ничего общего с фактическим заданием формы при изготовлении. Геометрия в плоских символах существовала всего лишь как язык, на котором конструктор передавал свое представление формы технологу и другим своим коллегам. Невершенство и слабость такого метода очевидны: вслед за чертежом следовала его интерпретация – перевод с языка символов на язык технологии изготовления. Любой подобный перевод, во-первых, неизбежно повторяет труд конструктора, а во-вторых, приносит смысловые потери и неоднозначные толкования. Таким образом, **первая проблема** в чертежном способе описания геометрии – неполнота и неоднозначность.

Пример. При выполнении тестового геометрического моделирования с помощью САД программы по готовым чертежам заказчика всегда выявляются ошибки, связанные со сложностью однозначного и корректного отображения сложной трехмерной геометрии на плоском чертеже. Отметим, что часто штамп или пресс-форма оказываются значительно сложнее готовой детали. При проектировании и разработке чертежей оснастки ошибки возникают не реже, чем при проектировании изделия. Отработка таких чертежей требует весьма больших усилий. Примером изделия, такой проработки, может служить пятицилиндровый двигатель изображенный на (рис. 1.3). Без сложного инженерного анализа понадобилось бы огромное количество времени и ресурсов для создания взаимно соответствующих чертежей: и даже после большого числа проверок ошибки не исключены. Отсюда **вторая проблема**: между чертежами не поддерживается взаимнооднозначное соответствие.

Проанализируем содержание графических документов:

- геометрия конечного состояния детали, сборки и изделия в целом, выраженная языком плоских дискретных символов;
- допуски и посадки, приложенные к графическому представлению геометрии символам размеров;
- указания шероховатости поверхности;
- указания маркировки и клеймения;
- идентификация объектов (наименование, обозначение, реквизиты исполнителей, принадлежность сборочному чертежу и проекту);
- некоторые свойства детали (материал, термообработка, покрытие, масса);
- указания на технические условия, ссылки на руководящие документы (стандарты) и условия применения данного документа.

Недостатки чертежного представления проекта изделия можно система-

тизировать следующим образом:

– нет упорядоченного описания множества механических связей взаимодействия данного объекта с другими в создаваемом изделии.

Любое сборочное производство – это процесс установления между компонентами изделия механических связей в определенном порядке с соблюдением тех или иных условий, в результате чего и получается конечный продукт, наделенный необходимыми

функциональными свойствами. Значит, все это должно быть детально и целенаправленно описано, включая последовательность. Но традиционный сборочный чертеж только перечисление собираемых объектов, их графическое представление и указания некоторых требований, которые нужно обеспечить при сборке; отсутствует однозначное определение геометрии, если только она не каноническая.

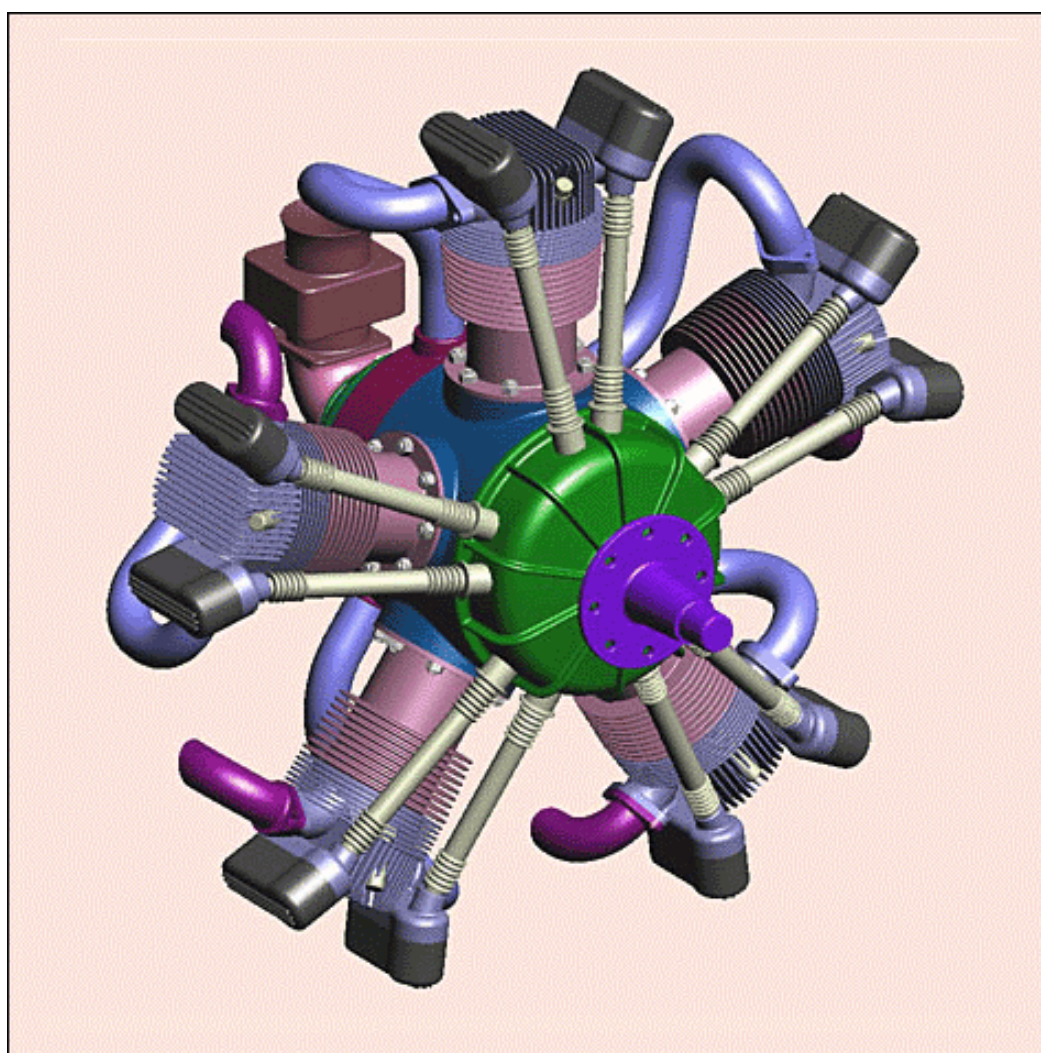


Рис. 1.3. Пятицилиндровый двигатель (Pro/ENGINEER)

При классическом формоопределении производство детали выполняется методом копирования ранее определенной в макете геометрии, а в символическом (графическом) – методом повторения построений по графическому образцу. Другими словами, чертеж пропускается через глаза и руки человека, прежде чем превращается в изделие, а макет (например, литейная форма) – через копирование формы, которая представляет собой геометрию детали.

В классическом представлении формы изделия нет прямой связи между геометрическими, физическими, технологическими и функциональными характеристиками. Изменение геометрии или свойства одного элемента не влечет за собой изменения другого, от него зависящего, при этом не возникает даже признаков хоть как-то обозначающих возникшее противоречие. Следовательно, качество проекта, практически неопределимо.

Это обстоятельство чаще всего замедляет производственный процесс, поскольку заставляет строить натурные макеты и опытные образцы, многократно изменять и дополнять конструкторскую документацию по результатам выявленных ошибок; не протоколируется эволюция развития проекта – история построения его геометрии. Поэтому нет возможности быстро изменять конечный результат после каждого цикла проб и ошибок (итераций), осуществляемого разработчиком. Каждый новый вариант решения, будучи по существу новой работой, требует повторения почти всех затрат; описание свойств деталей разбросано по документам весьма произвольно: одни из них – в виде надписей на полях чертежа, другие – в рамке, третьи – в технических требованиях, четвертые – в спецификации, пятые вообще нигде не упоминаются. CAD системы развиваются как средство повышения рентабельности производства за счет повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции (снижения себестоимости, повышения качества, сокращения сроков производства).

На российском рынке получили распространение следующие программные продукты: SolidWorks, Компас 3D, Mechanical Desktop, Pro/Desktop. Самым мощным и наиболее приспособленным для работы с Российскими стандартами из перечисленных продуктов представляется Solid Works. При помощи большого числа подключаемых модулей от различных производителей и при использовании одной интерфейсной оболочки достигается большая функциональность.

Срок освоения систем такого класса составляет около четырех месяцев при условии того, что человек владеет навыками работы с компьютером. Кроме этого, специалист должен владеть навыками построения чертежей, иметь представление о проектировании изделий, технологии изготовления того или иного изделия.

### 1.2.3. Системы верхнего уровня

В системах верхнего уровня обеспечивается инструментарий для параллельного бесчертежного конструкторско-производственного цикла, включающего в себя:

- администрирование, то есть планирование, управление ресурсами, инспектирование, сертифицирование, максимальное распараллеливание работ и документирование проекта;
- моделирование с воспроизводимой историей построения объектов;
- описание механических связей между компонентами изделия и приведение их в состояние механического взаимодействия и соответствующего пространственного взаимопозиционирования примером такой сборки может служить турбинный ракетный насос (рис. 1.4). Данное описание пригодно для непосредственного планирования и разработки сборочных операций;

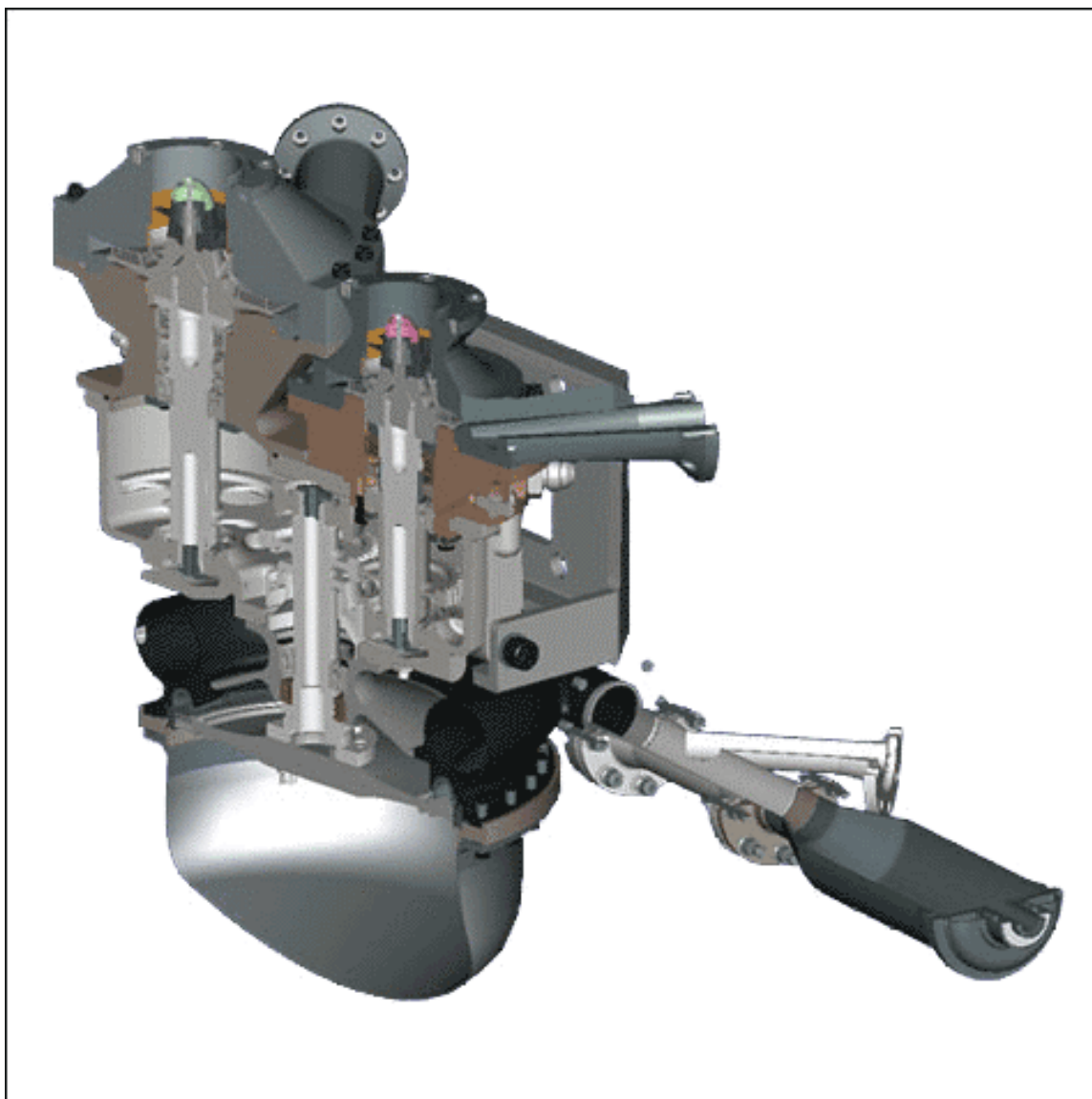


Рис. 1.4. Ракетный турбинный насос (Pro/ENGINEER/ CADDs 5)

- автоматический множественный анализ геометрических конфликтов, позволяющий контролировать зазоры, контакты и взаимопересечения объектов независимо от их количества и сложности;
- полуавтоматический анализ свойств монтажа/демонтажа объектов, дающий возможность документально доказать собираемость изделия;

- расчет трехмерных допусков и посадок и анализ собираемости по их признакам;
- быстрый и точный проверочный расчет методом конечного элемента с оптимизацией геометрии детали по условию равнопрочности;
- анализ соответствия проекта действующим на предприятии законам и правилам, которые могут быть сформулированы по схеме «если... то...»;
- программный инструмент трассировки систем коммуникаций (электрожгутов и трубопроводов) с соблюдением заданных ограничений и логических правил;
- ассоциативность между геометрией детали и ее приложениями – программой для станка с ЧПУ, конечно-элементной расчетной моделью, графическим документом и другими компонентами электронно-цифрового макета;
- возможность стандартизировать на уровне предприятия практически любой успешный результат работы, будь то конструктивный элемент, технология, форма документа, методология. Это дает существенную экономию затрат и машинных ресурсов;
- открытость и доступность для разработки или интеграции ранее созданных собственных приложений.

Системы верхнего уровня включают в себя модули достаточные для перекрытия всего цикла производства. При помощи одной такой системы можно завязать в одно информационное пространство все подразделения предприятия. Российских систем такого уровня на рынке на сегодняшний день не существует. Наиболее известными зарубежными системами являются Pro/Engineer, Unigraphics, CATIA, EUCLID, I-DEAS.

Наилучшим приобретением системы такого уровня могут стать для предприятий, занимающихся выпуском изделий имеющих сложную геометрию, большие сборочные конструкции. Наиболее выгодно они могут применяться в авиастроении, кораблестроении, автомобилестроении. Эти системы получили распространение на таких предприятиях нашей страны, как Туполевское, Ильюшинское КБ, ВАЗ, ГАЗ, УАЗ и др.

Срок освоения систем такого уровня составляет от двух до двенадцати месяцев при условии того, что человек владеет навыками работы с компьютером и с программными продуктами более низкого уровня. Кроме этого, специалист должен владеть навыками построения чертежей, иметь представление о проектировании изделий, технологии изготовления того или иного изделия.

### 1.3. Некоторые термины автоматизированного проектирования

Потребность в этом разделе появилась потому, что с развитием проектирования в системах САПР появилась и своя терминология, без которой было бы сложно пояснить сущность самого автоматизированного проектирования. Поясним некоторые наиболее распространенные термины.

**APT-формат** – межплатформенный стандарт представления управляющих программ в САМ системах.

**Ориентационный план** – плоскость или плоская поверхность, используемая для ориентации модели при эскизировании (создании сечения). Является перпендикулярной эскизному плану, может быть верхним (top), нижним (bottom), правым (right), левым (left) ориентационным планом.

**Параметр** – размер, константа или искусственно введенная в проект переменная, характеризующая отдельные физические признаки объекта. Например, масса, длина, площадь, коэффициент Пуассона, модуль Юнга и т.д.

**Параметрическая зависимость** – алгебраическое или логическое уравнение (или неравенство), устанавливающее связь между отдельными параметрами моделей.

**Препроцессор** – часть САПР, в которой можно подготовить данные для расчета – описать физическую задачу. Например, нарисовать геометрию, приложить нагрузки и заделки, разбить на конечные элементы и затем для вычислений передать в постпроцессор.

**Постпроцессор** – отдельная программа или модуль системы, который служит для обработки данных полученных в препроцессоре. В зависимости от назначения могут производить вычисления (CAE системы), переводить программы для станков с ЧПУ из APТ формата в G-коды станка (САМ системы). Постпроцессоры в САМ системах делятся на инвариантные и простые. Простые могут работать только с тем станком, для которого они разработаны. Инвариантные могут быть настроены для использования с любым устройством числового программного управления.

**Математическая модель** – (в применении к САПР) – цифровой аналог физической модели или системы моделей, представленный в цифровом виде, построенный при использовании математического аппарата ядра системы. Математическая модель в САПР так же, как и классическая, описывает геометрические и физические параметры изделия и имеет допущения и упрощения, которые являются несущественными для описания данной системы. Все параметры в САD/САМ/САЕ реализуются с некоторой точностью.

**Система сквозного проектирования** – система, позволяющая выполнять все стадии проектирования и технологической подготовки инженерного проекта от концепции изделия (дизайна) до станка. Отношения между компонентами проекта в такой системе построены по законам объектно-ориентированного программирования. Это позволяет автоматически переносить изменения в модели-родителе на все зависимые детали (потомки) без выполнения дополнительных работ. Рассмотрим пример. На заводе была спроектирована и изготовлена некоторая деталь. Имеются математическая модель и чертеж на эту деталь. На предприятие поступил заказ на такую же деталь, но изменились некоторые размеры. При классическом проектировании потребовалось бы рисовать чертеж заново. В системе сквозного проектирования достаточно изменить соответствующие размеры в модели и чертеж будет перестроен соответствующим образом, тем самым, сводя время, затраченное на его подготовку до нуля. Рассмотрим еще один пример. Пусть задана деталь «Вал» и сопрягающаяся с ней деталь «Втулка», которые имеют размеры, отвечающие заданным условиям (рис. 1.5). Если мы выполним такой проект в системе не поддерживающей сквозное

параметрическое проектирование, то при изменении размера «А» нам придется перестраивать и первую деталь и вторую. При сквозном проектировании, при задании соответствующих связей, система не только автоматически будет менять размеры втулки при изменении размеров вала, но и не даст поменять размер втулки независимо, что обеспечивает 100% собираемости конструкции. Особенно актуальным становится такой подход при разработке сложных устройств, когда в процессе проектирования размеры отдельных деталей и узлов могут меняться по несколько тысяч раз.

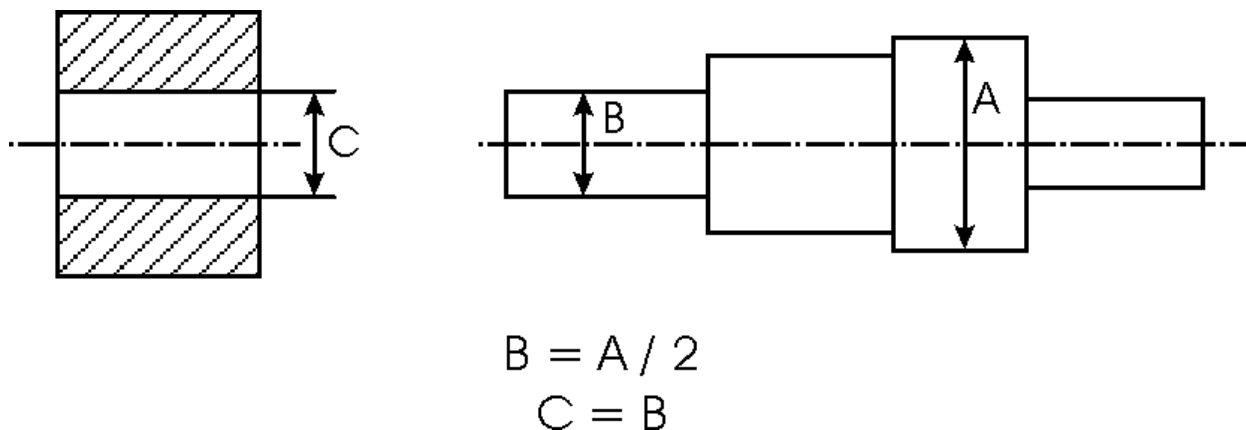


Рис. 1.5. Пример деталей связанных размерами

**Скетч** (*sketch*) – рисованный профиль, используемый при построении модели как основа для создания трехмерной геометрии. Примером могут служить 3D элементы отображенные (рис. 1.6).

Изменение в любом объекте вызовет изменения во всех объектах, находящихся ниже по схеме отношений. На какой бы стадии проектирования не находился объект, внесение изменений в начальную конструкцию не потребует дополнительных затрат на изменение уже созданных переходов. Если уже разработана пресс-форма, то достаточно изменить размер детали и пресс-форма будет соответствующим образом изменена. На сегодняшний день сквозное проектирование является самым прогрессивным видом автоматизированного проектирования и полноценно реализовано только в системах верхнего уровня.

**Фичерс** – основной геометрический объект, из которого складываются модели детали. Несет в себе данные: привязки, рисованное сечение, размеры и т.д., которые необходимы для его построения и ориентации в пространстве.

**Эскизный план** – плоскость или плоская поверхность, определяемая для изображения на ней геометрии сечения объекта (фичерса). Данная плоскость будет началом выдавливания (вращения) объекта.



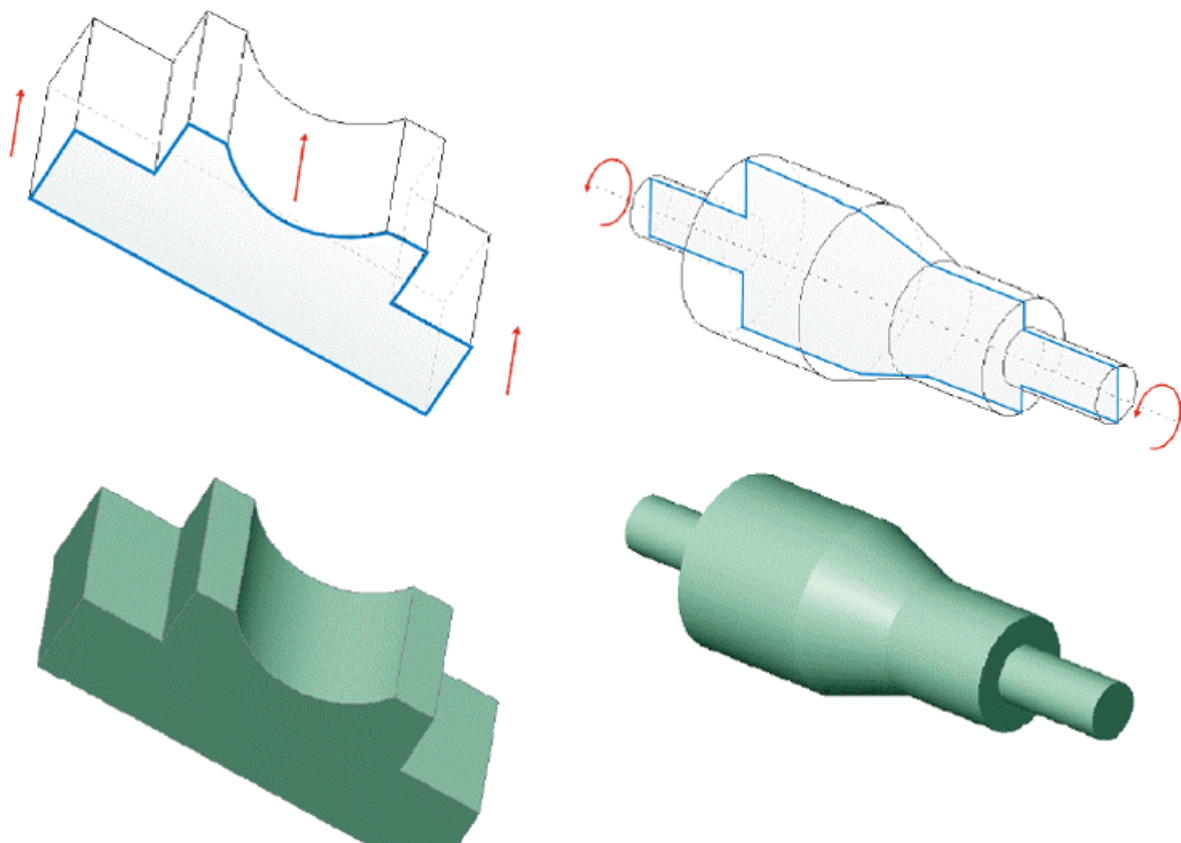


Рис. 1.6. Пример построения математической модели в САПР

**Ядро системы** – математический аппарат, являющийся основой программного кода системы автоматизированного проектирования, служащий инструментом для описания свойств математических моделей в системе.

#### 1.4. Параметры выбора CAD/CAM системы для предприятия

Выбор CAD/CAM системы для автоматизации подготовки производства является нетривиальной задачей. Сложно давать однозначные рекомендации. Как показывает практика система пошедшая «на ура» на одном предприятии оказывается убыточной и непригодной на другом заводе этой же отрасли. В данной главе мы рассмотрим наиболее важные параметры, которые следует учитывать при выборе системы САПР для предприятия.

Когда возникает вопрос о выборе системы САПР, для конкретного предприятия, следует, прежде всего, определить существующие проблемы, которые предполагается при помощи этой системы решить, и задачи которые на нее предполагается возложить. Выбор системы автоматизированной подготовки производства следует производить, прежде всего, исходя из требований к системе по функциональности. Часть перечисленных требований взята из работ [2,3].

**Во-первых,** необходимо определить количество деталей и узлов, входящих в проектируемые объекты. Если их число превышает 2... 2,5 тысячи, то следует остановить свой выбор на системах верхнего уровня, так как только эти системы позволяют эффективно оперировать с таким числом элементов.

**Во-вторых,** следует определить, имеются ли детали, использующие такие технологические методы как: листовой раскрой, штамповка, прокладка электрических кабелей, сварка, прокладка трубопроводов, литье металлов или пластмасс, композитные материалы.

**В-третьих,** при компьютерном проектировании широко используются следующие методы геометрического анализа: расчет пространственных размерных схем, оптимизация объектов, поведенческое моделирование. В основном такими возможностями обладают системы верхнего уровня. Некоторые системы среднего уровня имеют модули партнеров-производителей выполняющих те же функции, но при такой схеме нарушается принцип сквозного проектирования.

**В-четвертых,** отдельно следует рассматривать взаимодействие выбранной системы с прочими системами CAD/CAM системами. Отдельно следует учитывать взаимодействие с такими ведущими системами как: CATIA, Uni-graphics, Pro/ENGINEER. Важным это является потому, что когда над одним проектом работает несколько предприятий важно передать геометрические данные между системами без потерь. Также на практике возникает потребность передать модель из CAD системы в CAM, CAE систему от другого производителя. Как правило, системы, выполненные на одном ядре, не имеют проблем с передачей данных. Широкое распространение имеет ядро Parasolid. Наиболее универсальными межплатформенными форматами являются IGES, STEP.

**В-пятых,** следует оценивать возможность работы с деталями, имеющими сложную геометрию, производить оценку качества получаемых поверхностей. Широкое применение такие поверхности получили в авиастроении, автомобилестроении, энергетическом и химическом машиностроении. Без применения таких поверхностей невозможно реализовать многие дизайнерские идеи при производстве товаров народного потребления. Системы среднего уровня лишены инструментария для работы с поверхностями такого класса.

**В-шестых,** следует рассмотреть экономическую эффективность от внедрения выбранной системы. Предлагается оценивать ее по следующей формуле:

$$E_i = E_t + E_n + E_k + E_3 + E_u, \quad (1.1)$$

где  $E_t$  – выгода от сокращения срока на внедрение продукта;

$E_n$  – выгода, получаемая от выпуска новых изделий, которые не были ранее доступны из-за технической сложности (сложные детали штампов и пресс-форм);

$E_k$  – выгода от повышения качества изделий и отсутствия доработок изделий;

$E_3$  – разность между заработной платой старого и нового штата работников;

$E_u$  – полученная или планируемая выгода, которая не вошла в перечисленные выше пункты.

Срок окупаемости можно оценить по следующему выражению:

$$P + Pc + \sum_{i=2}^n P_i - \sum_{i=1}^n E_i \leq 0 \quad (1.2)$$

где  $P$  – стоимость лицензии на программный продукт на год;

$Pc$  – стоимость аппаратного обеспечения;

$P_i$  – стоимость продления лицензии на год;

$E_i$  – годовая эффективность от внедрения системы.

Воспользовавшись представленными выше формулами можно оценить: срок окупаемости капиталовложений в САПР, величину капиталовложений, рассмотреть целесообразность приобретения САПР.

**В-седьмых**, многие аналитики рынка САПР предлагают оценивать финансовое состояние производителя CAD/CAM системы и оценивать перспективы стратегического партнерства. Проследив динамику финансового состояния фирмы, количества уже проданных лицензий, областей машиностроения в которых количество лицензий преобладает, можно сделать вывод о надежности и перспективах приобретения данной САПР.

Отдельно должны быть выделены проблемы, относящиеся к внедрению системы. Следует учитывать требования программного продукта к производительности персонального компьютера. Исходя из требования самой системы и предполагаемых для решения задач, следует приобретать аппаратное обеспечение для отдела САПР. Кроме того, следует уделить внимание обучению и поиску специалистов. Немногие вузы страны дают систематические знания в области САПР и навыки по работе с автоматизированными системами высокого и среднего уровней. Следует заранее продумать о подготовке соответствующих специалистов и их обучению, поскольку большая часть несостоявшихся внедрений CAD/CAM систем связана с человеческим фактором.

Подводя итог, отметим основные проблемы, возникающие при внедрении CAD/CAM/CAE систем на производстве:

- отсутствие специалистов для работы с САПР;
- отсутствие мест постоянной подготовки специалистов по САПР;
- сложность выбора наиболее эффективной для предприятия системы;
- высокая стоимость этих систем;
- большие затраты на приобретение компьютерной техники;
- несоответствие технологического оборудования задачам сквозного проектирования. Например, станки с устаревшим ЧПУ или не имеющие его.

## 2. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ САПР

Прежде чем рассматривать отдельные пакеты автоматизированного проектирования рассмотрим основы функционирования этих систем. Основными характеристиками современных САПР верхнего уровня являются:

– **объектно-ориентированное параметрическое моделирование.** В качестве исходных строительных элементов выступают геометрические примитивы. Кроме данных о геометрии, они содержат всю информацию о топологии построения, включая историю создания, связи исходных и зависимых объектов, и могут быть изменены “предсказуемо”. Это позволяет вносить изменения в конструкцию не прибегая к перестроению объектов. Для каждого из модулей (проектирование оснастки, управляющих программ) используются свои наборы элементов;

– **единая информационная модель изделия.** Данные содержатся в единой базе, что дает возможность нескольким группам проектировщиков одновременно работать над одним и тем же изделием. Отсутствие процесса трансляции данных между различными модулями гарантирует полное соответствие геометрии исходному замыслу;

– **параметризация.** Все данные CAD/CAM/CAE систем (не только геометрические) являются параметрами, доступными в любой момент для изменения величинами. Модифицируя эти параметры, можно легко генерировать различные варианты изделия;

– **ассоциативность.** Изменения, внесенные в любой момент проектирования, автоматически распространяются на все реализованные этапы. С изменением модели автоматически меняются сборка, чертеж, оснастка, управляющая программа. Ассоциативность в системах двусторонняя. Это означает, что изменения в модели переносятся на чертеж, а изменения размера на чертеже отразятся на размере модели;

– **повторное использование инженерных данных.** Использование типовых для данного предприятия узлов, деталей, процессов. Таким образом, с каждым поколением изделий идет накопление типовых решений;

– **параллельная работа над проектом.** Модули управления проектами позволяют интегрировать изменения, проводимые различными инженерными группами в данном проекте. Причем рабочие группы могут быть расположены в различных частях земного шара;

– **сквозной цикл “проектирование-производство”.** Сквозной цикл изготовления изделия (рис. 2.1) включает: конструирование, технологическое проектирование, инженерный анализ, управляющие программы. Это обеспечивает целостность геометрии при переходе к каждому последующему этапу. Системы автоматизированного проектирования высокого уровня значительно сокращают цикл “проектирование-производство” за счет сквозного параллельного проектирования. Повышается также качество продукта.

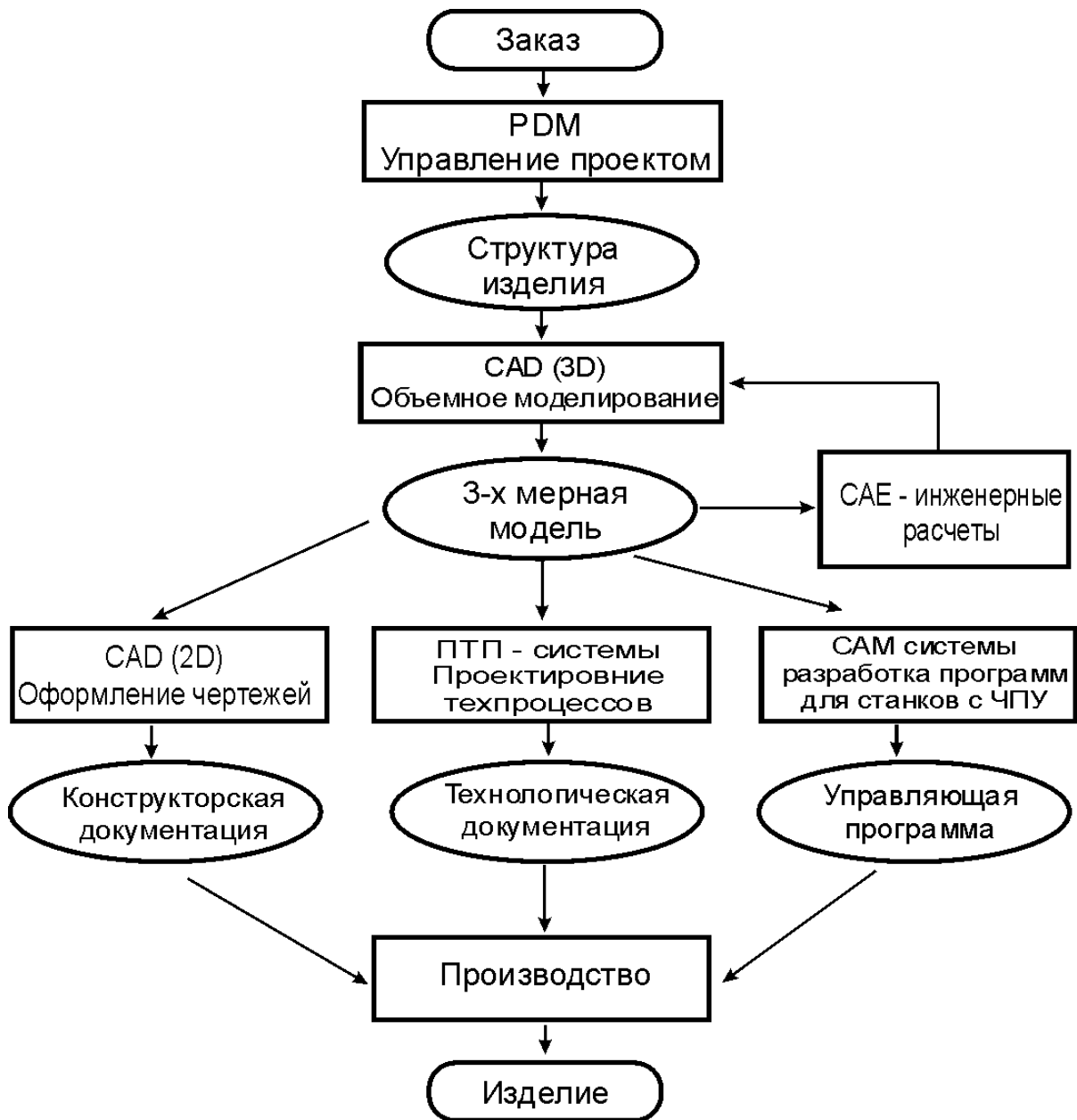


Рис. 2.1. Схема сквозного проектирования

Подводя итог, отметим основные функции систем автоматизированного проектирования: сквозное автоматизированное проектирование; двунаправленная ассоциативность; твердотельное и поверхностное моделирование в комбинации; объектно-ориентированный подход; параметричность; поведенческое моделирование; система управления данными, базирующаяся на технологиях Internet и WEB; управление проектами; управление ресурсами; управление данными и документооборотом; направленность на безбумажность; конвертируемость в большинство форматов; стыковка с другими продуктами; 3D моделиеры; создание библиотек; точность передачи геометрии; реинжиниринг; применение в цеховых условиях; визуализация; имитация; поддержка ГОСТов; оптимизация.

В системах автоматизированного проектирования реализованы следующие САД функций: поверхности, вытяжки, вращение линий, вращение дуг, примитивы, перемещение по направлениям, набор пересекающих кривых, пересечение поверхностей, скругление, фаски, редактирование поверхностей (параметрических кривых); детали, сборки, имитация кинематики, динамический анализ, расчет массово-инерционных характеристик, расчет жесткости, прочности, напряжений, деформаций, тепловые расчеты; обратное проектирование (оцифровка макетов, изделий); восстановление по растровой или векторной подложке – 3-мерного рельефа; контроль сложных поверхностей на координатно-измерительных машинах (КИМ) и сравнение с 3D САД моделью; фото-реалистические изображения; быстрое прототипирование по компьютерной модели методом ЛОМ машин для проверки конструкции, создания мастер-моделей и стержневых ящиков для формирования небольших партий изделий при литье: типовые элементы, трансляторы: IGES, VDA, STEP, DXF, VRML, INVENTOR, ECAD, CADDSS, CATIA, AutoCAD; стандартные библиотеки; реверсивный инжиниринг; починка разрывов; ведение дерева проектов; цикл имитации сборки; навигация в базе данных.

Обеспечивается проектирование оснастки: электроды для электроэрозионной и электрохимической обработки; штампы; пресс-формы; литейные формы; модели для гальванопластики; пуансоны для чеканки, значков, медалей (за 1–2 дня); формирование литейных уклонов, разъемов; моделирование и анализ заливки, пролива, воздушных ловушек, течения, охлаждения и затвердевания при литье; разработка и размещение литниковой системы, оптимизация ее формы; экспертное моделирование изделий из пластмасс, подбор материала формы и системы впрыска; использование измерительных рук; моделирование микро-структуры и пористости металла отливки; применение лазерных сканеров поверхности.

Проектирование управляющих программ для станков с ЧПУ: механическая обработка рельефов; визуализация обработки; обработка без зарезов (100%), даже при наличии разрывов в модели; возможность использования для программирования в цеховых условиях; импортное моделирование; черновая и чистовая обработка; выбор оборудования и инструмента (из базы данных); обработка отвесных поверхностей; выбор числа проходов; оптимизация обработки; нормирование; инвариантность к аппаратному обеспечению; конечно-элементный анализ; управление документооборотом; отслеживание жизненного цикла сборок, деталей, чертежей; обзор и контроль проектирования; ведение дерева проектов; анализ технологичности; интуитивный интерфейс.

### 3. ПРИМЕРЫ CAD/CAM/CAE ПАКЕТОВ И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

В данном разделе описаны наиболее распространенные на территории России системы САПР. В разделе дана краткая характеристика систем, описание возможностей данного САПР.

#### 3.1. CAD системы

Отметим, что в этом разделе находятся не только так называемые «чистые» CAD пакеты, но и комбинированные (CAD/CAM/CAE). Как уже отмечалось, основным направлением развития САПР является интеграция, поэтому встретить пакет который позволяет только проектировать или только разрабатывать программы для станков с ЧПУ практически невозможно. Системы, которые преимущественно используют для разработки для станков с ЧПУ находятся в разделе CAM систем.

**EUCLID** – САПР высокого уровня, охватывающая все этапы проектирования, разработана фирмой MATRA DATAVISION, с оборотом более 10 миллиардов долларов США. Фирма занимается разработкой, продажей и сопровождением программного обеспечения CAD/CAM/CAE/PDM и программной среды для создания приложений. Основные продукты фирмы имеют торговые марки: EUCLID, STRIM, PRELUDE, CAS.CADE. Они предназначены для таких областей, как авиация, космос, автомобилестроение, оборона, электромеханика, промышленный дизайн, атомное машиностроение, инжиниринг, производство товаров широкого потребления и др. Разработчик - MATRA DATAVISION, Франция. Примером может служить салон автомобиля Renault (рис. 3.1).

**CATIA/CADAM Solutions** – это полностью интегрированная универсальная CAD/CAM/CAE система высокого уровня, позволяющая обеспечить параллельное проведение конструкторско-производственного цикла CATIA, являясь универсальной системой автоматизированного проектирования, испытания и изготовления, широко применяется на крупных машиностроительных предприятиях во всем мире для автоматизированного проектирования, подготовки производства, реинжиниринга. Отличительные характеристики: администрирование - планирование, управление ресурсами, инспектирование и документирование проекта; самая совершенная система моделирования; описание всех механических связей между компонентами объекта и приведение их в состояние пространственного взаимопозиционирования; автоматический анализ геометрических и логических конфликтов; анализ свойств сложных сборок; разработанный инструментарий трассировок систем коммуникаций с соблюдением заданных ограничений; специализированные приложения для технологической подготовки производства. Компании DASSAULT SYSTEMES (Франция) и IBM (США) являются совместными разработчиками и распространителями системы.

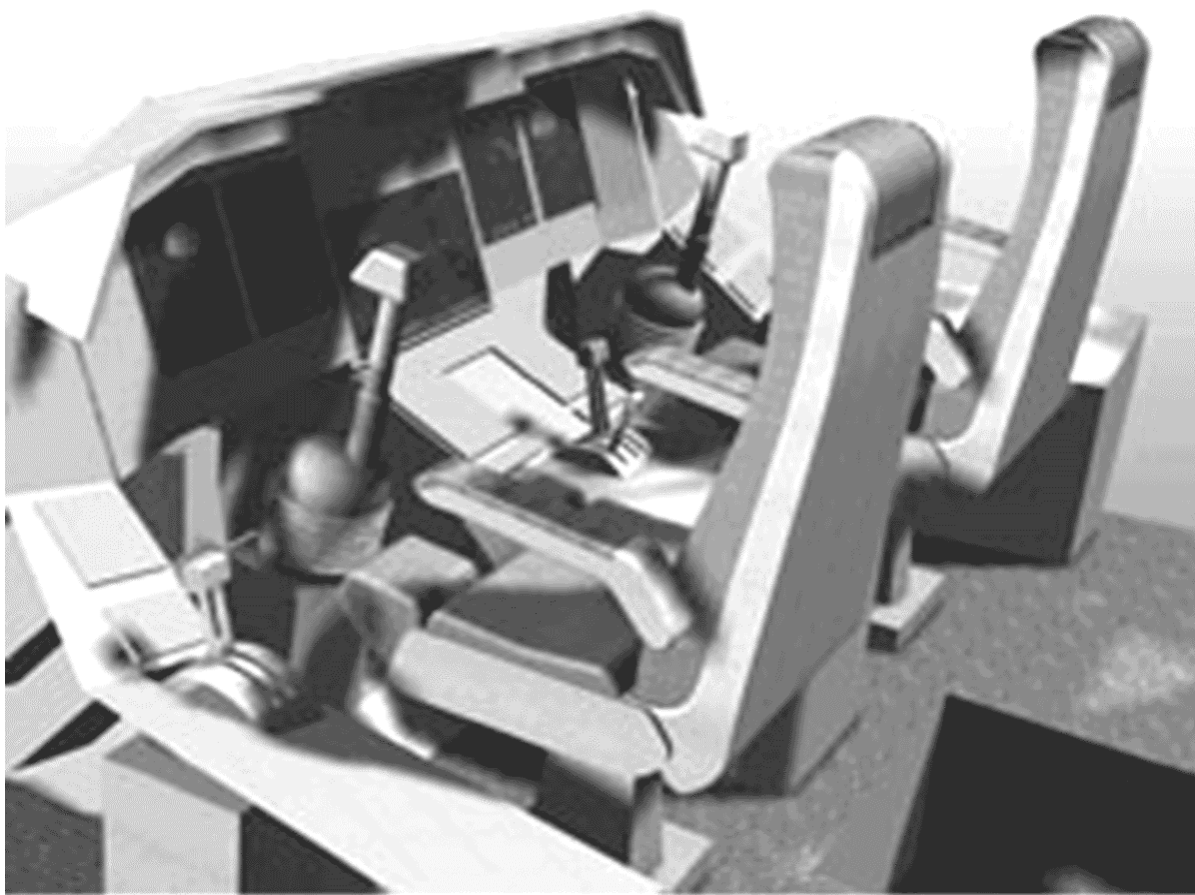


Рис. 3.1. Салон автомобиля, разработанный в системе Euclid

**Pro/ENGINEER** – система высокого уровня, САПР для единого цикла проектирование-производство. Программный комплекс Pro/ENGINEER охватывает весь цикл "конструирование–производство" в машиностроении. Ядро Pro/ENGINEER использует уникальную по своим возможностям технологию – Proven Technology, основанную на граничных представлениях. Многоплатформенная система: Unix, Solaris, Windows. Разработчик - Parametric Technology Corporation США. Возможности системы, с описанием основных модулей рассматриваются в отдельной главе.

**Unigraphics** – CAD/CAM/CAE система высокого уровня. Unigraphics позволяет осуществлять полностью виртуальное проектирование изделий, механическая обработка деталей сложных форм, имеет полностью ассоциативную базу данных мастер-модели, Unigraphics Solutions, одна из самых быстроразвивающихся компаний, производящих системы автоматизированного проектирования, производства и управления проектами, занимается разработкой, продажей и технической поддержкой программного обеспечения для автоматизации проектирования, производства, инженерного анализа и управления проектами для



всех областей промышленности, включая автомобилестроение, авиационную и космическую промышленность, станкостроение, производство товаров народного потребления и т.п. Разработчик – Unigraphics Solutions, Inc., США.

**SolidWorks** – мощный машиностроительный CAD пакет для твердотельного параметрического моделирования сложных деталей и сборок. Система конструирования среднего класса, базирующаяся на параметрическом геометрическом ядре Parasolid. Создана специально для использования на персональных компьютерах под управлением операционных систем Windows. Разработчик – SolidWorks Corporation, США. Пример модели, разработанной в системе SolidWorks приведен на (рис. 3.2).

**CADkey** – 3D графический пакет для проектирования, твердотельного, поверхностного и каркасного моделирования, визуализации и документирования простых и сложных деталей и сборочных единиц.

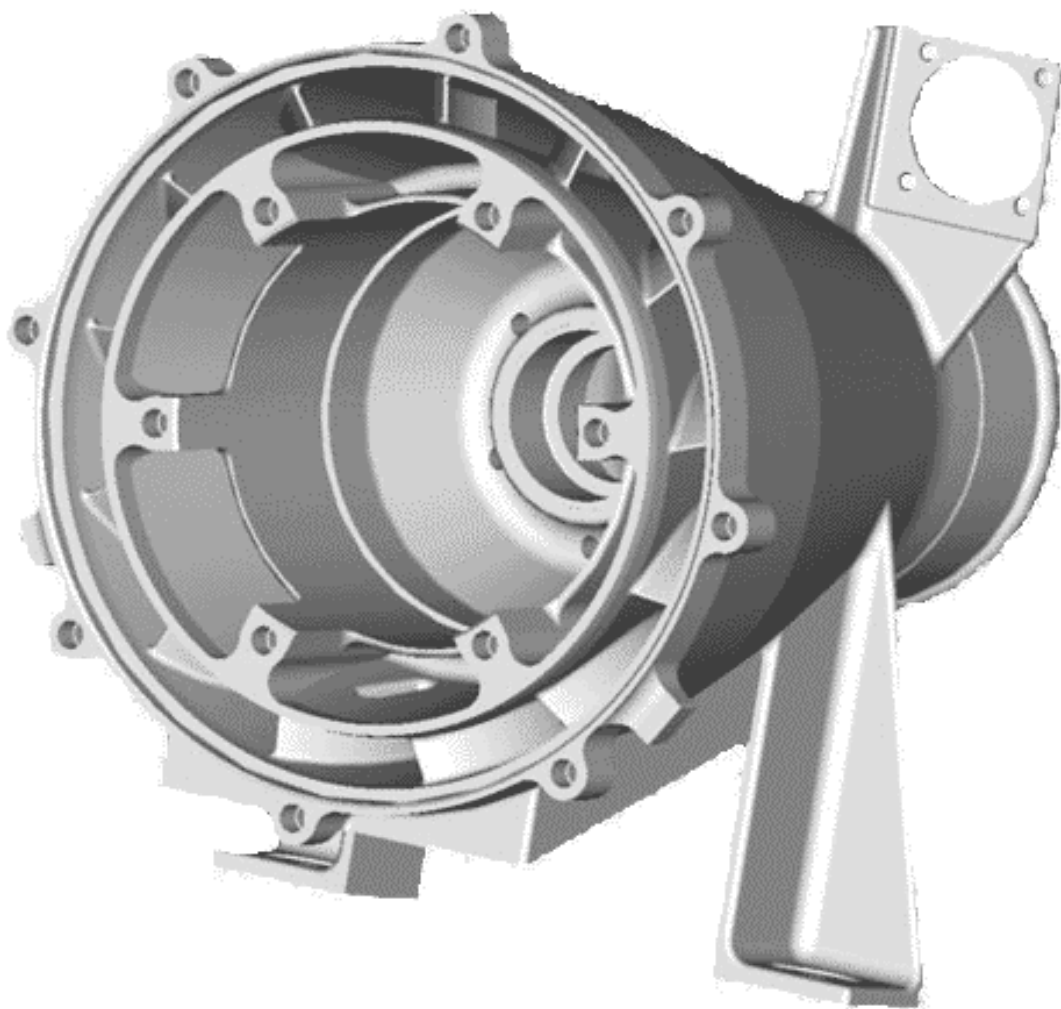


Рис. 3.2. Корпус вентилятора (Solid Works)

**CADdy** – предназначена для решения комплексных интегрированных технологий от стадии проектирования до стадии производства в таких областях, как: архитектура; проектирование промышленных установок; машиностроение; электроника; оборудование зданий (отопление, вентиляция, сантехника, электротехника); инженерные сети и дороги; геодезия, картография.

**SolidEdge** – является принципиально новой системой автоматизированного конструирования, которая предназначена для разработки сборочных узлов и геометрического моделирования отдельных деталей. Solid Edge разработан специально для конструирования изделий машиностроения. Является системой среднего уровня, которая обеспечивает эффективное объектно-ориентированное параметрическое моделирование в среде Windows. Базируется на ядре геометрического моделирования Parasolid. Разработчик – Unigraphics Solutions, США.

**T-FLEX CAD** – система обладает следующими возможностями: параметрическое проектирование и моделирование; проектирование сборок и выполнение сборочных чертежей; полный набор функций создания и редактирования чертежей; пространственное моделирование, базирующееся на технологии ACIS; параметрическое трёхмерное твёрдотельное моделирование; управление чертежами; подготовка данных для систем с ЧПУ; имитация движения конструкции. Разработка российской фирмы "Топ Системы".

**THNK3** – система автоматизированного проектирования для машиностроения среднего уровня. Обеспечивает двумерное проектирование, трёхмерное поверхностное и твёрдотельное моделирование, проектирование изделий из листовых материалов, ассоциативность двумерного чертежа с трёхмерной моделью, фотореалистичное представление проекта. Разработчик – thnk3, Inc., США.

**CADMAX SolidMaster** – система автоматизированного проектирования, обеспечивающая двумерное проектирование, трёхмерное поверхностное и твёрдотельное моделирование. Разработчик – CADMAX Corp., США.

### 3.2. САМ системы

**Cimatron** – интегрированная CAD/CAM система, предоставляющая полный набор средств для конструирования изделий, разработки чертёжно-конструкторской документации, инженерного анализа, создания управляющих программ для станков с ЧПУ. Cimatron удовлетворяет запросам и требованиям самого широкого круга пользователей, работает на различных платформах, в том числе на персональных компьютерах. Пользователями системы в мире являются около 6000 компаний. Разработчик – Cimatron Ltd., Израиль.

**MasterCAM** – CAD/CAM система, занимающая лидирующее положение в мире по количеству продаж и инсталляций пакета среди CAD/CAM систем. Обеспечивает каркасное и поверхностное моделирование деталей, визуализа-

цию и документирование простых и сложных деталей и сборочных единиц, разработку управляющих программ для токарной, фрезерной, электроэрозионной обработки на станках с ЧПУ. Разработчик – CNC Software, США.

**ГеММа 3Д** – отечественная система, позволяет осуществлять программирование 2-х, 3-х, 4-х и 5-и координатных фрезерных операций, 2-х, 3-х, 4-х координатных электроэрозионных и сверлильных операций. Возможно планирование выбора закрытых и полузакрытых областей (колодцы, карманы) последовательностью фрез различных размеров и геометрии. Функции системы: широкий набор траектории обработки, разметка, выборка каналов на поверхностях, торцовка ребер, обработка усеченных сопряжений типа “кривая-поверхность” (кромки смыкания для форм, бобышки, бонки и др.).

Отдельным звеном в цепи САМ систем стоят системы, служащие для проверки управляющих программ. Такие системы бывают как бесплатными, так и коммерческими, имеющими широкий спектр возможностей.

**VERICUT** является мировым лидером среди средств проверки управляющих программ (УП) для оборудования с ЧПУ. VERICUT в интерактивном режиме моделирует фрезерование, сверление, точение, электроэрозионную обработку и комбинированные операции фрезерования/точения. Ошибки в траектории инструмента, которые могут привести к браку детали, повредить приспособление или сломать режущий инструмент, могут быть легко идентифицированы и исправлены до реального пробного пуска. Это дает Вам возможность фактически устранить процесс ручной проверки УП в производственных условиях.

**NCManager** – российская разработка, интерпретирует вводимый файл в формате АРТ в соответствии с установленной в данный момент моделью стойки ЧПУ. Эта модель загружается из файла описания стойки. Прочитанные траектории отображаются в графическом окне как трехмерные кривые. Управление видами позволяет произвольно менять точку зрения, выбирать масштаб, устанавливать стандартные виды и т. д. Цветом и типом линии выделяются рабочие и холостые перемещения, циклы и подпрограммы. Возможны режимы отображения с учетом и/или без учета коррекции. Динамические привязки позволяют точно измерить координаты любой точки на траектории и расстояния между точками.

### 3.3. Системы автоматизированного анализа (расчета) – САЕ

В отличие от CAD/CAM систем, САЕ системы, как правило, не имеют мощных геометрических моделеров, а представляют собой только средства для разбиения на конечные элементы (КЭ) и расчетно-аналитическую часть. Большинство систем имеют модули для проведения многокритериальной оптимизации.

Как уже говорилось в данной работе, встроенные САЕ модули имеют Pro/E, Unigraphics, Catia, I-DEAS, позволяющие в знакомой CAD-среде провести статический, динамический и кинематический анализ и оптимизировать изде-

лие (MECHANISM/Pro (Pro/E); UG Mechanisms, CAT/ADAMS (Catia), I-DEAS Mechanisms), Dynamic Designer. По этой причине здесь описаны только специализированные CAE системы.

**ADAMS** – обеспечивает полное компьютерное моделирование сложных механических систем, включая полный статический, динамический, кинематический анализ механизмов, в том числе в масштабе реального времени. Пакеты имитации и моделирования ADAMS/Android, ADAMS/Driver, ADAMS/Tire и ADAMS/Vehicle используются для изучения взаимодействия антропологической модели человека с любыми механическими системами, реакции водителя, взаимодействия покрышек с дорожным покрытием.

**ABAQUS** – семейство конечно-элементных программ для многоцелевого инженерного анализа, является универсальным, мощным, надежным программным продуктом для решения в рамках одной конечно-элементной модели самых сложных и ответственных задач: прочность, теплопередача, теплообмен и излучение, диффузионный массоперенос, акустика, контактный анализ, пьезоэлектрика, комбинация всех типов анализа. ABAQUS – приобрел всемирную известность как лучший инструмент для решения задач с преобладанием всех типов нелинейного поведения. Модели материалов позволяют описывать металлы, чугун, резину, пластмассы, композитные материалы, упругие и хрупкие пены, бетон, песок, глину и т.д.

**ANSYS** – универсальный, многофункциональный конечно-элементный пакет. Позволяет проводить статический и динамический анализ конструкций с учетом геометрической (в том числе, 2D и 3D контактные задачи абсолютно жестко-деформируемого тела) и физической нелинейности, анализа усталостных характеристик, решение задач линейной и нелинейной устойчивости. Позволяет выполнять электромагнитные, гидроаэродинамические, акустические расчеты. Существует возможность многокритериальной оптимизации. Система ANSYS получила на западе [4] и у нас в стране [5] большое распространение и при проектировании режущего инструмента. Примером может служить (рис. 3.4) анализ напряжений в теле концевой цилиндрической фрезы.

**DESIGN SPACE** – позволяет в процессе проектирования предсказать поведение изделия и провести оценку прочности, тепловой анализ. Не требует глубокого знания МКЭ. С ANSYS объединяется при помощи совместных шаблонов.

**LS-DYNA** – многоцелевой конечно-элементный комплекс предназначен для анализа высоконелинейных и быстротекущих процессов в задачах механики твердого и жидкого тела, таких как: процессы обработки металлов давлением (прокат, экструзия, штамповка, резка, сверхпластическое формование и т.п.), ударно-контактные взаимодействия с разрушением (аварии транспортных средств с оценкой безопасности пассажира – удар автомобиля о преграду, взаимодействие пассажира с ремнем безопасности и воздушной подушкой, и т.д.), сейсмические воздействия, взрывные воздействия на конструкцию, взаимодействия жидкости с элементами конструкции, падение, пробивание.

**COSMOS** – программный комплекс предназначен для анализа конструк-

ций по методу конечных элементов. Кроме традиционных типов анализа – линейный и нелинейный статический расчет, устойчивость, определение собственных частот и форм колебаний, частотный отклик и переходные процессы, тепловые задачи – COSMOS/M служит и для исследования процессов усталости, ползучести, оптимизации конструкций, а также для моделирования электромагнитных полей.



Рис. 3.4. Расчет напряжений возникающих в теле концевой фрезы при резании (ANSYS)

**NASTRAN** – программный комплекс, разработанный Noran Engineering Inc, предназначен для прочностного, динамического и теплового анализа конструкций по методу конечных элементов. NE/Nastran является одним из самых быстрых решателей для персональных компьютеров.

**STAR-CD** – пакет предназначен для решения задач механики жидкостей и газов. Течения в сложных геометрических границах со свободными поверхностями, нестационарные процессы, фазовые переходы, многокомпонентные течения, кавитационные процессы, химические реакции и физика горения и др.

**FASTFORM, DYNAFORM** – специализированные программы для моделирования процессов глубокой листовой штамповки-вытяжки, а также проката листового, профильного, гидроформования.

**MOLD FLOW** – анализ литья пластмасс, выдержки под давлением и выдержки на охлаждение, течения, охлаждения, деформаций и напряжений, подбор материала, оптимизация формы и системы впрыска, поиск оптимального технологического режима усадки и исполнительных размеров формообразующих деталей (ФОД), анализ ориентации волокна.

**PLASTIC ADVISER** – система для проведения предварительного анализа литья пластмасс и определения режимов литья.

**SIMTEC, MAGMA** – анализ литья металлов моделирование процесса заливки и затвердения металла, микроструктура, пористость.

#### 4. СОСТАВ И ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОГО УРОВНЯ НА ПРИМЕРЕ PRO/ENGINEER

Pro/ENGINEER включает в себя следующие основные модули, которыми может комплектоваться архитектура продукта в соответствии с прикладными задачами потребителя.

Pro/ENGINEER (ядро программного продукта) позволяет создавать трехмерные параметризованные элементно-ориентированные твердотельные модели и их сборки. Генерируется и просматривается трехмерная цветная модель, распечатывается на плоттере или PostScript-принтере. Выполняется анализ модели методом конечных элементов, обработка данных механообработки с помощью постпроцессора. Расширить возможности пакета можно написанием программ на языке Си или добавив какие-либо из нижеследующих модулей.

Pro/ASSEMBLY – система управления параметрической сборкой, с помощью которой осуществляется компоновка изделия и автоматическая замена одних компонентов другими в процессе сборки. Создание большихборок  
Пример сборки исполненной в Pro/ENGINEER (рис. 4.1) вертикальная центробежная помпа для нужд аэрокосмической промышленности.

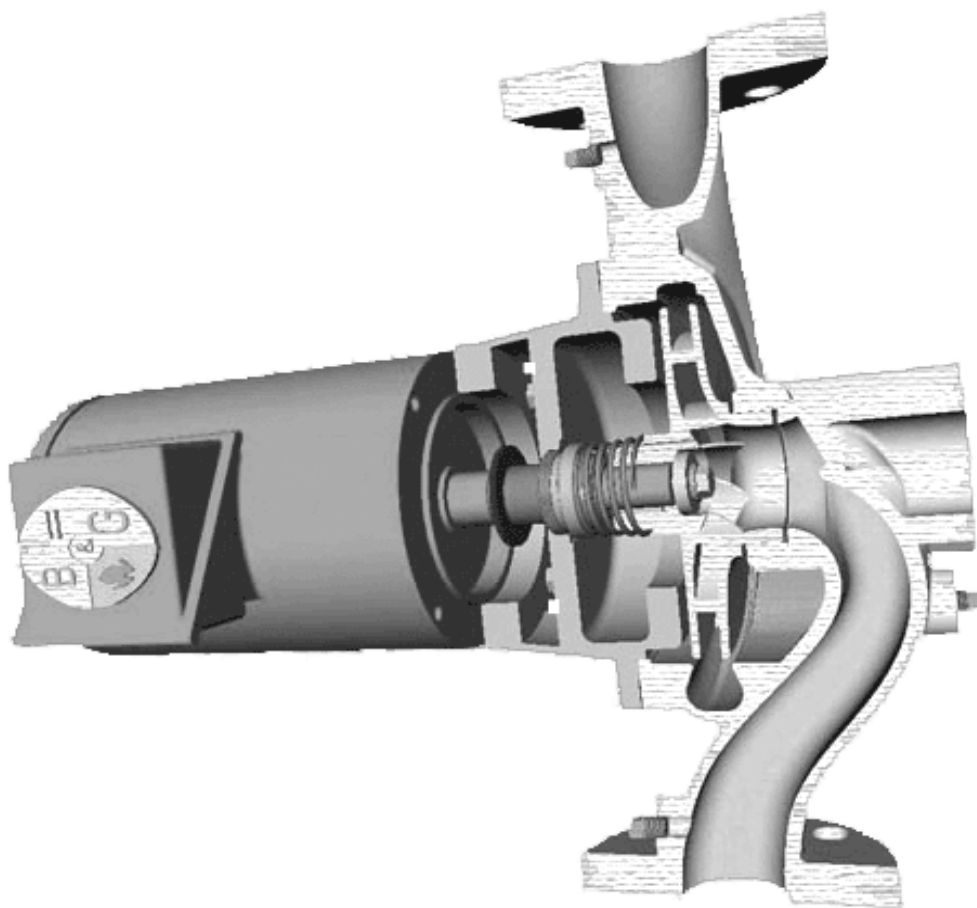


Рис. 4.1. Вертикальная центробежная помпа (Pro/ENGINEER)

Pro/CABLING – предлагает возможности для разводки проводов в трехмерной модели с учетом их функциональной направленности, а также служит для создания жгутов при сборке. Трехмерная трассировка выполняется одновременно с конструированием и сборкой электронных и механических элементов, что позволяет конструкторам оптимизировать свои разработки, удовлетворяя одновременно требованиям и механики, и электрики при пространственной компоновке соединений.

Pro/COMPOSITE – модуль автоматизированного проектирования и изготовления изделий из композитных материалов.

Pro/DESIGN – ускоряет процесс нисходящего проектирования, обычно применяемого при разработке сложных конструкций. Предусмотрены: режим компоновки для концептуального проектирования, режим концептуального анализа, моделирования и автоматической сборки, а также режим компоновки деталей.

Pro/DETAIL – поддерживает полностью ассоциированный конструкторский стандарт ANSI, ISO, DIN или JIS прямо в трехмерной модели. Значительно расширяет возможности Pro/ENGINEER в области отслеживания соответствия размеров деталей из разных чертежей, возможных допусков и создание проекций.

Pro/DEVELOP – предлагает набор инструментов, которые обеспечивают интеграцию Pro/ENGINEER с другими программными продуктами, что позволяет расширить его возможности в соответствии с требованиями пользователей.

Pro/DRAFT – поддерживает создание ортогональных плоских (2D) проекций проектируемого образца, если нет требований к трехмерной графике; предоставляет возможность импортировать измененные чертежи, графические файлы, созданные в других CAD-системах посредством файлов в форматах IGES, DXF и SET.

Pro/DIAGRAM – предлагает инструментальные средства создания и документирования схем, служащих для прокладки газопроводов, вентиляции, управления технологическими процессами и управление проектом.

Pro/ECAD – предусматривает обмен графическими файлами между Pro/ENGINEER и CAD системами электротехники. Информация включает иерархию элементов блок-схемы на плате, указание на запрещенные зоны, ограничения на вход и на высоту, на форму микросхем и их расположение, связывает воедино разработки конструкторов в области механики и электрической части, дает им возможность осуществлять разработку проекта одновременно.

Pro/FEATURE – дает возможность создавать сложные конструкторские объекты: оболочки, трехмерные объекты, детали, создаваемые сочетанием непараллельных пересекающихся сечений, тонкостенных структур, групп деталей и др.; позволяет копировать их и получать зеркальное отображение.

Pro/HARNES-MFG – позволяет получать информацию об изготовлении деталей с плоскостным расположением проводов, с выносом из на вертикали при создании жгутов.

Pro/INTERFACE – предусматривает обмен данными в промышленном стандарте между Pro/ENGINEER и другими CAD системами. Транслятор поддерживает устройство вывода/ввода (форматы IJES, SET, VDA, DXF) чертежей и трехмерных моделей. Воспроизводит и визуализирует файлы SLA, Nentral, Patran, Supertab.

Pro/LIBRARY – предусматривает доступ к библиотекам моделей и стандартных функций, инструментам, фиксирующим приспособлениям, разъемам для печатных плат, базовым деталям пресс-форм, электромонтажным элементам, трубопроводным и нагревательным устройствам, что и повышает производительность работы конструкторов. Все эти элементы и технологические решения располагаются в сети «Интернет». Доступ к библиотеке при наличии лицензии осуществляется бесплатно.

Pro/MANUFACTURING – подбирает необходимый инструмент для процесса изготовления, обладает программными средствами для проведения оценок “время-цена”, исходя из параметров изготавливаемой модели, созданной пользователем; обеспечивает программирование обработки на сверлильных, токарных и фрезерных станках, в том числе на пятиосевых станках, учитывая автоматические изменения в конструкции. Система имеет возможность визуализации обработки на станке (рис. 4.2).



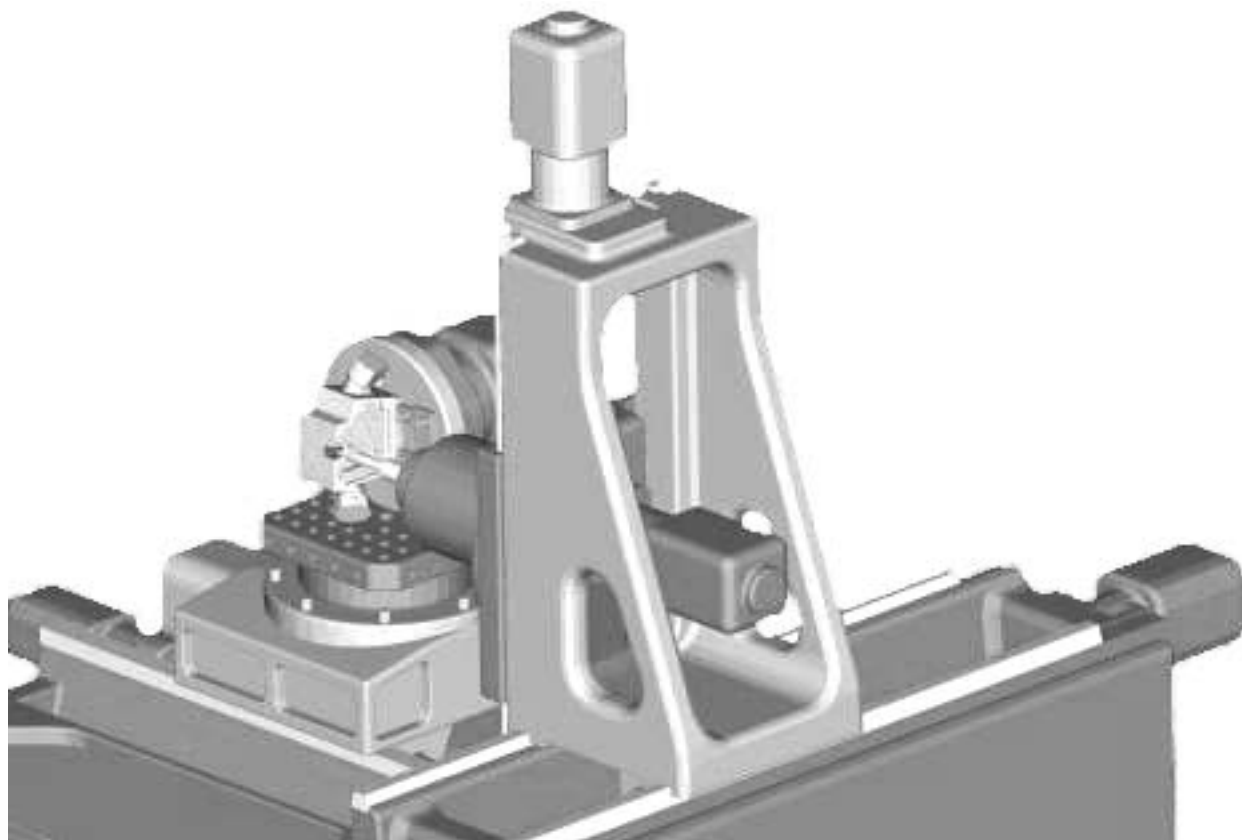


Рис. 4.2. Визуализация обработки на станке с ЧПУ(Pro/ENGINEER)

Pro/MESH – автоматически производит сетчатое разбиение трехмерных моделей для проведения анализа методом конечных элементов; обеспечивает сетчатое разбиение с очень маленьким шагом и вывод результатов анализа в форматах, совместимых с кодами стандартного анализа.

Pro/MOLDESIGN – обеспечивает конструирование частей пресс-форм и конструкторские разработки на основе моделей, отличных в этих формах; обеспечивает оснащение литниками и каналами, позволяет имитировать заполнение пресс-форм; позволяет разрабатывать пресс-форму и саму модель совместно.

Pro/PLOT – поддерживает производственные стандарты для вывода на плоттер.

Pro/REPORT – позволяет получить номенклатуру расходуемых материалов, список производственных изменений, таблицы классификаций деталей, сведения об изготовлении.

Pro/SHEETMETAL – обеспечивает разработку параметризированной модели из листового металла, формирование трехмерной модели из различных деталей и параметризовать процессы изготовления – штамповку, прошивку, гибку, резку, рубку.

Pro/SURFACE – обеспечивает поверхностное моделирование аэродинамических поверхностей (многопрофильных разверток траекторий).

Pro/VIEW – обеспечивает просмотр созданных чертежей по частям или полностью с изменением масштаба изображения.

## 5. ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМ САПР В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ

### 5.1. Возможности оптимизации конструкции и технологии

Оптимизация лежит в основе всей инженерной деятельности. Оптимизация позволяет снизить затраты на изготовление продуктов, повысить эксплуатационные и качественные характеристики изделия. В связи с высокой сложностью расчетов, оптимизация требует больших затрат времени. Многие параметры конструкции невозможно оптимизировать без применения вычислительной техники. По этим причинам оптимизации получила широкое применение в компьютерном анализе. Перечислим параметры конструкции, подлежащие оптимизации при компьютерном анализе:

- геометрические (размерные) параметры;
- массо-инерционные характеристики;
- физические параметры (плотность, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, теплопроводность и др.);
- кривизна поверхностей, образованных кривыми второго и выше порядков (Гауссов разброс кривизны (рис. 5.1), наличие локальных экстремумов и изломов поверхности);
- размерный анализ;
- взаиморасположение компонентов в сборке;

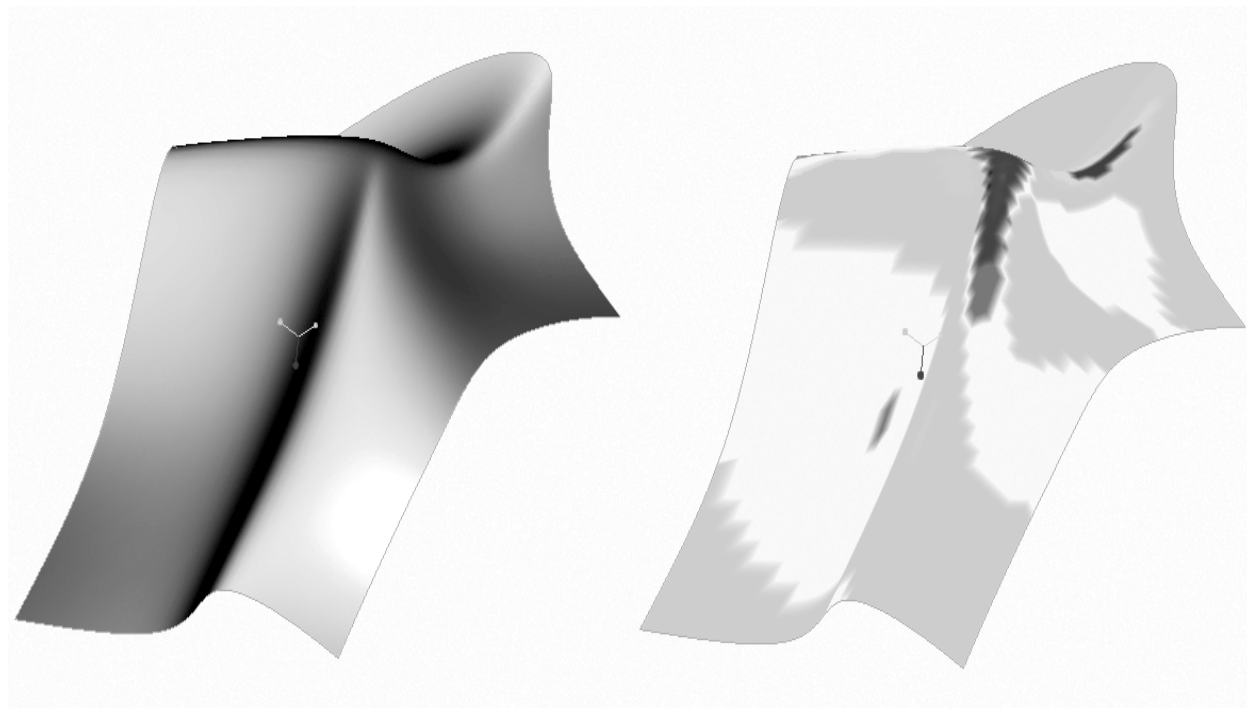


Рис. 5.1. Гауссово изменение кривизны поверхности

слева (поверхность), справа (изменение кривизны вдоль поверхности) САМ-системы позволяют автоматически изменять рассчитанные скорости подачи, чтобы сделать их быстрее и эффективнее. Оптимизация в таких системах проводится по критерию наименьшего времени обработки. К особенностям систем относятся: регулирование подачи при изменении площади срезаемого слоя, что обеспечивает большую стойкость инструмента, меньшее время обработки, большую точность обработки за счет постоянства сил резания. Настройка скоростей подачи, учитывающая условия резания и возможности оборудования может сократить время механической обработки более чем на 50%. Оптимизированные скорости подачи одновременно улучшают качество детали и снижают износ оборудования и режущего инструмента.

## 5.2. Анализ и оптимизация размерных цепей при комплексном автоматизированном проектировании в Pro/ENGINEER

Одним из важных аспектов проектирования качественных изделий является правильное назначение предельных отклонений на размеры деталей и сборок – расчет размерных цепей. Наверное, каждому конструктору приходилось заниматься построением и расчетом размерных цепей. На некоторых предприятиях существуют специальные подразделения, занимающиеся подобными расчетами – вручную или с помощью собственных программ и, как правило, речь идет только о двумерных размерных цепях. В случае же трехмерных размерных цепей предельные отклонения назначаются, исходя из опыта конструктора или по аналогии с реализованными проектами.

Серьезной проблемой является подбор таких предельных отклонений, которые обеспечивают требуемое качество изделия и технологически выполнимы на имеющихся у предприятия станках (фрезерных, электроэро-зионных и др.). Решение данной проблемы, по существу, предполагает наличие комплексного подхода в автоматизированной подготовке производства и собственно производстве. Примером могут служить комплексные решения, предлагаемые инженерно-консалтинговой фирмой SOLVER (Россия), основан на использовании функциональных модулей программного обеспечения Pro/ENGINEER и включает автоматизацию конструкторско-технологического проектирования и производства изделий с особенностями размерных цепей. Pro/ENGINEER содержит специализированный модуль анализа и синтеза размерных цепей – CE/TOL SixSigma (CE/TOL). В сочетании с базовыми модулями CE/TOL позволяет комплексно реализовать процесс создания изделия в цепочке “конструкторское проектирование деталей и сборок – генерация расчетной схемы размерной цепи – анализ и оптимизация предельных отклонений размеров деталей и сборок – подготовка управляющих программ обработки деталей на станках с ЧПУ – изготовление – контроль размеров деталей – сборка с обеспечением требуемого качества изделия”. При составлении размерных схем CE/TOL

гибко общается с геометрией в Pro/ENGINEER. Можно выделить три типа размерных схем: конструкторская схема (а), технологическая схема (б) и измерительная схема (с). В идеале все три схемы должны совпадать. В этом случае используются размеры (параметры), затребованные при построении геометрии в Pro/ENGINEER. В случае же, когда размерная схема, использованная в Pro/ENGINEER, не соответствует технологии изготовления или контроля изделия, создается новая размерная схема с использованием специальных геометрических построений (плоскостей, координатных систем) и существующей геометрии (поверхностей, граней) в Pro/ENGINEER. Необходимо отметить, что составленная размерная схема полностью ассоциативна с моделью Pro/ENGINEER – при изменении модели в Pro/ENGINEER автоматически перестраивается и размерная схема, включая числовые значения размеров и предельных отклонений. Соответственно, изменение предельных отклонений в результате проведенной оптимизации отражается в геометрической модели и чертежах в Pro/ENGINEER.

В случае расчета предельных отклонений деталей в контексте сборки, при составлении размерной схемы необходимо учитывать кинематические ограничения. Полученная таким образом размерная схема позволит оценить не только изменение допусков размеров, но и взаиморасположения деталей. При составлении кинематической размерной схемы в Pro/ENGINEER используется широкий набор кинематических связей: цилиндрический шарнир; параллельные касающиеся цилиндры; не параллельные касающиеся цилиндры; сферический шарнир; плоскость на плоскости; цилиндр на плоскости; грань на плоскости; шар на плоскости; точка на плоскости.

Полученная кинематическая размерная схема рассматривается в квазистатическом состоянии (изменение положения деталей возможно только в пределах полей допусков), причем автоматически отслеживается достаточность наложенных кинематических связей. Кроме того, при анализе предельных отклонений на взаиморасположение деталей в сборке CE/TOL позволяет назначать допуски формы и расположения поверхностей в шарнирах. Например, Pro/ENGINEER воспринимает соосность двух цилиндрических поверхностей идеально, тогда как его модуль CE/TOL позволяет учитывать погрешности, возможные при изготовлении этих элементов.

По полученной кинематической размерной схеме Pro/ENGINEER (CE/TOL) проводит анализ чувствительности. Чувствительность определяет степень влияния предельных отклонений размеров деталей, входящих в сборку на целевую функцию (замыкающий размер) и является частной производной от целевой функции, где в качестве переменных выступают предельные отклонения. При анализе линейной чувствительности (по первым частным производным) определяются размеры, изменение полей допусков которых непосредственно влияет на целевую функцию. При анализе нелинейной чувствительности (по первым и вторым частным производным) определяются все размеры, от которых зависит значение целевой функции.

При таком анализе гарантируется стопроцентная собираемость деталей за счет ужесточения полей допусков тех размеров, которые влияют на замыкающий размер. При этом разброс значений по полю допуска не имеет значения, так как учитывается только наихудший вариант (выполнение размера по крайнему значению поля допуска).

Данный расчет обеспечивает гарантированное на 100% отсутствие ручной пригонки при сборке деталей, что обеспечивает выигрыш во времени и повышение качества конструкции. Однако, жесткие требования на выполнение размера в его поле допуска экономически оправдано только при небольшом количестве деталей в сборке, наличии высокоточных станков с ЧПУ и контрольно-измерительной техники или при мелкосерийном производстве. В случае же крупносерийного и массового производства наиболее эффективным является статистический (вероятностный) анализ предельных отклонений.

Статистический анализ позволяет увеличить поля допусков без принципиальной потери качества сборки, так как считается, что процент деталей, выполненных с размерами в наихудшем варианте (по крайним значениям полей допусков) маловероятен. Как маловероятен и допустимый процент риска при изготовлении таких деталей при массовом производстве. Подобный анализ конструкций обеспечивает большую гибкость при назначении предельных отклонений, позволяя достичь высокого уровня качества, хотя и не обеспечивает стопроцентной гарантии собираемости.

При статистическом анализе рассчитывается распределение (рассеивание размеров в пределах поля допуска) вокруг некой статистической характеристики определенного процесса изготовления деталей. Эта статистическая характеристика определяется следующими параметрами – типом обработки деталей (механическая обработка, листовая штамповка, литье пластмасс и металлов), видом размеров (линейные, угловые), единицами измерения (миллиметры, дюймы), типом статистического распределения. Все эти параметры характеризуют типовые производственные процессы конкретного предприятия.

В Pro/ENGINEER существует библиотека стандартных производственных процессов, но пользователи могут добавлять свои процессы, характеризующиеся следующими переменными: средняя величина распределения ( $m$ ), определяет размеры, исполнимые с наибольшей вероятностью в пределах поля допуска (по умолчанию равна номинальному значению размера, переданного из сборки в Pro/ENGINEER); реднеквадратичное отклонение ( $s$ ), регулирует размах графика распределения; асимметрия распределения ( $B1$ ), определяет асимметричность графика распределения; крутость распределения ( $B2$ ), регулирует остроконечность графика распределения (или пологость схода).

В Pro/ENGINEER представлены три основных типа распределения:

– нормальное (Гауссово) распределение график хорошо масштабируется под различные цели анализа, нормальное распределение полностью характеризуется двумя переменными –  $m$  и  $s$ , при этом  $B1 = 0$  и  $B2 = 3$  (всегда постоянные);

– равномерное распределение полностью характеризуется переменной  $m$

и шириной графика, при этом  $V1 = 0$  и  $V2 = 1.8$  (всегда постоянные);

– лямбда – распределение, наиболее гибко масштабируемый график для статистического анализа, лямбда-распределение полностью характеризуется переменными –  $m1$ ,  $s$ ,  $V1$  и  $V2$ , причем  $V1$  находится в интервале от  $-2$  до  $2$ , а  $V2$  в интервале от  $1,8 \times V12 + 1,8$  до  $1,25 \times V12 + 5,75$ .

Оптимизация в теории расчета размерных цепей заключается в решении двух задач. Обратная задача – определение замыкающего размера по известным допускам звеньев размерной схемы в Pro/ENGINEER решается на этапе анализа размерной схемы. На этапе же оптимизации размерной схемы решается прямая задача – определение допусков звеньев размерной схемы по их номинальным размерам и известному значению замыкающего размера.

Для оптимизации Pro/ENGINEER требует установить определенные характеристики процесса оптимизации:

– достижение требуемого качества сборки, но не конкретного, а скорее, желаемого результата (после оптимизации). Может иметь значение от  $0,5$  до  $0,8 \sigma$ . Применяется только при статистическом анализе;

– достижение требуемого качества деталей. То же самое, что и для сборки. Может иметь значение от  $0,5$  до  $3 C_p$  ( $C_p$  – величина, характеризующая отношение величины поля допуска к среднеквадратичному отклонению). Применяется как при статистическом анализе, так и при анализе на “максимум-минимум”; минимальное среднеквадратичное отклонение; минимальное значение предельного отклонения; максимальная точность значения предельного отклонения (количество цифр после запятой).

Для более рационального управления изменениями предельных отклонений возможно задание различных весовых коэффициентов – величин, определяющих степень влияния изменения предельных отклонений каждого размера (задаются в автоматическом режиме, с учетом проведенного анализа чувствительности, или вручную – руководствуясь конструкторским опытом).

## 6. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ В CAD/CAM СИСТЕМАХ

### 6.1. Принципы разработки управляющих программ (УП) в условиях автоматизированного проектирования

Основным способом автоматизации обработки малых партий деталей со сложной формой является обработка на станках с ЧПУ. Один из факторов влияющих на эффективность использования оборудования – разработка и отладка УП. В настоящее время для разработки УП используют специализированное программное обеспечение – CAD/CAM системы. Структурно подготовка УП состоит из следующих этапов (рис. 6.1.). В CAD системе создаются математические модели детали и заготовки, далее модели передаются из CAD системы (модуля) в CAM систему (модуль). В CAM системе разрабатывается и

проверяется на отсутствие зарезов заготовки при реализации УП. Генерация траекторий движения режущего инструмента ведется на основе построенной в САД системе геометрии детали по выбранной стратегии обработки при учете заданных ограничений: прижимные устройства, зона действия станка и т.д. Затем в постпроцессоре УП переводится в коды станка, на котором будет производиться обработка и программа передается непосредственно в станок. Это особенно важно, так как одну и ту же программу можно использовать для различных станков.

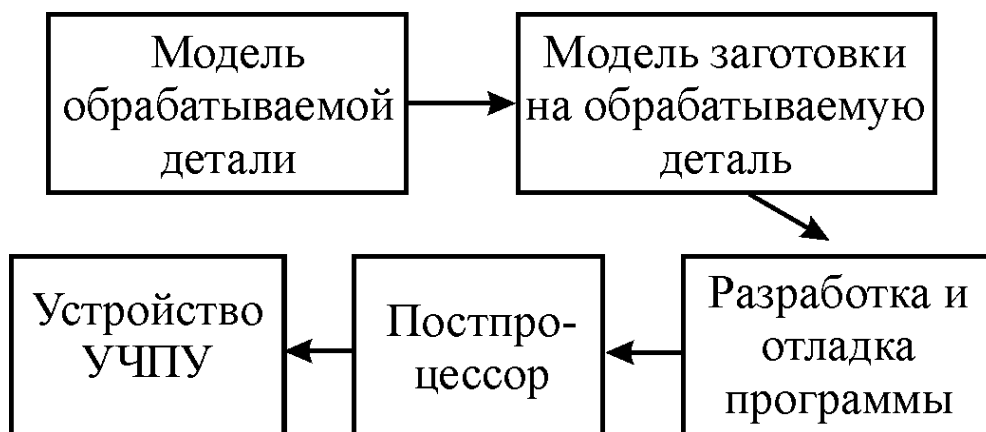


Рис. 6.1. Схема подготовки УП

При программировании выделяются не только типы ЧПУ, но и число одновременно управляемых координат различают 2-х, 3-х; 4-х; 5-ти координатные станки. Принято отличать 2,5 координатную обработку – когда одновременно могут работать (управляться) только две координаты, а третья (врезание фрезы) хотя и присутствует, но работает только тогда, когда два других привода бездействуют.

## 6.2. Достоинства и недостатки внедрения станков с ЧПУ

Внедрение оборудования с ЧПУ в производственную практику всегда было и остается неоднозначным процессом с точки зрения экономики. Для принятия решения о необходимости применения такого оборудования следует рассмотреть преимущества и недостатки ЧПУ [9] (табл. 6.1).

Подводя итог, отметим в каких случаях применение оборудования с ЧПУ оправдано. Можно выделить следующие ситуации:

– мелкосерийное производство с часто сменяемыми программами выпуска. Большую часть всего промышленного производства составляет мелкосерийное производство с объемом партии в 50 единиц и менее, Выпуск мерительного инструмента;

– сложная геометрия детали. Некоторые детали вообще могут быть качественно получены только на станках с ЧПУ, копиры автоматических роторных линий имеют сложный синусоидальный профиль для обеспечения плавности движения роликов. Изготовить такую деталь на обычном фрезерном станке

практически невозможно;

Таблица 6.1

Достоинства и недостатки внедрения ЧПУ на производстве

Достоинства	Недостатки
Сокращение времени простоя. Внедрение ЧПУ не оказывает принципиального влияния на процесс обработки, но обеспечивает меньшее время установки, автоматическую смену инструмента, часто – автоматизацию загрузки и транспортировки деталей и заготовок. В среднем общее время операции на станке с ЧПУ составляет от 35% (обрабатывающие центры) до 65% (штамповка) от времени выполнения этой же операции на обычном станке	Повышенная стоимость обслуживания. Оборудование с ЧПУ в целом менее надежно, чем обычное. Сложность конструкции требует повышенной квалификации обслуживающего персонала. В итоге стоимость обслуживания возрастает на величину от 48% (фрезерные станки) до 63% (обрабатывающие центры)
Сокращение расходов на оснастку. Оборудование с ЧПУ многие виды оснастки вообще не требуются. Например, кондукторы сверлильных станков не используются на станках с ЧПУ – положение сверла задается УП.	Затраты на переподготовку персонала. Внедрение оборудования с ЧПУ требует наличия на предприятии программистов и наладчиков соответствующей квалификации.
Повышение оперативности выполнения производственного задания. Несмотря на дополнительные затраты времени по подготовке УП, время выполнения заказа на оборудовании с ЧПУ сокращается на 26...44%	Высокая начальная стоимость. Станок с СПУ стоит в несколько раз больше, чем обычный. Для окупаемости затрат необходима его интенсивная эксплуатация в 2 или 3 смены, что не всегда возможно.
Повышение гибкости производства. Снижается стоимость переналадки на выпуск новых изделий.	
Повышение качества обработки. Станок с ЧПУ способен по программе изготовить очень сложную деталь, при изготовлении которой вручную высока вероятность внесения ошибок. Тщательная подготовка УП приводит к оптимизации процесса резания. Кроме того, встроенные средства контроля в адаптивных системах с ЧПУ позволяют вообще не проводить дополнительные измерения готовой продукции, что приводит к снижению себестоимости изделия на 20..30%.	



1	2
<p>Меньшая площадь, занимаемая в цехе. Поскольку оборудование с ЧПУ, как правило, многофункционально, и заменяет собой несколько обычных станков, сокращается занимаемое место, расходы на отопление, освещение и т.д.</p>	

– необходимость выполнения многих операций над заготовкой. Многофункциональность станков с ЧПУ, особенно обрабатывающих центров, позволяет производить обработку с одного станка, что повышает точность и устраняет потери времени на загрузку и транспортировку, изготовление корпусной детали требует расточки с высокой точностью ряда отверстий, являющихся посадочными диаметрами подшипников. Наиболее подходящее оборудование для этого – обрабатывающий центр;

– необходимость удаления большого объема материала. Если геометрия заготовки или свойства материала требуют многопроходной обработки, то такая обработка гораздо эффективнее выполняется на оборудовании с ЧПУ, инструментальное производство; обработка бронеплит в военном производстве [9];

– высокая вероятность внесения изменений в конструкцию. Стоимость разработки новой программы для станка с ЧПУ на порядок меньше стоимости переналадки, изготовления приспособлений, обучения персонала при работе на обычном станке, экспериментальное производство, выпуск ряда прототипов изделия;

– высокие требования к точности обработки (узкие поля допусков). Станки с ЧПУ обеспечивают более высокую точность, чем обычные, что связано как с иной конструкцией приводов подач, так и с наличием средств адаптивного контроля. Кроме того, обеспечивается стабильный выпуск партии прецизионных деталей, выпуск сверхточных научных приборов, средств измерения;

– высокая стоимость детали. Иногда стоимость заготовки ввиду ее размеров или особого материала очень высока, поэтому требуется гарантировать недопущение неисправимого брака, что можно сделать только на оборудовании с ЧПУ (изготовление зубчатого венца шестерни поворота стрелы шагающего экскаватора 15м в диаметре) [9,10];

– необходимость 100% контроля деталей. В ряде производств (авиация, космос) требования безопасности предполагают полное исключение брака. Поэтому выполняется 100% контроль всей продукции. Оборудование же с ЧПУ выполняет такой контроль автоматически, в ходе обработки (лопатки турбин реактивного двигателя) [9].

Обоснованному принятию решения о необходимости применения оборудования с ЧПУ также помогают прогнозы роста производительности.

Согласно [6,9,10] производительность автоматизированного оборудования оценивается зависимостью:

$$Q = K_{np} \frac{1}{K_{np} \cdot t_x + 1} = K_{np} \cdot \eta \quad (6.1)$$

где:  $t_p$  – время рабочих ходов;  
 $t_x$  – время холостых ходов;

$$K_{np} = \frac{1}{t_p}$$

$$\eta = \frac{Q}{K_{np}} = \frac{t_p}{T}$$

$T$  – полное время обработки на станке одной детали.

На графике (рис. 6.2) по данным [9] отображена производительность различного автоматизированного оборудования.

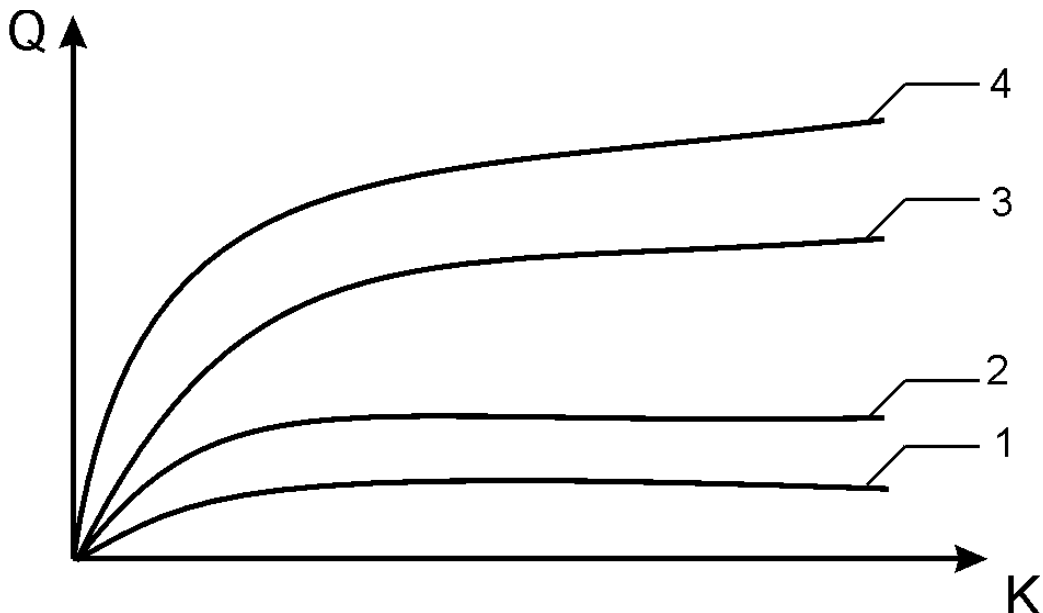


Рис. 6.2. Производительность автоматизированного оборудования:  
1 – станки с ЧПУ на базе модернизированных универсальных;  
2 – обычные станки с ЧПУ; 3 – многооперационные станки (обрабатывающие центры); 4 – автоматизированные линии из станков с ЧПУ

Сокращение времени рабочих ходов соответствует перемещению по оси абсцисс, а сокращение времени холостых ходов – перемещению по оси ординат. Нетрудно видеть, что любое автоматизированное оборудование имеет некоторый предел роста производительности, после чего кривая идет горизонтально – рост производительности оборудования прекращается.

Из приведенного графика следует, что переход на оборудование, имеющее более высокую степень автоматизации, следует производить лишь при достижении текущим оборудованием отметки прекращения роста производительности.

Итак, рассмотрены наиболее важные аспекты применения автоматизированных станочных систем на производстве и выделены основные критерии перевода производства на оборудование с числовым программным управлением.

### 6.3. Стратегии обработки

Под стратегией (схемой удаления припуска) обработки на станках с ЧПУ принято понимать правила формирования траектории режущего инструмента в процессе удаления технологического напуска. Каждая система автоматизированной подготовки производства имеет различное количество стратегий обработки, большинство из которых являются узкоспециализированными и применяются при обработке только одного вида поверхностей. На рис. 6.3 показаны типовые схемы переходов токарной обработки основных поверхностей.

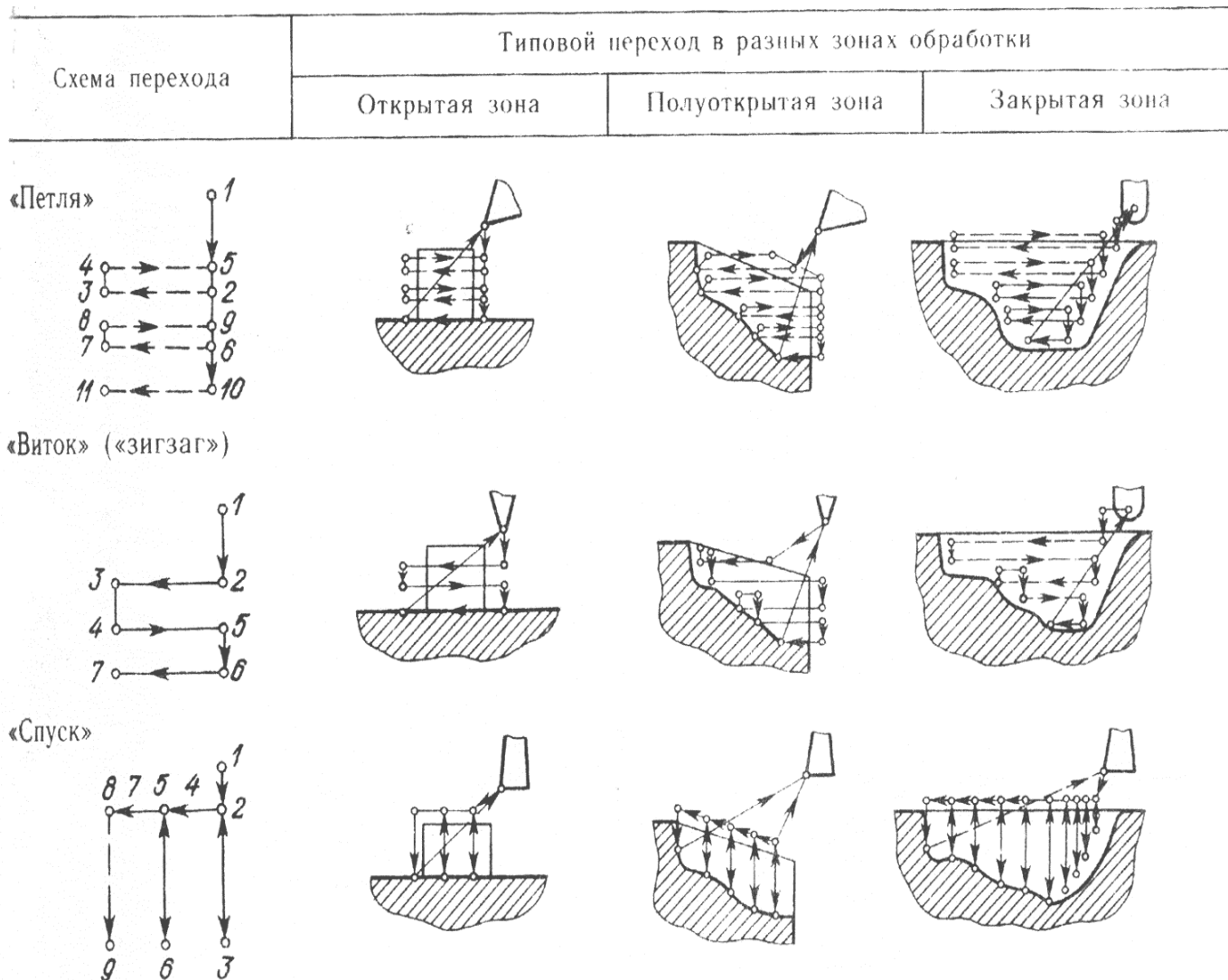


Рис. 6.3. Стратегии черновой токарной обработки

Схема «петля» характеризуется тем, что по окончании рабочего хода инструмент отводится на небольшое расстояние (около 0,5 мм) от обработанной поверхности и возвращается во время вспомогательного хода назад. Эту схему наиболее часто применяют при обработке открытых и полуоткрытых зон.

Разновидность ее может быть использована также при обработке деталей типа ступенчатых валиков методом «от упора». Схема «виток» («зигзаг») предусматривает работу инструмента на прямой и обратной подаче и может быть реализована в зонах обработки всех видов. Схема «спуск» характерна тем, что припуск снимается при радиальном перемещении резца. Наиболее часто эту схему используют при черновых переходах для закрытых зон. Кроме перечисленных стратегий при чистовой токарной обработке используют стратегии, которые на последнем проходе обходят контур, подбирая оставшиеся неровности.

Рассмотрим стратегии, наиболее часто применяющиеся для черновой фрезерной 2,5 координатной обработки (рис. 6.4). Пример траекторий, формируемых этими стратегиями на рис. первое название (на английском языке) – внутреннее название стратегии в системе Pro/ENGINEER, второе – русскоязычный аналог, применяемый в отечественных САМ системах.

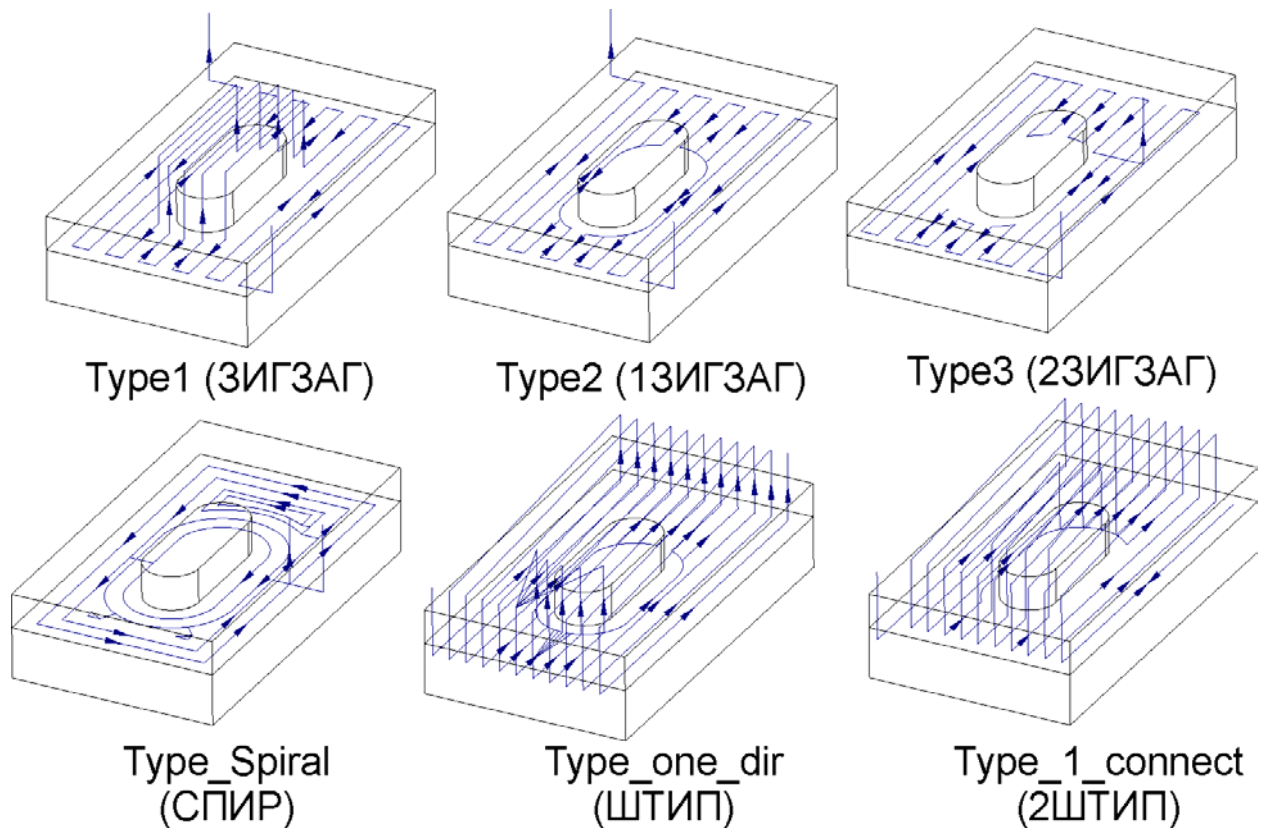


Рис. 6.4. Основные стратегии черновой фрезерной обработки

TYPE\_1 – инструмент последовательно выбирает массив. Встречая острова, он поднимается в плоскость отвода.

TYPE\_2 – инструмент последовательно выбирает массив, не поднимаясь в плоскость отвода. Встречая острова он обходит вокруг них.

TYPE\_3 – инструмент удаляет материал из непрерывных зон, определяе-

мых геометрией островов (обрабатывает эти зоны по порядку и с обходом островов). Завершив обработку одной зоны, инструмент отводится (если необходимо) и переходит к обработке следующей зоны.

TYPE\_SPIRAL – инструмент формирует траекторию резания по спирали с огибанием по спирали всех препятствий.

TYPE\_ONE\_DIR – инструмент режет только в одном направлении. В конце каждого режущего прохода он отводится и переходит на противоположную сторону заготовки, чтобы начать следующий проход в том же направлении. Способ обхода островов тот же самый, что и для TYPE\_1.

TYPE\_1\_CONNECT – инструмент режет только в одном направлении. В конце каждого режущего прохода он отводится в начальную точку прохода, опускается (врезается) и затем перемещается в начало следующего прохода. Если в начале режущих проходов имеется смежная стенка, то инструмент движется вдоль контура этой стенки для избежания зареза.

После черновой обработки остаются макронеровности в виде ступенек (рис. 6.5), которые подлежат удалению на операции чистового фрезерования.

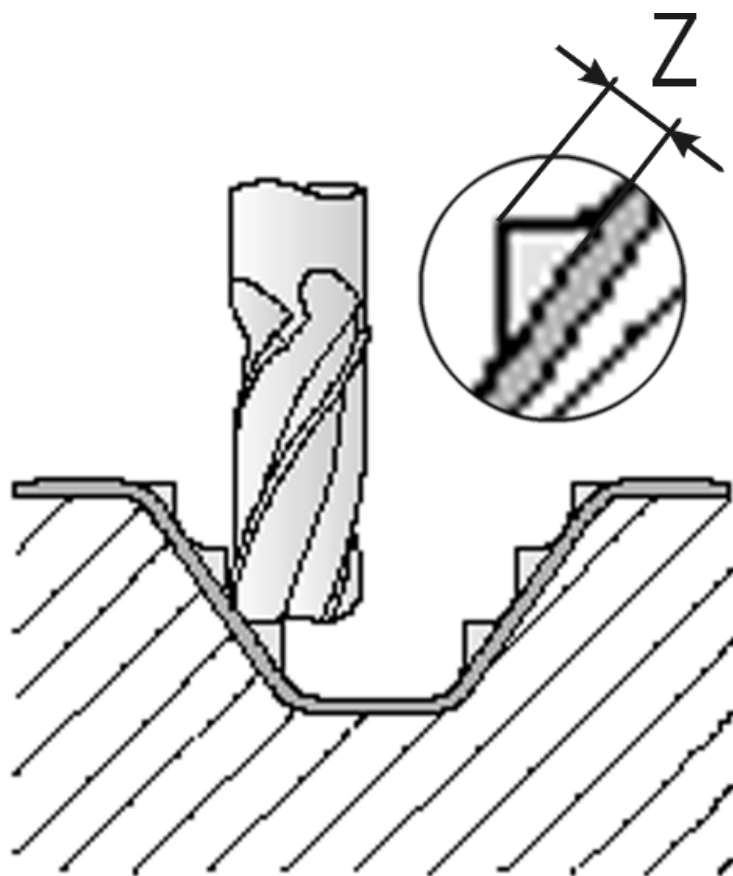


Рис. 6.5. Формирование макронеровностей при черновом фрезеровании

Зигзагообразный метод является в настоящее время наиболее распространенным, хотя и обладает определенными недостатками. Основной недостаток этого метода заключается в переменном характере фрезерования: если вдоль одной строки инструмент работает по подаче, то вдоль следующей он будет ра-

ботать против подачи. Аналогичная картина наблюдается и при переходе от одной строки к другой вдоль границы. Все это приводит к изменениям сил резания и отрицательно сказывается на точности и чистоте обработки. Вместе с тем следует отметить, что в тех случаях, когда расстояние между соседними строками, определяющее глубину фрезерования, незначительно отличается от диаметра инструмента, то и изменение сил резания невелико. Другим недостатком зигзагообразной схемы является повышенное число изломов на траектории инструмента. Это также отрицательно сказывается на динамике резания и приводит во многих случаях к увеличению времени обработки [7] в связи с необходимостью выполнения операций по разгону-торможению, которые обуславливаются динамикой приводов подачи станка с ЧПУ.

Предварительная прорезка границ обеспечивает симметричные условия резания для инструмента в процессе выполнения этого прохода, а также облегчает условия работы инструмента при последующей обработке в начале и в конце каждой строки. Однако условия работы инструмента при предварительной прорезке границ тяжелые, так как он работает на полную глубину. Последующая зачистка границ облегчает условия работы инструмента, однако ухудшает динамику обработки, поскольку инструмент работает в условиях переменной глубины резания. По этой причине при использовании разновидности 1ЗИГЗАГ, вдоль границы должен оставаться припуск под последующую обработку.

Спиралевидная схема выгодно отличается от зигзагообразной более плавным характером обработки. Она обеспечивает неизменный характер фрезерования (по или против подачи) и не дает дополнительных (кроме имеющихся на контуре) изломов траектории. Спиралевидная схема имеет две основные разновидности, одна из которых характеризуется движением инструмента от центра области к периферии (рис. 6.4, схема СПИР), а другая – наоборот, от границы области к ее центру (схема АСПИР).

При использовании этой стратегии следует иметь в виду, что при обработке колодцев с тонким дном на деталях из легких сплавов возможен подрыв дна в конце обработки при схеме от периферии к центру.

Для того, чтобы обеспечить необходимый характер фрезерования при использовании правого и левого направлений вращения шпинделя станка, каждая из описанных разновидностей спиралевидной схемы имеет два типа: с движением инструмента в направлении по или против часовой стрелки при наблюдении со стороны шпинделя (обозначается соответственно ЧС и ПЧС).

Выдержать одинаковый характер фрезерования можно также с помощью схемы Ш-образного типа. При этой схеме инструмент после выполнения прохода вдоль строки отводится на небольшое расстояние от обработанной поверхности и на ускоренном ходу возвращается назад. Ш-образная схема может иметь такие же разновидности (ШТИП, 1ШТИП, 2ШТИП), как и зигзагообразная. Существенным недостатком этой схемы является большое число вспомогательных ходов.

Отдельно следует рассмотреть программирование врезания инструмента в металл. Дадим самое общее описание этого аспекта написания УП. Наиболее

простым способом является врезание с использованием подачи вдоль оси инструмента. Однако этот метод неприемлем для фрез, имеющих технологические центровые отверстия. Для остальных типов фрез он также неэффективен, поскольку фрезы плохо работают на засверливание. Использовать этот метод наиболее удобно при предварительной обработке места врезания сверлом (схема ЗАСВ). Наиболее технологичным способом является врезание при движении инструмента вдоль одной из строк с постепенным его снижением (СПУСК). На чистовой операции наиболее часто используют цилиндрические и сферические (шаровые) концевые фрезы (рис. 6.6). Задача чистовой обработки состоит в подборке оставшегося после черновой обработки материала и получения поверхности с заданными геометрическими параметрами.

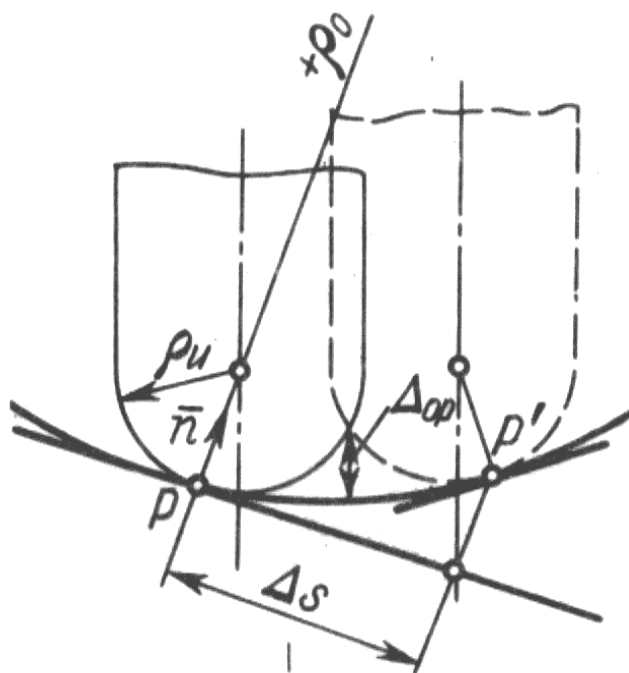


Рис. 6.6. Схема чистовой обработки сферической фрезой

При чистовой обработке применяются стратегии с резанием вдоль макронеровностей, оставшихся после черновой обработки (рис. 6.5), поперек, под углом. Как правило, обработка ведется по эквидистантам к поверхностям детали. Чистовая обработка фасонных деталей ведется на 3-х – 5-и координатных станках.

#### 6.4. Машинные коды (G-коды) и АРТ- стандарт

Программа для станка с ЧПУ состоит из кадров, записываемых по определенной форме. Каждый кадр содержит геометрические и технологические данные, необходимые для обработки одного элементарного участка детали, чаще всего между соседними опорными точками.

Кадры состоят из слов – информации, определяющей работу отдельных исполнительных органов станка: перемещения по осям (X,Y,Z), скорость пода-

чи, работу механизмов смены инструмента и др.(рис. 6.7).Также в кадрах могут встречаться встроенные в станок циклы обработки: многопроходная черновая обработка, сверление глубоких отверстий и др. При разработке УП программист должен в последовательно проинструктировать систему с ЧПУ обо всех необходимых операциях по управлению станком.

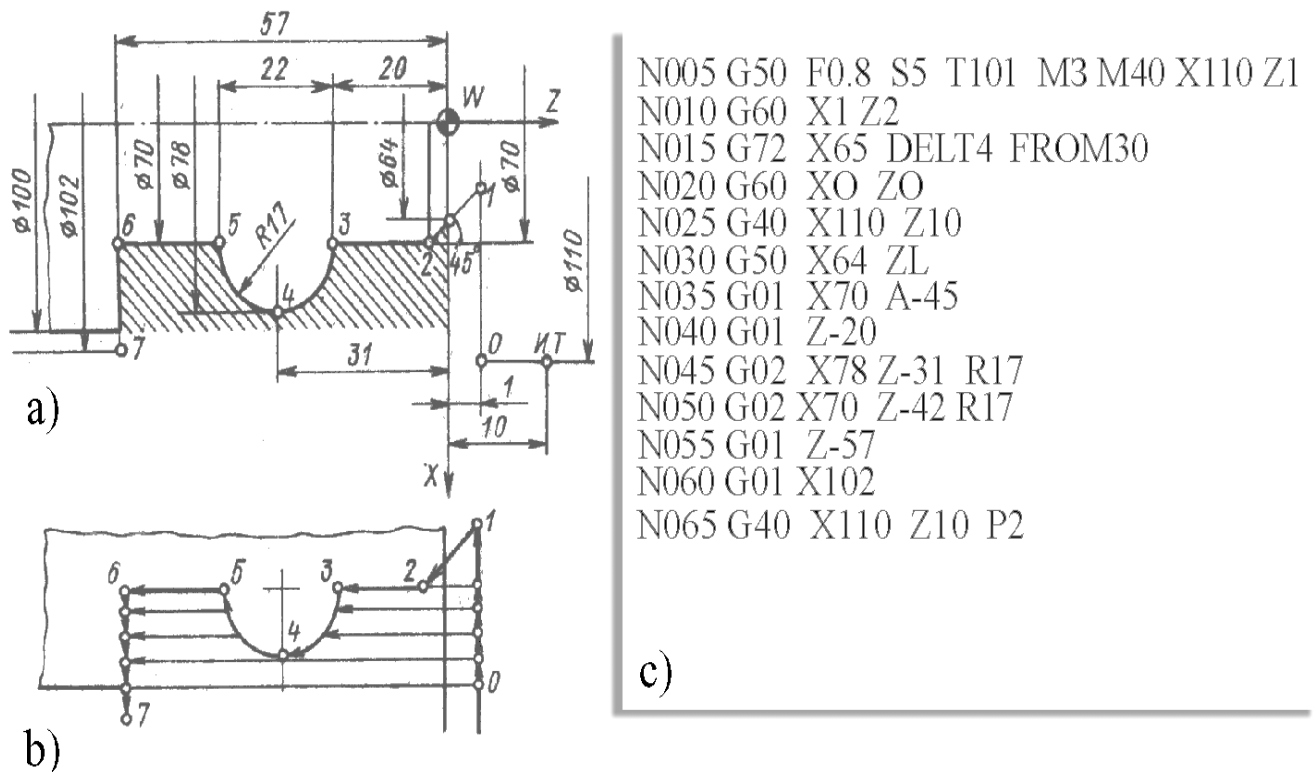


Рис. 6.7. Схема обработки вала на токарном станке с ЧПУ: а – конфигурация вала, б – траектория центра инструмента, с – управляющая программа

В настоящее время для записи УП в станок пользуются кодами ISO-7bit, общую структуру кадров регламентирует ГОСТ 20999-83 [6]. Приведем некоторые из существующих обозначений [6-8]:

- O** – номер программы;
- N** – номер кадра;
- G** – подготовительные функции и технологические циклы;
- X** – обозначение оси X;
- Y** – обозначение оси Y;
- Z** – обозначение оси Z;
- R** – обозначение радиуса;
- F** – функция подачи;
- S** – функция частоты вращения шпинделя;
- H** – корректор на длину инструмента;

- D** – корректор на длину инструмента;
- T** – номер инструмента (позиции);



**М** – вспомогательные функции.

Для различных систем управления формат кадров УП может меняться, но значение регламентированных ГОСТом слов остается постоянным. Наиболее точным источником сведений о формате кадров для определенного устройства управления станком является станочная документация, поэтому при разработке УП с ней следует сверяться.

Перемещения инструмента (детали), которыми оперируют при разработке УП являются движение по прямой и по окружности (по часовой стрелке или против). Измеряться перемещение может в относительных или в абсолютных координатах [6-8].

С развитием систем автоматизированного проектирования получил развитие другой стандарт представления УП – АРТ (Automatically Programmed Tools). Формат является межплатформенным – это означает, что все системы САПР, поддерживающие этот формат, могут читать и использовать УП разработанные в другой системе.

Все операторы в АРТ также делятся на четыре типа:

- геометрические операторы. Они задают геометрию детали;
- операторы движения. Они описывают траекторию движения инструмента;
- операторы постпроцессора. Они относятся к конкретному станку и конкретному контроллеру ЧПУ и задают подачи, частоты вращения шпинделя и другие режимы работы механизмов станка;
- вспомогательные операторы. Они идентифицируют деталь, станок, задают допуски и т.д.

Для перевода программы из формата АРТ в формат данных станка (G – коды) используются постпроцессоры.

## 6.5. Последовательность принятия решений при разработке УП в САМ системах

Несмотря на то, что системы автоматизированной подготовки производства позволяют автоматизировать процесс подготовки УП, на долю технолога остается большое количество решений, которые компьютер принять не в состоянии.

Действия технолога при подготовке УП в системе автоматизированной подготовки производства можно описать алгоритмом (рис. 6.8).

Первоначально предлагается производить выбор стратегии, основываясь на которой, система будет рассчитывать траектории движения инструмента.

Далее следует определить ограничения на назначение режимов резания: мощность приводов и шпинделя станка, ограничения по резанию для инструмента. На основе этих данных назначаются режимы резания.

Для обеспечения качества на чистовой обработке необходимо, чтобы высота гребешка макронеровностей (рис. 6.5) была постоянной. Это можно обеспечить на операции черновой обработки. Но при этом наблюдается переменная глубина резания. Поэтому рекомендуется, определяя параметры срезаемого слоя для каждого прохода, назначать более эффективные режимы резания,

компенсируя изменение глубины изменением подачи.

Затем, исходя из назначенных режимов резания, следует определить силу резания и деформации технологической системы и внести в УП корректирующие воздействия (предсказания УП), для повышения точности обработки.

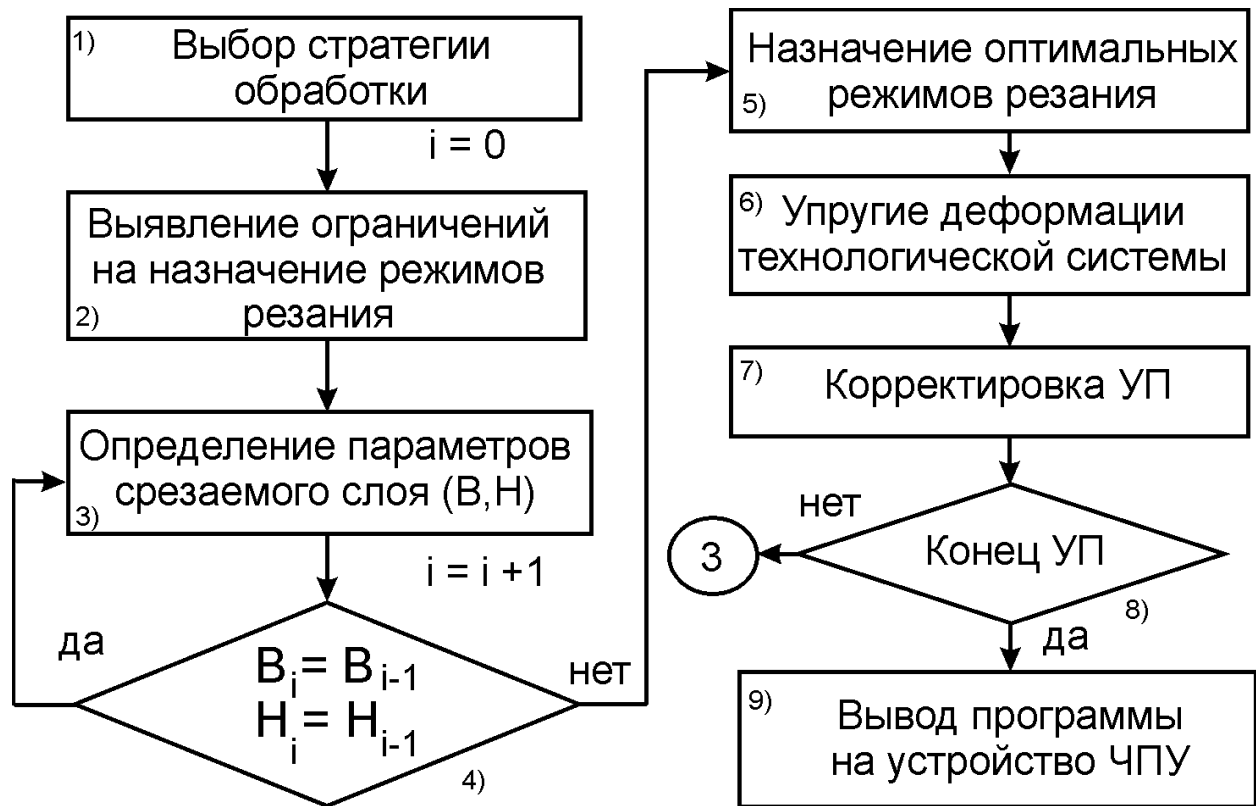


Рис. 6.8. Алгоритм подготовки УП

После того как программа завершена технологу необходимо выбрать соответствующий станку постпроцессор и перевести программу в управляющие коды станка.

### 6.6. Постпроцессирование

При помощи универсальных САМ систем технологи рассчитывают управляющие программы для разнообразных типов станков с ЧПУ, включая двух координатные токарные станки; 3, 4 и 5-ти координатные фрезерные станки; электроэрозионное оборудование; прессы и др. Кроме того, существует множество систем числового программного управления таким оборудованием. В результате виртуально существует неограниченное множество комбинаций "станок-система с ЧПУ".

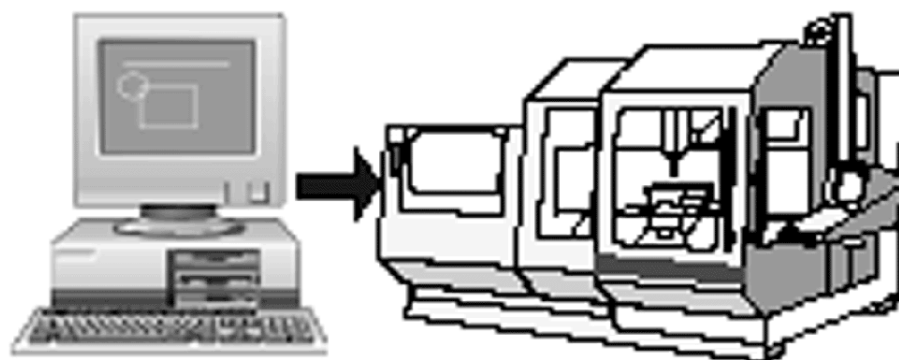
Для перевода УП из формата АРТ или, как его еще называют CLDATA (Command Language DATA), в коды соответствующей стойки станка используются специальные компьютерные программы – постпроцессоры. Постпроцессоры могут быть как самостоятельной программой, так и частью CAD/CAM системы.

Различают инвариантные и классические постпроцессоры. Инвариантные постпроцессоры позволяют переводить исходные управляющие последовательности в коды любой стойки. Достигается это либо перепрограммированием постпроцессора на новую стойку, либо путем диалога пользователя и ПК средствами постпроцессора создается командная последовательность для новой стойки ЧПУ.

### 6.7. Перенос УП в УЧПУ станка

После получения управляющей последовательности необходимо передать эти данные на станок (рис. 6.9). Существует несколько методов передачи данных:

CAD/CAM система



Станок с ЧПУ

Рис. 6.9. От САМ системы к станку

– перфолента и перфокарты. Перфолента является одной из самых старых до сих пор используемых способов. Широко использовался такой способ хранения информации в эпоху мейнфрэймов, когда возле станка ставить компьютер было дорого, а других надежных носителей информации не существовало. Недостатком этого способа является малая вместимость и большой расход перфоленты. Перфоленты неудобно хранить, записывать, использовать. Сейчас на производстве модернизируют оборудование, перфоленту меняют на более прогрессивные способы хранения и переноса информации;

– через порт компьютера RS-232. С появлением персональных компьютеров появились способы позволяющие улучшить процесс передачи данных на станок. Один из таких – передача данных по последовательному порту RS-232. При таком способе наблюдается низкая скорость передачи данных, однако становится возможным хранить программы на персональном компьютере и перекачивать их только по мере надобности;

– носители на гибких магнитных дисках.

В настоящее время на станках используются носители информации аналогичные тем, которые используются и на ПК. Например, на электроэрозионных станках фирмы «Галика AG», операционная система загружается через привод CD-ROM, встроенный в станок:

– через сеть на витой паре (коаксиальном кабеле). Этот способ является одним из самых эффективных. Станок подключается через соответствующий интерфейс (сетевую карту) к персональному компьютеру. Технолог, не вставая со своего рабочего места, пересылает УП в станок, проводит отладку УП. Компьютер может использоваться для хранения УП и вызова их в память станка по мере необходимости;

– управляющая стойка – компьютер. Такой способ позволяет не только разрабатывать программы оперативно, не отходя от станка, но и позволяет использовать стойку для хранения программ, также снимается проблема нехватки оперативной памяти на станочной стойке.

В настоящее время, устаревшее оборудование оснащается различными по типу устройствами, которые позволяют заменить перфоленту различными носителями. Эти способы могут считаться только временным решением проблемы, так как остаются проблемы низкой скорости считывания программы и нехватки оперативной памяти. Основным недостатком всех перечисленных методов, кроме пятого – нехватка оперативной памяти в станочной стойке. Такая ситуация нередко возникает при попытке загрузить в станок программы для чистовой обработки крупногабаритных деталей.

## 6.8. Сплайн – интерполяция

В настоящее время все большее распространение получают детали сложной формы. К внешнему виду товаров предъявляют повышенное внимание, и дизайнерам и конструкторам приходится искать новые решения. Так все более широкое применение при проектировании находят сплайновые поверхности, которые позволяют создавать детали с геометрией высокой сложности. Дадим краткое описание используемым кривым и поверхностям.

Spline – сплайн. Кривая, четвертая производная которой равна нулю. Широко распространенный формат представления данных. Кривизна контролируется разбросом контрольных точек. Для построения используются различные типы кубических кривых.

NURBS – Non-Uniform Rational B-Spline(s) [9]. Неоднородный рациональный B-spline. Неоднородный – означает, что различные области объектов обладают различными свойствами, значения которых не равны между со-

собой. Рациональный означает, что объект NURBS может быть описан при помощи математических формул. Отличительными характеристиками являются: формулировка, объединяющая параметрические кривые и поверхности, позволяющая единообразно представлять B-spline, кривые Безье, кривые и поверхности канонического вида (рис. 6.10). Кривые, определяемые математикой NURBS, являются сплайнами. Контрольные точки сплайнов определяют кривизну геометрии поверхности. Каждая контрольная точка формирует поверхность только в ограниченной области. NURBS использует математические алгоритмы, которые позволяют виртуально задать любую поверхность или кривую как одно уравнение (кусочные полиномы).

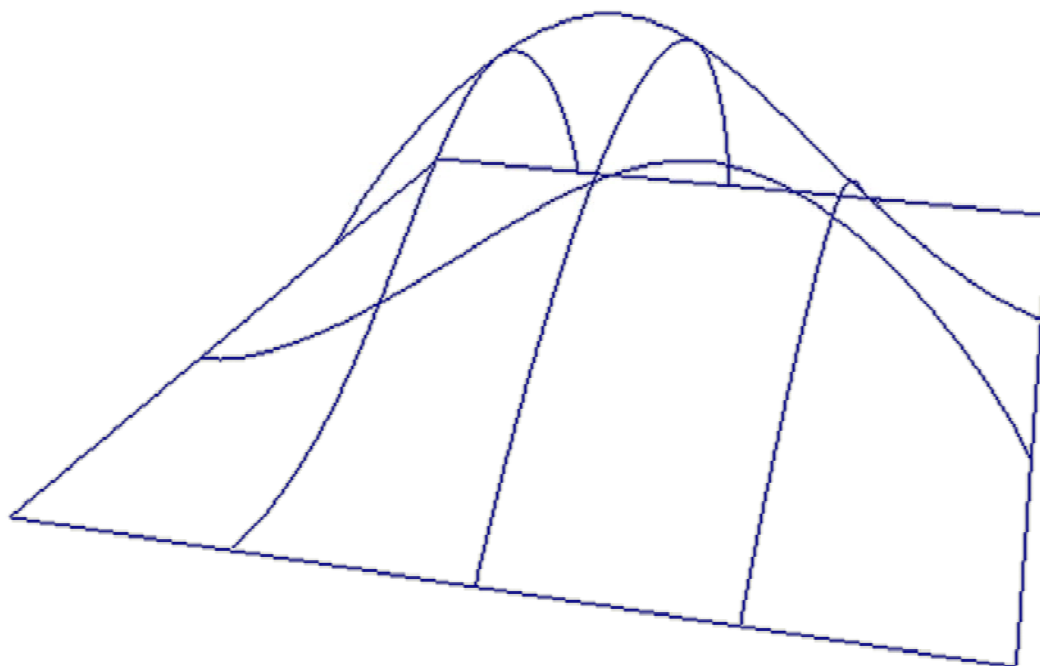


Рис. 6.10. Пример NURBS поверхности

При обработке таких поверхностей САМ системы аппроксимируют сплайновые кривые участками прямых и сегментов окружностей, что ведет к увеличению размеров УП. При обработке крупногабаритных деталей размер программы на чистовую обработку может занимать несколько сотен мегабайт. Кроме того, интерполирование таких поверхностей линиями и дугами приводит к ухудшению качества получаемой поверхности.

В связи с этим на современных станках стала применяться сплайновая интерполяция. Это означает, что движения инструмента описываются сплайновыми кривыми. Такой подход обеспечивает существенное уменьшение размера программы, но увеличивается объем вычислений, производимых управляющим устройством станка, поэтому в качестве управляющего устройства используют мощные персональные компьютеры, иногда имеющие по два и больше процессоров.

Эффективное решение устройств ЧПУ класса PCNC (компьютерное ЧПУ) реализовано в станках с ЧПУ, созданных на кафедре “Оборудование и инструмент компьютеризированного производства” ЮУрГУ [11,12].

## 7. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ СКВОЗНОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТА В PRO/ENGINEER

### 7.1. Создание математической модели детали

Первоначально опишем общий интерфейс системы Pro/ENGINEER (рис. 7.1). Для доступа к элементам построения проектов имеются три элемента дублирующих друг друга.

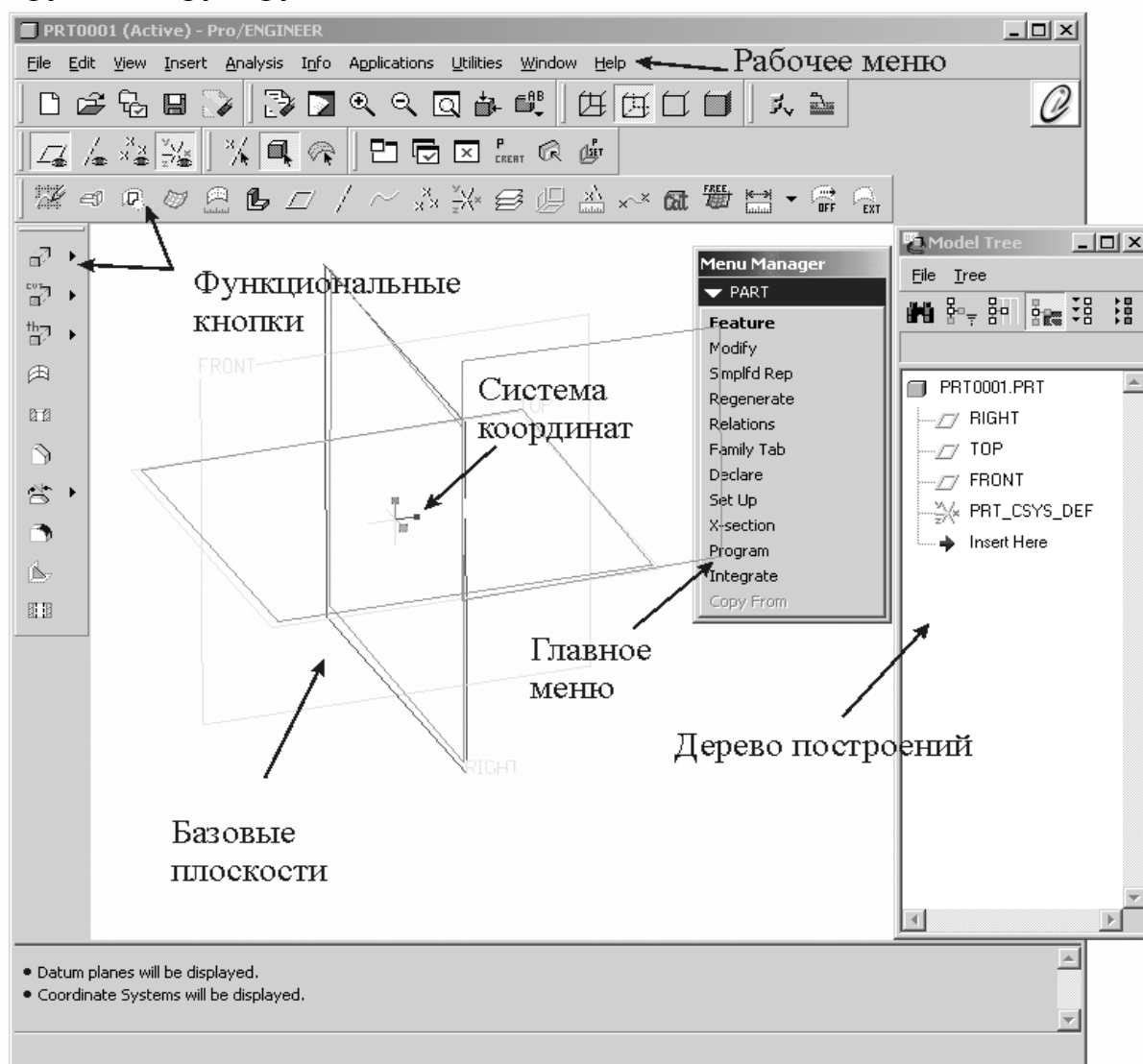


Рис. 7.1. Интерфейс системы Pro/ENGINEER

Самым полным из них является **Главное меню** (Main menu). Оно содержит все команды, необходимы для разработки проекта и управления им. Главное меню представляет собой структурированную последовательность окон. При выполнении одной команды раскрывается следующая часть меню, содержащая список подкоманд и так далее. Рабочее меню помимо команд для построения содержит функции для управления самой системой, настройкой

отображения элементов, приведение выдаваемой конструкторской документации в соответствии с ЕСКД. Функциональные кнопки могут дублировать отдельные последовательности команд и могут настраиваться и добавляться пользователем.

Дерево построений содержит все созданные элементы и позволяет вносить изменения, удалять, добавлять, вставлять построительные элементы и сборочные единицы.

Система координат и базовые плоскости создаются системой автоматически при создании нового файла и служат для привязки создаваемой геометрии.

Работа с любым модулем системы начинается либо с создания файла, либо с перевода существующего файла в другой модуль. Поэтому, как правило, работа начинается с создания или открытия файла с жесткого диска.

1. Создаем файл.

Для этого выбираем в рабочем меню

File ⇒ New ⇒ (в раскрывшемся меню New (рис. 7.2)) Solid ⇒ Name ⇒ Вводим «Detal» ⇒ ОК.

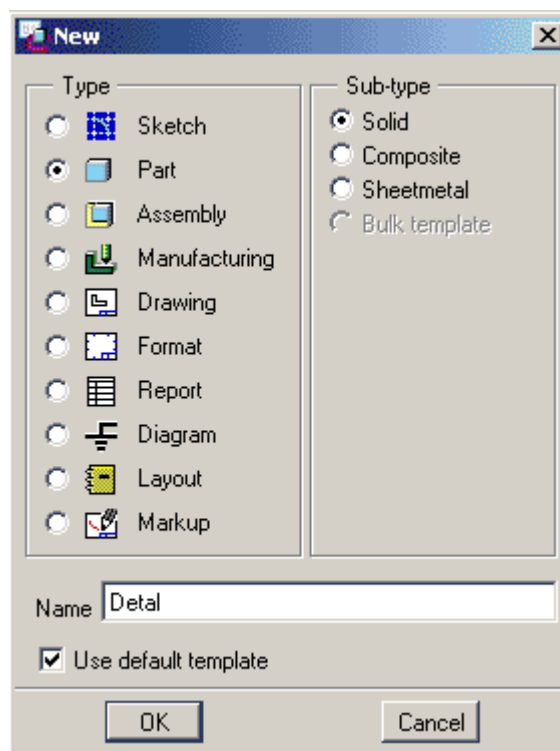


Рис. 7.2. Меню создания новых файлов

2. Создаем первый фичерс.

В главном меню выбираем Feature ⇒ Create ⇒ Protrusion ⇒ Extrude ⇒ One side ⇒ Done.

Настроим плоскость размещения чертежа Setup Sk Plane ⇒ Plane ⇒ Top ⇒ (Flip) ⇒ ОК.

Настроить ориентирование вида Sket view ⇒ Top ⇒ (Front, Right) References ⇒ Close.

Рисуем геометрию (рис. 7.3) ⇒ Нажимаем кнопку  в панели кнопок.

Для задания глубины выдавливания в раскрывшемся меню выбираем Blind ⇒ Done ⇒ Командная строка Enter Depth ⇒ (200 mm) ⇒ ОК.

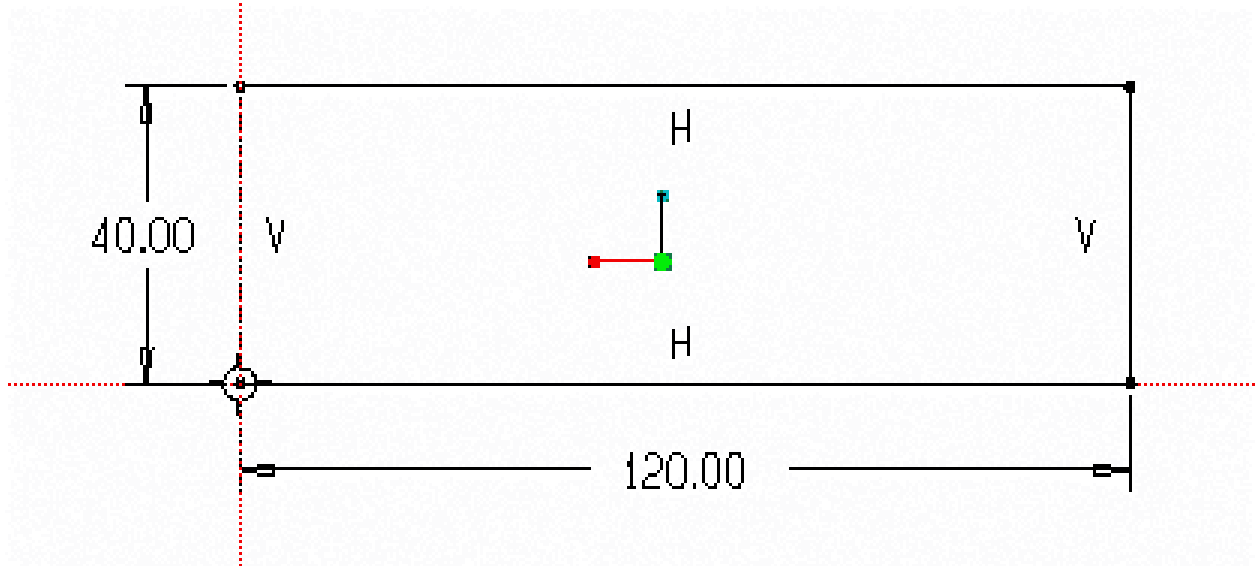


Рис. 7.3. Эскиз основания

3. Создаем уклоны.

Feature ⇒ Create ⇒ Tweak ⇒ Draft ⇒ Neutral Pln ⇒ (Tweak, No split, Constant) ⇒ Done.

Выбираем для наклона боковые грани ⇒ Done sel ⇒ Done. Теперь выберем плоскость относительно которой будем наклонять Plane ⇒ Use neu plane. Вводим величину уклона (5°) ⇒ ОК. Результат отображен (рис. 7.4).

4. Создаем радиусы на гранях.

Feature ⇒ Create ⇒ Round ⇒ Simple ⇒ Done.

Параметры скругления Rnd Set Attr ⇒ Constant ⇒ Edge Chain ⇒ Done.

Параметры выбора Chain ⇒ Tangnt chain ⇒ Done Sel ⇒ Done.

Задаем величину скругления (10 mm) ⇒ Done ⇒ ОК (рис. 7.5).



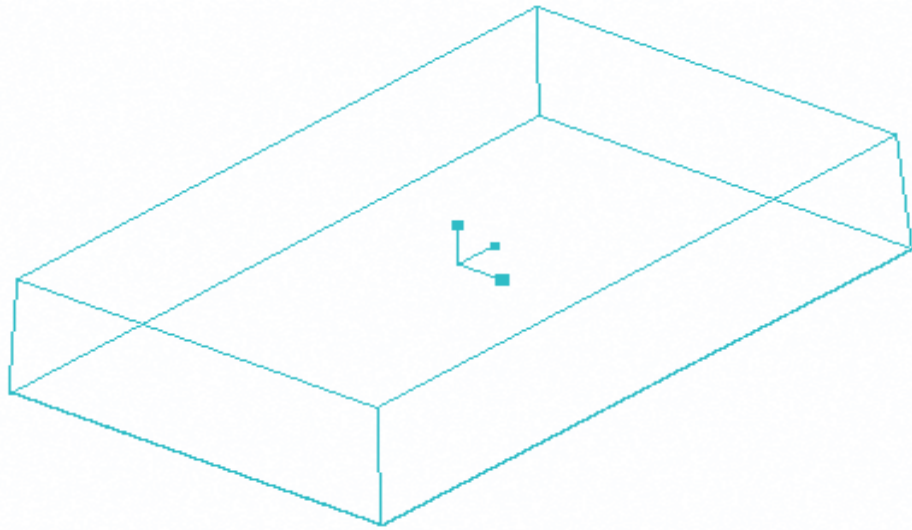


Рис. 7.4. Деталь с уклонами

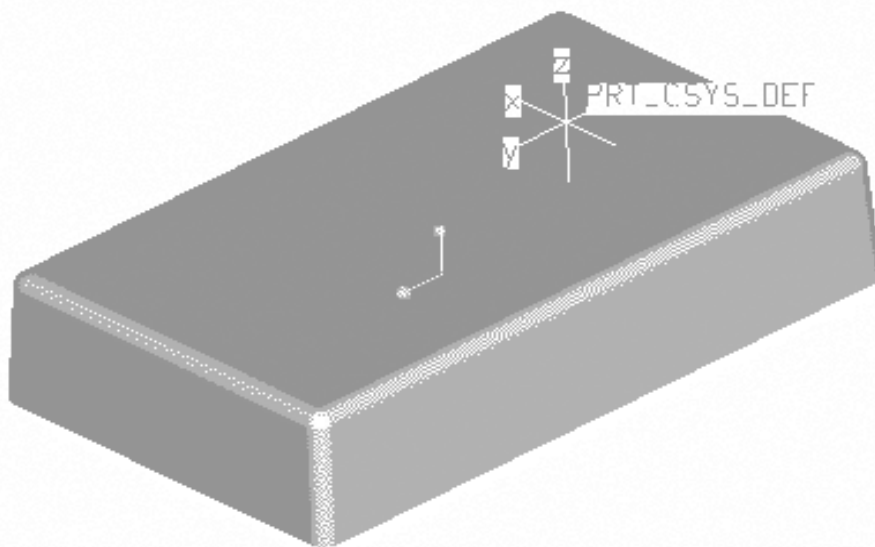


Рис. 7.5. Деталь с радиусами на гранях

5. Вырезаем символ.

Создаем стандартный вырез Feature ⇒ Create ⇒ Cut ⇒ Extrude ⇒ One Side ⇒ Done. Зададим плоскость рисования Plane ⇒ Default. Далее закроем окно References ⇒ Close.

Рисуем геометрию. Для этого в рабочем меню Sketch выбираем Text ⇒ Рисуем линию, которая будет регулировать высоту строки ⇒ Вводим текст ⇒ Done ⇒ . Введем глубину выдавливания Blind ⇒ Done ⇒ Командная строка Enter Depth (3 mm) ⇒ OK.

6. Создадим из имеющейся модели тонкостенный элемент.

Создадим оболочку Feature ⇒ Create ⇒ Shell.

Укажем поверхность, которую следует удалить Remove Surfs ⇒ Done sel ⇒ Done refs. Зададим толщину стенки. Командная строка ⇒ Enter thickness (2 mm) ⇒ ОК.

Результат построения отображен на рис. 7.6.

7. Проведем анализ уклонов.

Верхнее меню ⇒ Analysis ⇒ Surface Analysis.

Тип анализа – проверка уклонов Type ⇒ Draft Check.

Подвергнуть анализу все поверхности Surfaces ⇒ All Surfaces.

В оба направления от указанной плоскости выполняется Angle Option ⇒ Both Direction.

Контролируемый угол 2 градуса Draft Angle ⇒ 2°. Плоскость относительно которой проводится анализ Plane ⇒ Front.

Вычислить Compute.

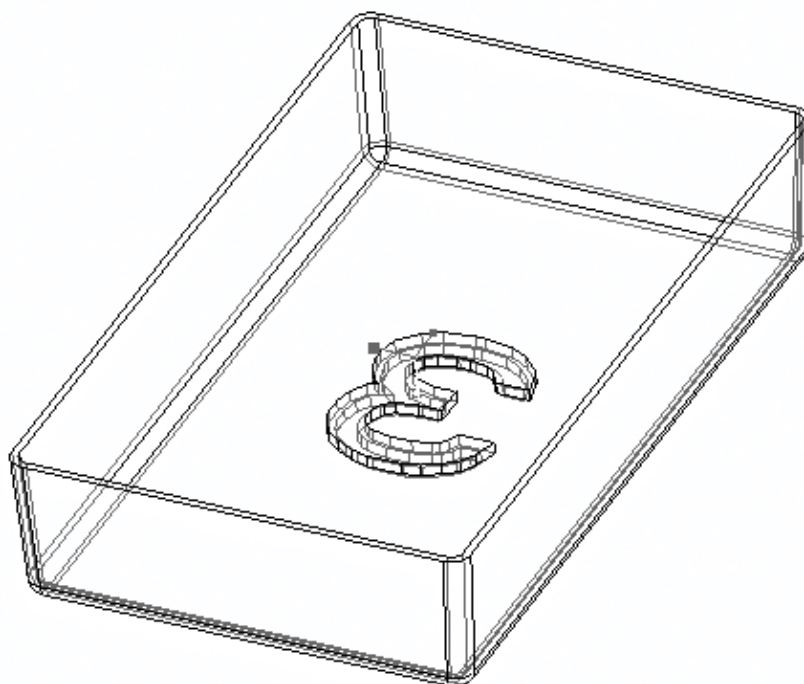


Рис. 7.6. Созданная тонкостенная деталь

Как видно из анализа, оказались ненаклонными грани, принадлежащие вырезанному нами символу, необходимо вставить уклон. Но во избежание проблем с геометрией это следует сделать до образования тонкостенного элемента.

8. Вставка фичерса.

Feature ⇒ Insert mode ⇒ Activate.

Выбираем элемент Cut idxxx. В результате дерево станет выглядеть как на рисунке (рис. 7.7).

9. Создаем уклоны

Feature ⇒ Create ⇒ Tweak ⇒ Draft ⇒ Neutral Pln ⇒ (Tweak, No split, Constant) ⇒ Done.

Intent Surfs ⇒ Выбираем боковую грань символа ⇒ Done.

Plane ⇒ Use new plane.

Вводим величину уклона (5°) ⇒ OK.

10. Создаем радиусы на дне символа

Feature ⇒ Create ⇒ Round ⇒ Simple ⇒ Done.

Rnd Set Attr ⇒ Constant ⇒ Edge Chain ⇒ Done.

Chain ⇒ Intent Chain ⇒ Done Sel ⇒ Done.

Задаем величину скругления (0,2 mm) ⇒ Done ⇒ OK.

11. Вернемся из режима вставки Feature ⇒ Insert mode ⇒ Return.

Согласно п.7 повторим анализ. Как видно из анализа, теперь все благоприятно, значение уклона теперь удовлетворяет заданному условию.

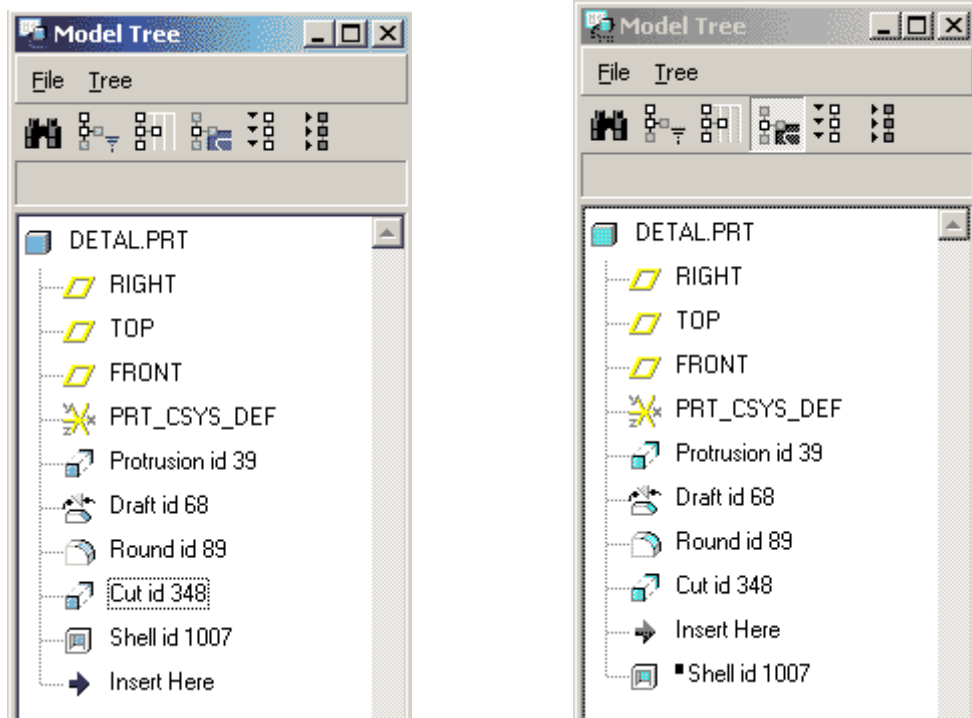


Рис. 7.7. Дерево модели до вставки фичерса (слева) и после (справа)

12. Изменим величину скругления ребер.

В Model Tree (Дерево построений) выбираем соответствующий фичерс ⇒ Правая кнопка мыши ⇒ Modify.

На рабочем поле появится размер скругления, кликнув на нем левой кнопкой мыши изменим его значение на 10 мм (рис. 7.8).

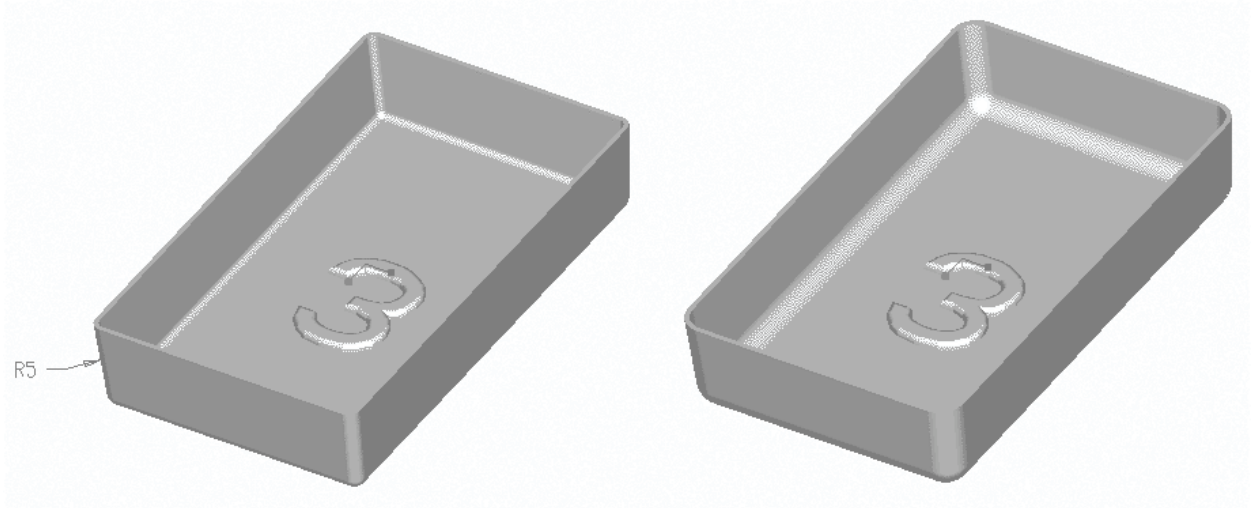


Рис. 7.8. Деталь до (слева) и после увеличения радиуса (справа)

15. Создаем сечение для дальнейшего использования при построения чертежа.

Xsection ⇒ Create ⇒ Planar ⇒ Single ⇒ Done.

Вводим буквенное обозначение сечения (A).

Создаем плоскость разреза. Make Datum ⇒ Offset ⇒ Выбираем плоскость Right ⇒ Enter value (– 60) ⇒ Done.

16. Закрываем модель

File ⇒ Close.

## 7.2 Создание чертежа детали

Теперь требуется создать чертеж детали. После окончания построений он должен выглядеть аналогично (рис. 7.9).

1. Создаем файл

File ⇒ New ⇒ Drawing ⇒ Name ⇒ Вводим «Detal» ⇒ OK.

2. Параметры чертежа.

Задаем модель, по которой будем строить чертеж Default model ⇒ Detail.prt (Browse).

Тип чертежа (пустой с форматом) Specify Template ⇒ Empty With Format. Выбираем формат Format ⇒ A4.

3. Добавление чертежного вида

Views ⇒ Add View ⇒ General ⇒ Full View ⇒ No Xsec ⇒ Scale ⇒ Done.

Мышью указываем место размещения вида. Задаем масштаб 1/2.

В меню Orientation нажимаем Saved Views ⇒ Front ⇒ OK.

4. Создаем второй проекционный вид

Views ⇒ Add View ⇒ Projection ⇒ Full View ⇒ Section ⇒ Done.

В меню Xsec Type задаем ⇒ Full ⇒ Total Xsec.

Размещаем вид справа от главного. Из меню Xsec Names выберем имя созданного нами разреза. Щелкнем на главном виде для размещения условного обозначения разреза.

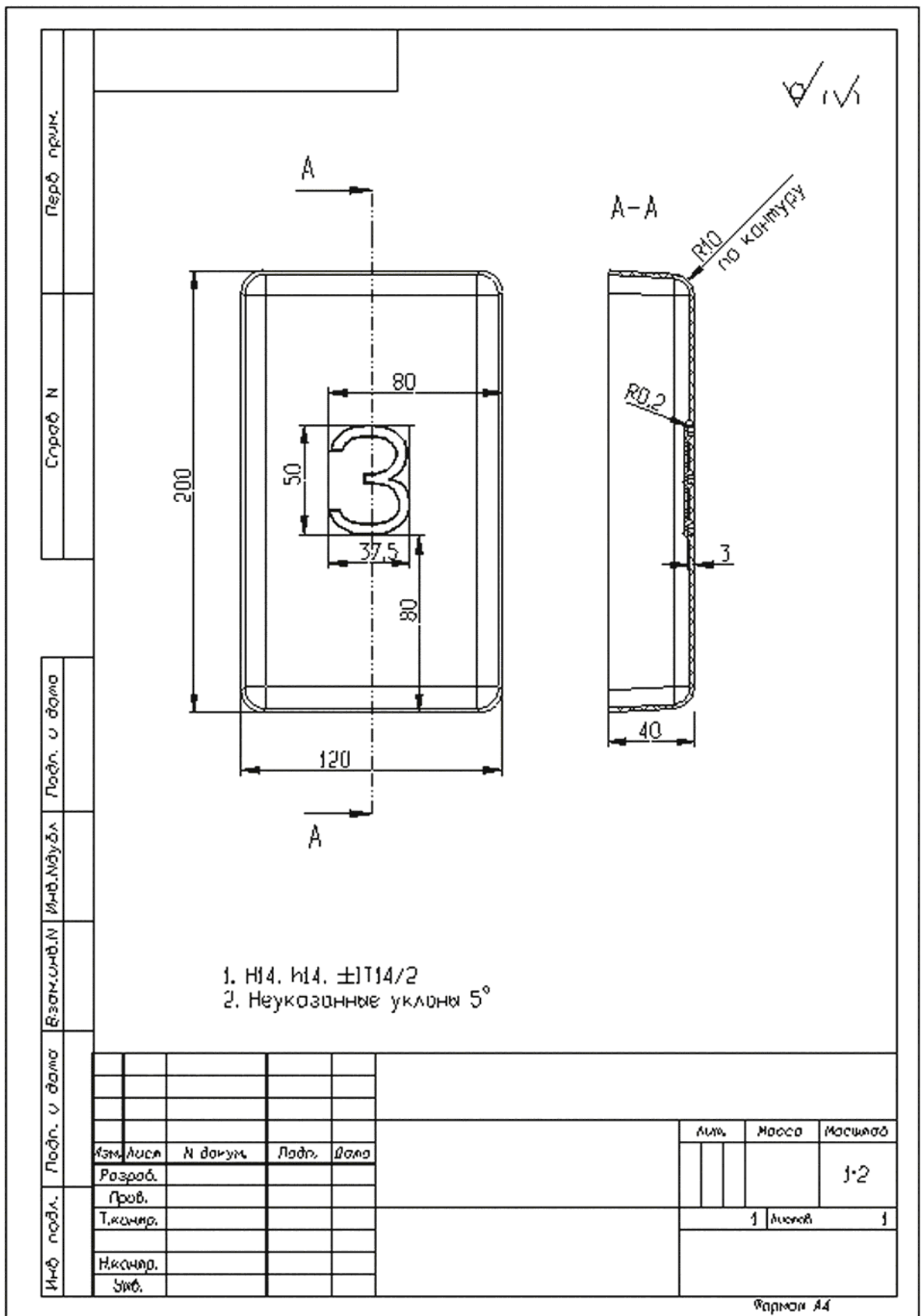


Рис. 7.9. Окончательный вид чертежа

### 5. Настроим отображение видов

Views ⇒ Disp Mode ⇒ View Disp ⇒ Выбираем оба созданных вида ⇒ Done sel ⇒ No Hiden ⇒ Tan Default ⇒ Hide Sceleton ⇒ Drawing Color ⇒ Done.

### 6. Настройка штриховки.

Выбираем штриховку на виде. Нажав в области штриховки правой кнопкой, в появившемся меню выберем Properties.

Настроим через меню Mod Xhatch параметры штриховки

Spacing ⇒ Value ⇒ 2 mm,

Angle ⇒ 45 °,

Add line ⇒ 135°,

Enter Offset Value ⇒ 0 mm,

Enter Spacing Value ⇒ 2 mm,

Modify Line Style ⇒ Apply ⇒ Close,

В меню Mod Xhatch нажимаем Done.

7. Views ⇒ Show and Erase (рис. 7.11) ⇒ Закладка Show ⇒ Кликнем на кнопке с изображением размера и оси ⇒ Show All ⇒ Асцепт ⇒ Убираем лишние размеры, кликнув на них левой кнопкой ⇒ Close .

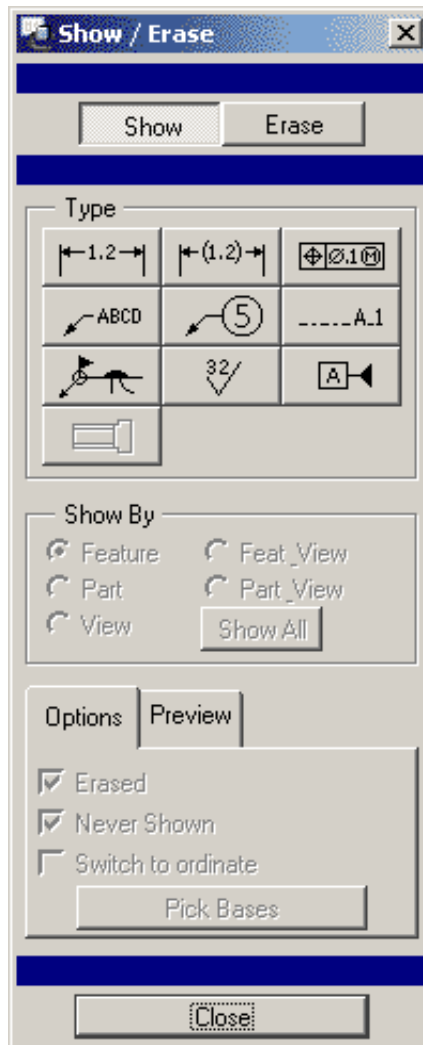


Рис. 7.10. Меню Show / Erase

8. Поменяем один из размеров, добавив надпись «по контуру».

Выбираем размер и, удерживая правую кнопку, выбираем в появившемся меню Properties (рис. 7.12).

В появившемся окне (рис. 7.13) выбираем закладку Dimension Text и вводим в окошко под размером необходимую надпись ⇒ ОК.

9. На главном виде создадим размер, обозначающий ширину символа.

В рабочем меню выберем Insert ⇒ Dimension ⇒ New Refs ⇒ On Entry.

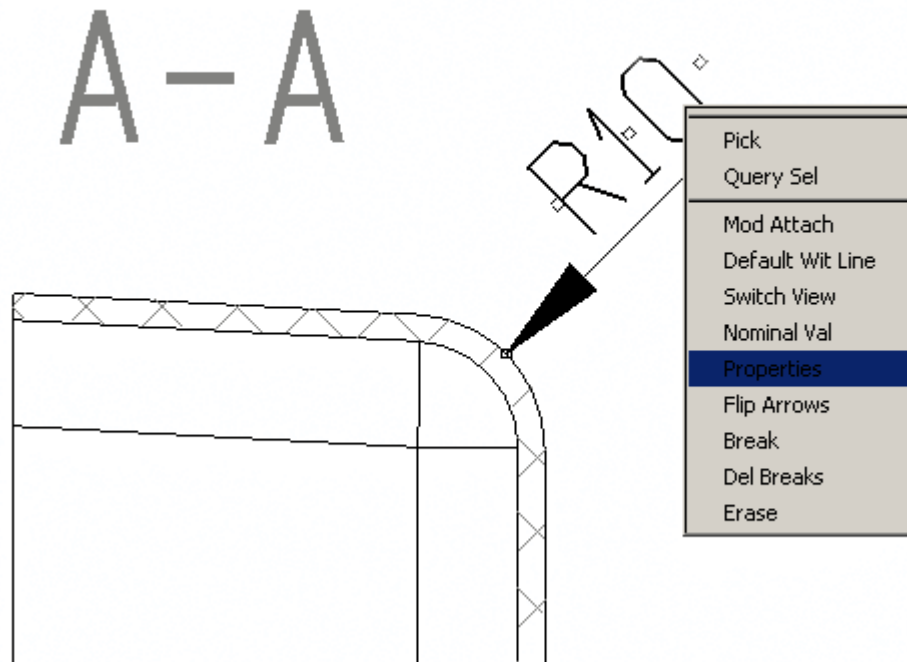


Рис. 7.11. Изменение параметров размера

Выбираем крайние грани символа и указываем мышью место расположения размера.

10. Вставим примечание

Insert ⇒ Note ⇒ Указываем место размещения ⇒ Вводим текст ⇒ ✓ ⇒ следующую строку ⇒ ОК ⇒ ОК.

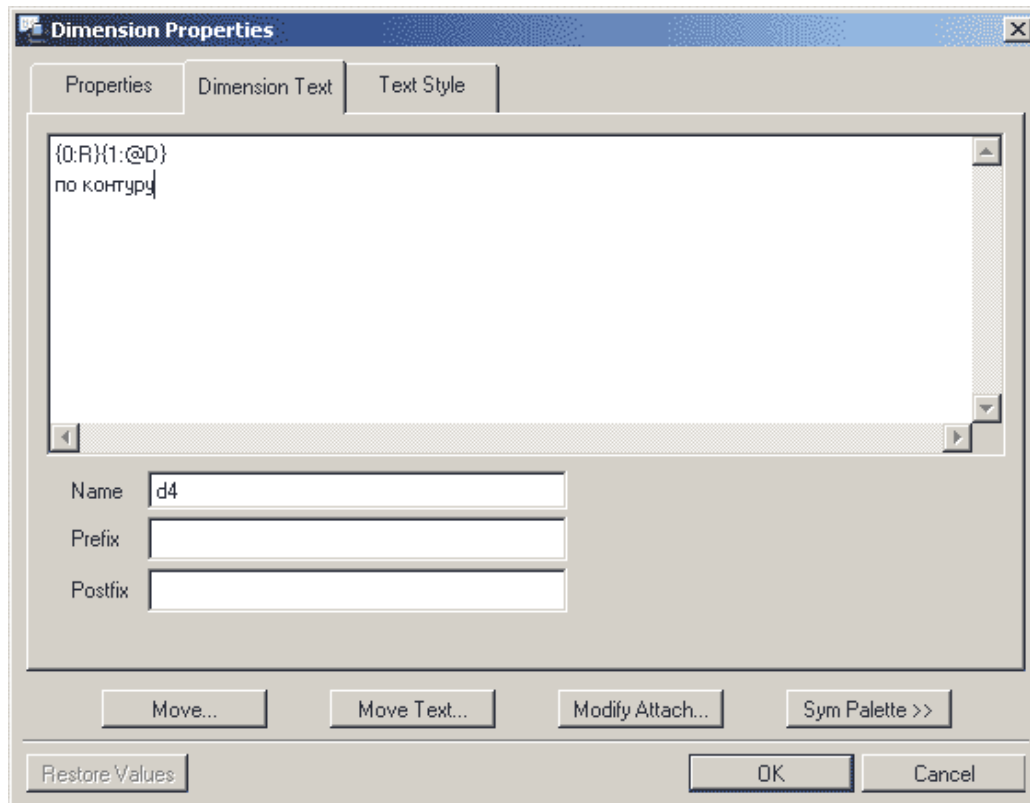


Рис. 7.12. Настройка параметров размера

На этом построение чертежа закончено (рис. 7.9). Аналогично строится чертеж и для прочих составляющих данного проекта.

### 7.3. Создание формующих частей пресс-формы

#### 1. Создаем файл

File ⇒ New ⇒ Manufacturing ⇒ Name ⇒ Вводим «Detal».

Задаем тип создаваемого проекта (проектирование пресс-форм) Sub Type ⇒ Mold Cavity ⇒ OK.

#### 2. Добавляем в сборку модель детали

Mold Model ⇒ Assembly ⇒ Ref Model ⇒ Выбираем созданную нами деталь Detal.prt ⇒ Open. Система автоматически создает ссылочную модель. В поле Reference Model Name зададим имя DETAL\_REF ⇒ OK.

3. Создадим координатную систему, к которой система привяжет создаваемую заготовку.

Место расположения этой системы не играет никакой роли, главное, чтобы ось Z была направлена параллельно линии разъема.

В верхнем меню выберем Insert ⇒ Datum ⇒ Coordinate System.

CSys Option ⇒ 3 Planes ⇒ Done ⇒ Выбираем плоскости Right, Top, Front ⇒ Задаем для появившихся стрелок соответствующие оси.

4. Создадим заготовку из которой далее путем разделения получим две полуматрицы

Mold model ⇒ Create ⇒ Workpiece ⇒ Automatic.

Откроется соответствующее меню (рис. 7.13). На запрос системы Mold



Origin укажем созданную систему координат.

Размеры зададим в соответствии с табл 7.1.

5. Создадим линию разреза

Feature ⇒ Cavity Assem ⇒ Silhouette ⇒ Выбираем плоскость перпендикулярную линии разреза ⇒ Задаем направление в сторону детали ⇒ OK ⇒ OK.

6. Создадим плоскость разреза

Parting Surf ⇒ Create ⇒ Вводим имя плоскости ⇒ OK ⇒ Add ⇒ Skirt ⇒ Done ⇒ Выбираем плоскость перпендикулярную линии разреза ⇒ Задаем направление в сторону детали ⇒ В рабочем поле выбираем созданную нами линию разреза ⇒ OK.

7. Разделим заготовку на два формирующих объема по созданной поверхности разреза

Mold Volume ⇒ Split ⇒ Two volumes, All Workpiece ⇒ Done ⇒ Выбираем поверхность разреза ⇒ Задаем имена для формирующих частей.

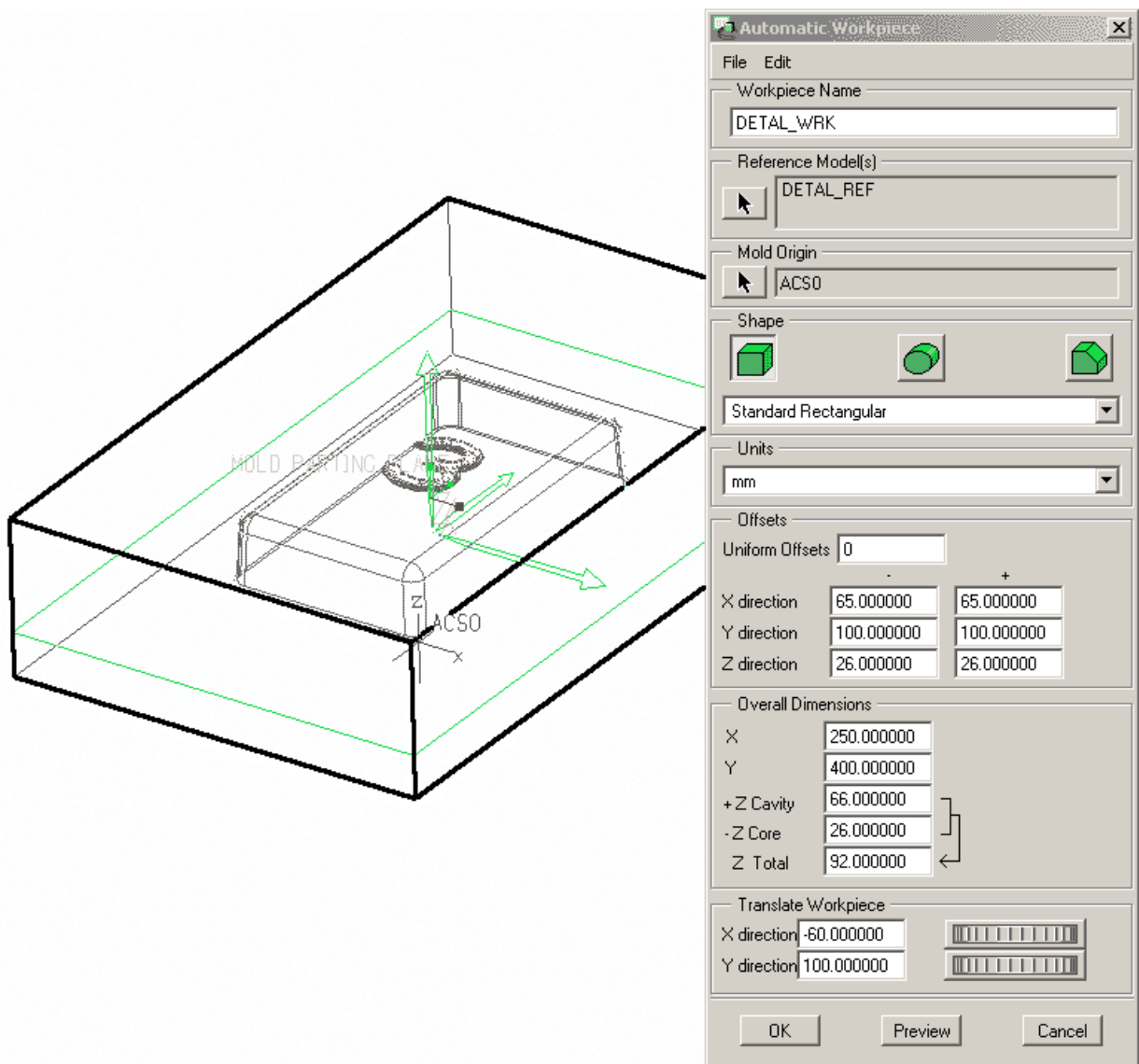


Рис. 7.13. Меню автоматического создания заготовки

## Параметры заготовки

	–	+
Xdirection	65.000000	65.000000
Ydirection	100.000000	100.000000
Zdirection	26.000000	26.000000

8. Для того, чтобы созданные объемы стали доступны для редактирования, следует создать на их основе отдельные детали.

Mold Comp ⇒ Extract ⇒ All ⇒ Ok (рис. 7.14).

На этом разделение на формующие объемы закончено.

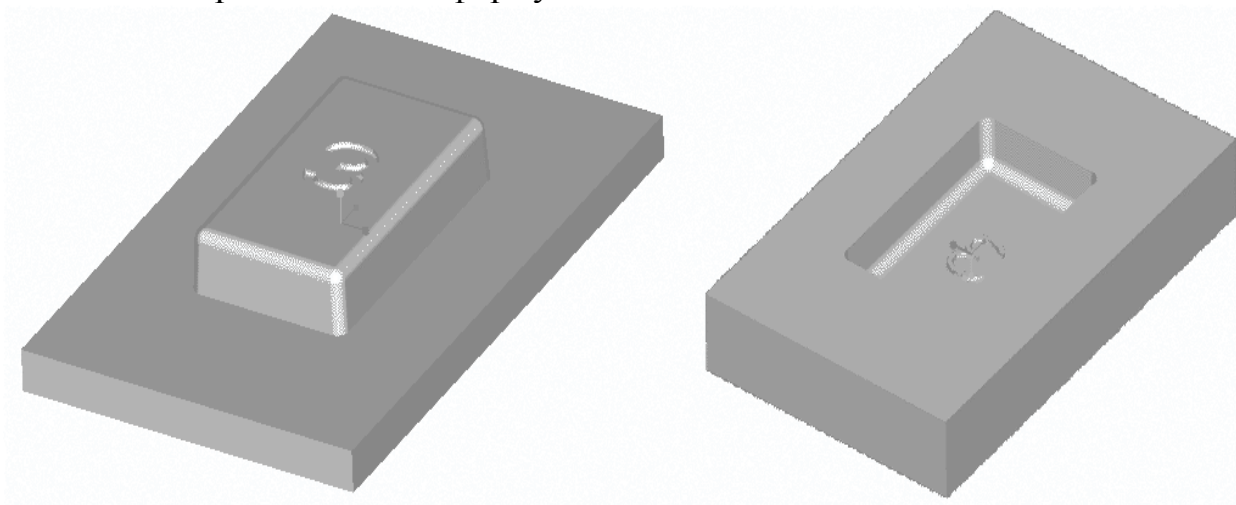


Рис. 7.14. Созданные формующие части пресс-формы

9. Далее используя либо стандартные функции модуля Mold, либо редактируя матрицу и пуансон отдельно, создадим каналы охлаждения (Water Line), литники (Runners). Следующими действиями должны стать компоновка пакета пресс-формы.

#### 7.4. Составление программы для станка с ЧПУ на деталь пуансон

##### 1. Создаем файл

File ⇒ New ⇒ Manufacturing ⇒ NC Assembly ⇒ Name ⇒ Вводим «NC\_Mold».

##### 2. Через меню Manufacture задаем

Mfg Mdl ⇒ Assembly ⇒ Ref Model ⇒ Выбираем деталь Puanson.

3. Mfg Mdl ⇒ Create ⇒ Workpiece ⇒ Задаем имя «ZG» ⇒ Solid ⇒ Protru-

sion ⇒ Extrude ⇒ Both side ⇒ Done,

Setup Sk Plane ⇒ Plane ⇒ Top ⇒ (Flip) ⇒ OK,

Sket view ⇒ Top ⇒ (Front, Right),

References ⇒ Close.

Для создания геометрии выбираем Sketch ⇒ Edge ⇒ Offset ⇒ Chain ⇒

выбираем в качестве ссылок грани детали и задаем смещение 5 мм ⇒ ✓.

Для задания глубины выдавливания выбираем

Two Side Blind ⇒ 70 мм в тело детали и 5 мм в другую сторону.

4. Теперь следует обозначить для системы материал, который следует удалить на операции чернового фрезерования. Для этого выбираем Mfg setup ⇒ Mfg geometry ⇒ Mill volume ⇒ Create ⇒ Sketch.

5. Система запросит имя создаваемого объема фрезерования (mill volume). Построение фрезеруемого объема аналогично построению заготовки, но с тем отличием, что в качестве опорной геометрии будет служить геометрия заготовки

Sketch ⇒ Edge ⇒ Use ⇒ Chain ⇒ мышью выбираем в качестве ссылок грани заготовки ⇒ .

Для задания глубины выдавливания выбираем Up to surface и выбираем верхнюю плоскость заготовки. Построенный объем целиком повторяет геометрию заготовки.

6. Теперь выберем Mfg setup ⇒ Mfg geometry ⇒ Mill volume ⇒ Modify Vol для внесения изменений в созданный объем. В появившемся окне выберем созданный нами фрезеруемый объем.

В открывшемся меню Create vol выбираем Trim (обрезка) и на запрос системы о том, какая деталь будет ссылочной для обрезки выберем нашу ссылочную Ref model.

7. После обрезки фрезеруемого объема следует заставить его перекрыть заготовку для того, чтобы качественно обработать грани. Выбираем в меню Create vol ⇒ offset ⇒ done. Выбираем боковые грани фрезеруемого объема. Когда выбор окончен, нажимаем Done sel для подтверждения выбора.

В командной строке задаем величину смещения стенок (как правило, до ½ диаметра фрезы). Фрезеруемый объем готов.

8. Создадим систему координат, в которой будет вестись обработка

Insert ⇒ Datum ⇒ Coordinate System ⇒ 3 Planes.

Выбираем две сопрягающихся боковых и нижнюю грани заготовки. Направление осей координат задаем так, чтобы ось Z была направлена вверх.

9. Создаем новую технологическую операцию. Выбираем в меню Manufacturing опцию Machining ⇒ Operation. Появляется окно, отображенное на рис. 7.15.

Начинаем заполнять параметры текущей операции.

10.1. В поле Operation Name задаем имя операции.

10.2. Нажимаем кнопку справа от поля NC machine. Появляется меню для задания опций обрабатывающего станка (рис. 7.16).

10.3. Задаем название станка Machine Name.

10.4. Machine Type – mill (фрезерный станок).

10.5. Number of Axis – задаем число осей (3 axis). Для проведения эксперимента заполнять остальные опции не требуется.

10.6. Задаем ноль станка Machine Zero. Система предложит выбрать систему координат. Для проведения эксперимента местонахождение станочного нуля не играет роли, поэтому выбираем любую систему координат из присутствующих в сборке.

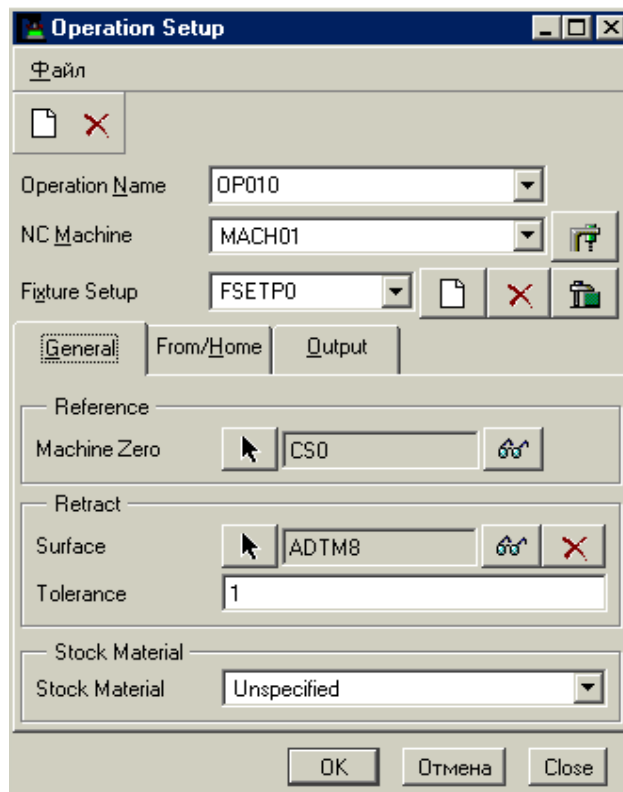


Рис. 7.15. Меню «Operation setup»

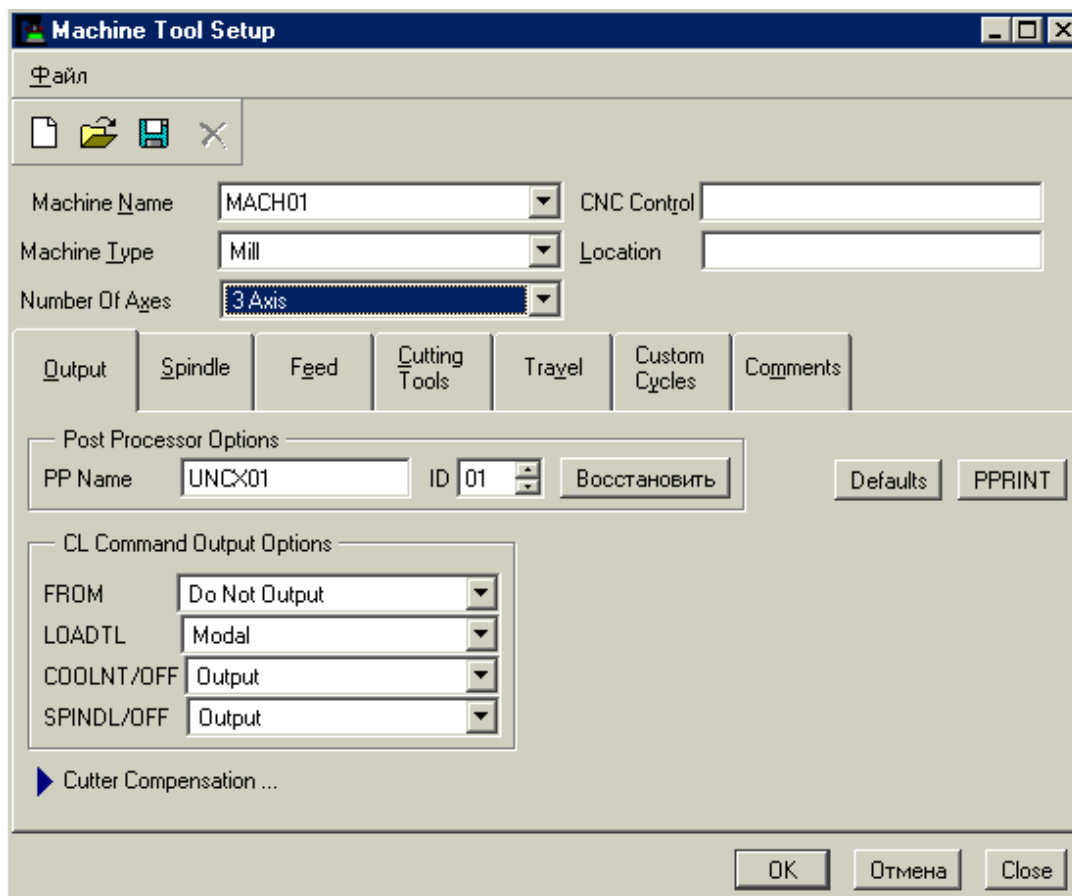


Рис. 7.16. Меню задания опций станка

10.7. Зададим последний необходимый нам параметр Retract Surface – плоскость безопасности, на которую будет отводиться инструмент на холостом ходу. Выберем опцию Along Z axis  $\Rightarrow$  70 мм для создания плоскости отстоящей от нуля системы координат на указанное расстояние. Нажмем ОК в окне «Operation setup» для подтверждения окончания задания параметров.

11. Выбираем в меню Manufacturing опцию Machining  $\Rightarrow$  NC sequence  $\Rightarrow$  New sequence  $\Rightarrow$  Volume  $\Rightarrow$  Done для создания технологического перехода выборки фрезерного объема.

12. В меню Seq setup поставим галочку возле Appr Walls (для того, чтобы настроить место врезания инструмента в заготовку) после этого нажмем Done в этом и в следующем окне.

13. В меню Tools Setup (рис. 7.17) создадим три инструмента:

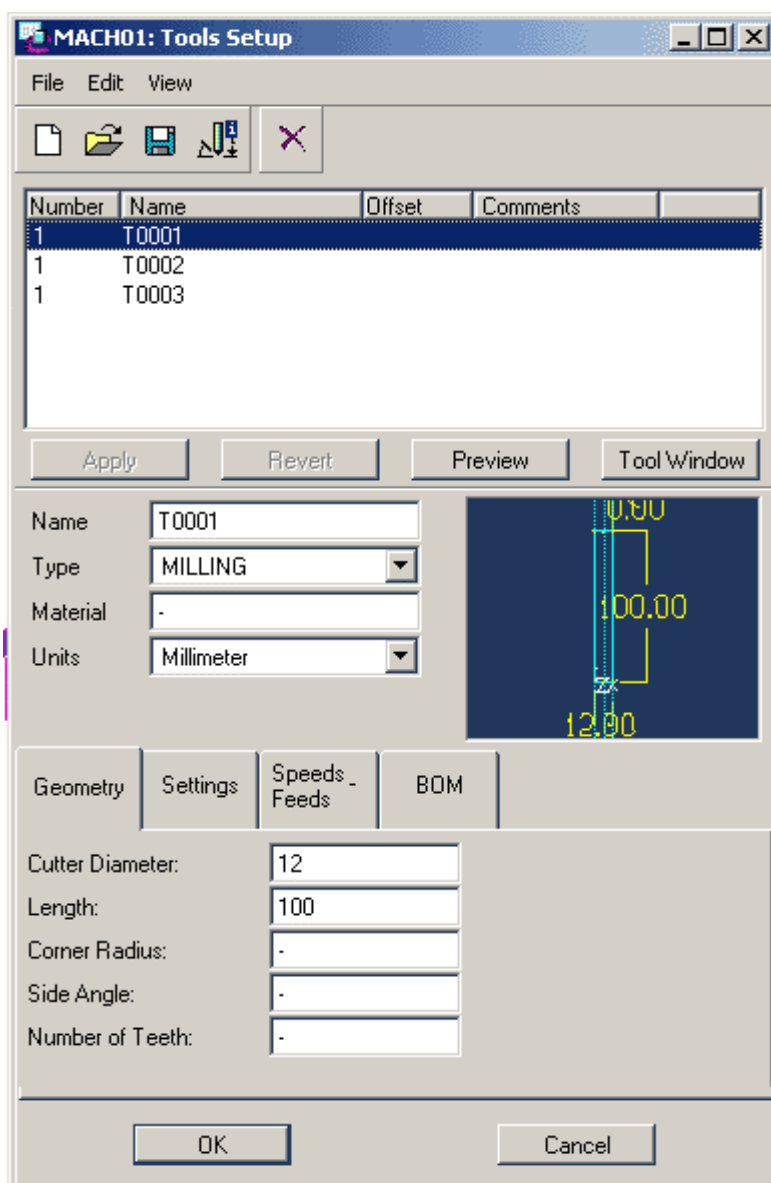


Рис. 7.17. Меню настройки режущего инструмента


- T0001 Type – milling, Cutter Diameter – 12, Length – 100 мм;
- T0002 Type – milling, Cutter Diameter – 14, Corner Radius – 7 мм, Length – 100 мм;
- T0003 Type – milling, Cutter Diameter – 3, Corner Radius – 1,5 мм, Length – 80 мм;

Для первой операции выберем инструмент T0001.

14. Далее по очереди задаем в командной строке параметры: Step\_depth – глубина резания, Step\_over – ширина резания, Cut\_feed – подача, Spindle\_speed – число оборотов шпинделя, Clear\_dist – безопасная дистанция на которой при подходе к детали выключается ускоренное перемещение и включается рабочая подача.

15. В меню Define vol выбираем sel vol и выбираем созданный нами фрезеруемый объем. Далее выбираем поверхности на заготовке, которые являются для фрезы свободными и она через них может врезаться. По умолчанию такой поверхностью является только верхняя, что будет вынуждать инструмент работать по оси. Создание перехода закончено.

16. Теперь зададим тип стратегии для этого, нажав на панели инструмен-

тов кнопку , получим доступ к меню задания дополнительных параметров операции (рис. 7.18).

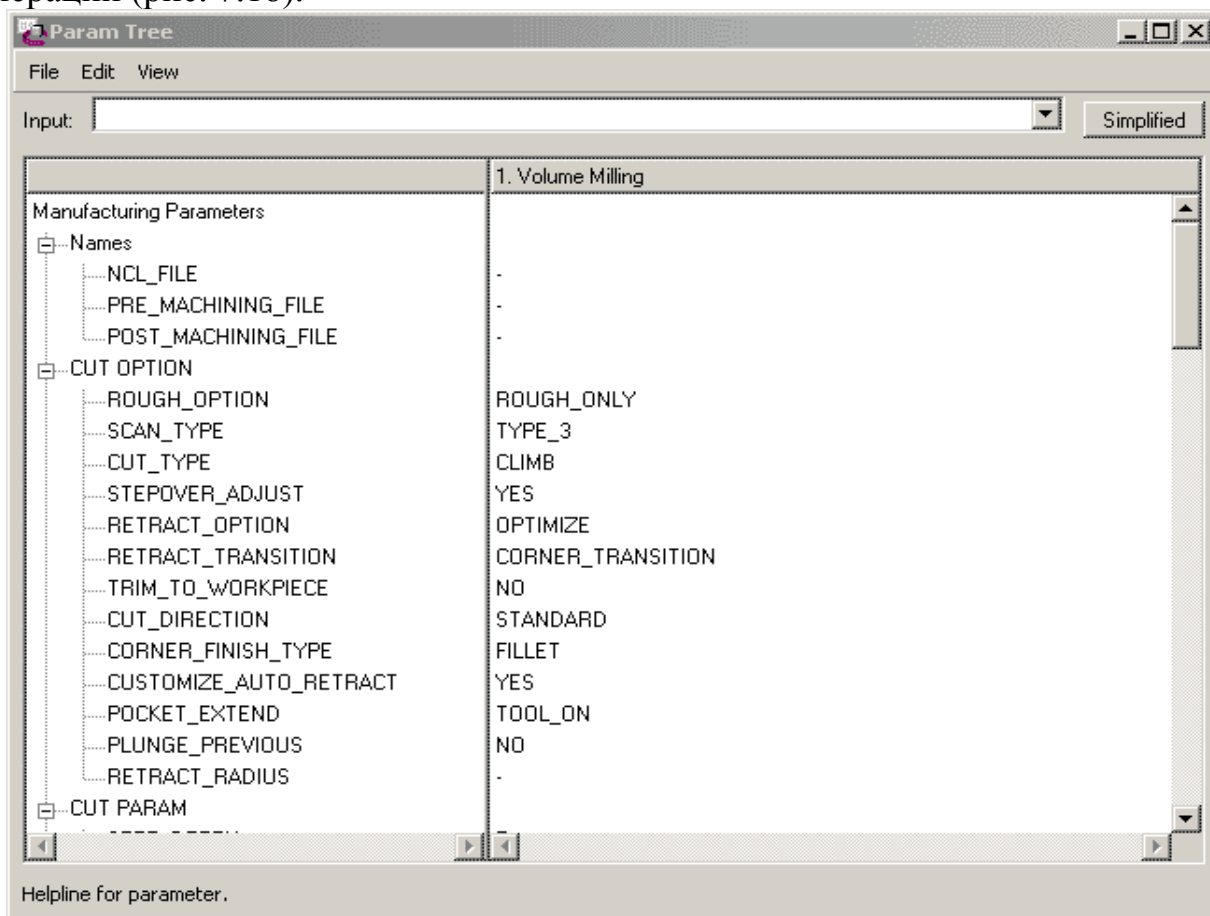


Рис. 7.18. Меню для задания дополнительных параметров операции

17. Нажав в окне Param tree кнопку Simplified/Advanced (рис. 7.19), получим доступ к сокращенным/расширенным настройкам технологического перехода. Изменяя опцию Scan Type, зададим необходимый тип стратегии обработки (TYPE\_SPIRAL). Rough Option зададим обработку с финишным проходом стенок (ROUGH\_&\_PROF). Зададим припуск на чистовую операцию Rough Stock Allow 0,6 мм. Закроем окно, нажав на крестик в правом верхнем углу окна.

18. Через опцию Play path можно просмотреть сгенерированную траекторию и запустить симулятор обработки (рис. 7.19). Через меню Seq info можно сгенерировать отчет, включающий все параметры данной операции: сколько времени ведется обработка длину холостых и рабочих ходов, т.е. полную технологическую карту. Через опцию Customize можно проделать тонкую настройку траекторий РИ. Через меню Seq setup можно переопределить некоторые параметры данного технологического перехода.

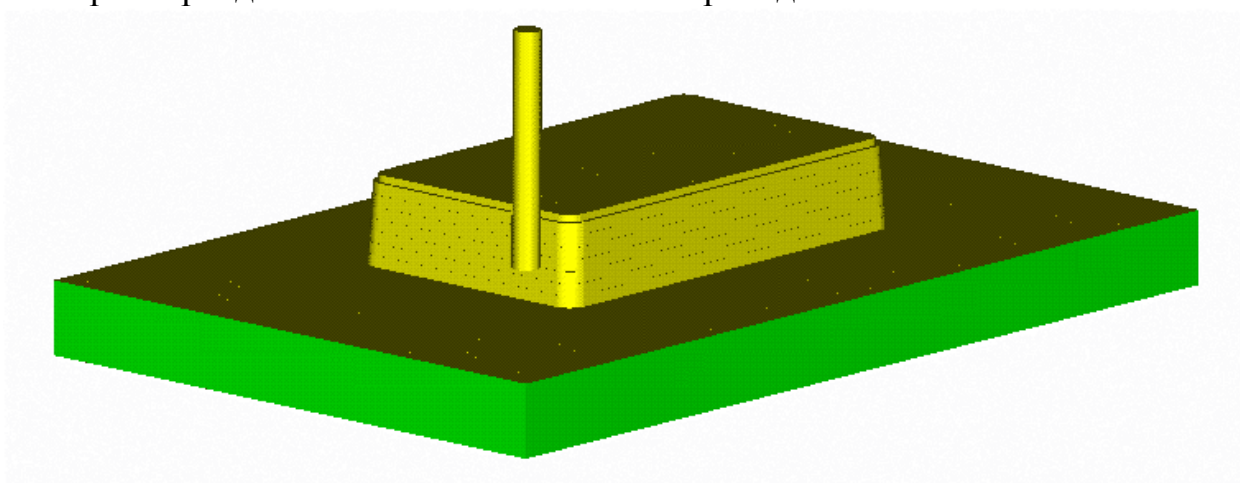


Рис. 7.19. Визуализация обработки

19. Нажав на кнопку Don Seq, закончим работу с текущим переходом.

20. Выбираем в меню Manufacturing опцию Machining ⇒ NC sequence ⇒ New sequence ⇒ Surface Mill ⇒ Done для создания технологического перехода выборки фрезерного объема.

21. Поставим галочку напротив опции Tool для задания нового инструмента для технологического перехода и нажмем Done. Выберем инструмент T0002.

22. Выделим поверхности для обработки

Surf Pick ⇒ Model ⇒ Done.

Get Select ⇒ Pick Many ⇒ Выбираем все верхние поверхности детали ⇒ Done Select ⇒ Done ⇒ задаем сторону поверхности, которую будем обрабатывать ⇒ Ok .

23. В меню Cut Definition (рис. 7.20) настраиваем направление движения инструмента вдоль поверхностей.

24. В меню Param Setup через параметр Scallop Hgt задаем высоту макро-неровностей.

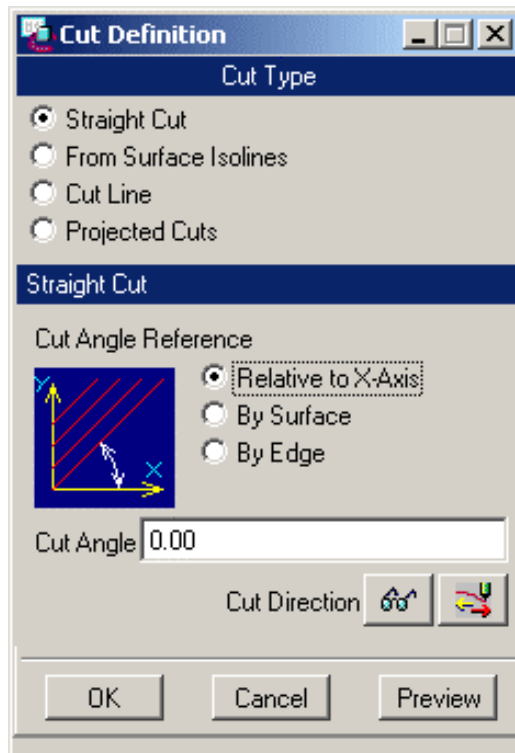


Рис. 7.20. Меню задания стратегии обработки поверхностей

25. Таким же образом обрабатываем букву, выбирать поверхности для обработки следует только относящиеся к самой букве. Инструмент следует выбрать T0003.

26. При окончательной визуализации обработки деталь будет выглядеть аналогично (рис. 7.21)

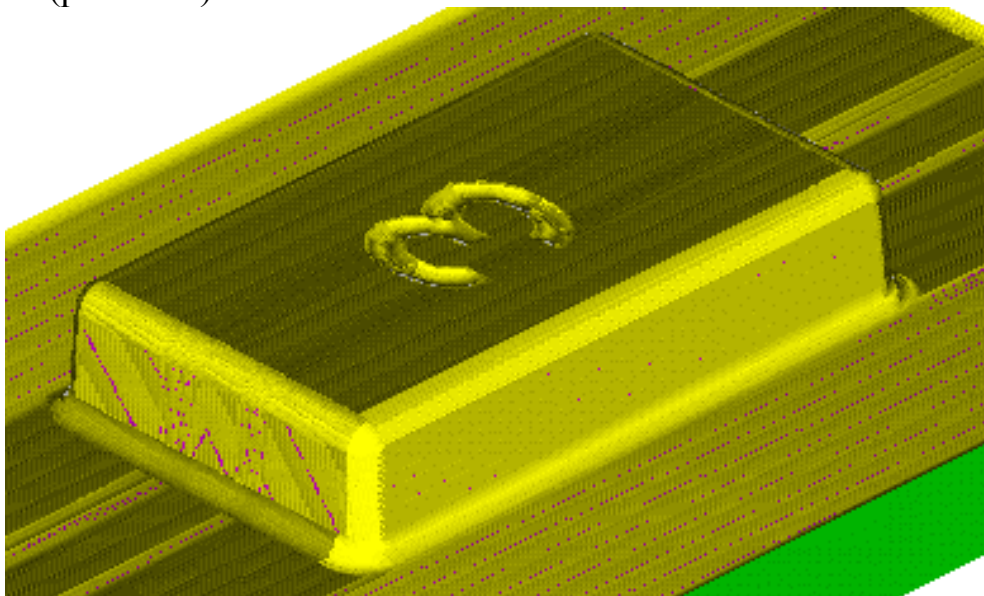


Рис. 7.21. Окончательно обработанная деталь



Подведем итоги проделанной работе. В этой главе мы рассмотрели цепочку построения электронного проекта в системе Pro/ENGINEER. Результатом выполненных построений является сквозная параметрическая математическая система моделей: детали, чертежа, формообразующих пресс-формы, программ для станков с ЧПУ. Схема связей в построенной модели отображена на рис. 7.22.

Построенный проект не зависит от внешних условий производства и может быть приспособлен под любое производство и любое оборудование путем внесения изменений в постпроцессор.

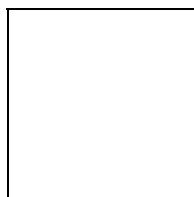


Рис. 7.22. Структурная схема проекта

Характерной особенностью данного электронного проекта является параметрическая ассоциативная связь. Изменение в любой составляющей проекта вызовет адекватные изменения во всех зависимых элементах проекта. При такой схеме функционирования системы, временные затраты на внесения изменений в проект в отличие от бумажного варианта могут быть в сотни раз меньше. Трехмерное проектирование в Pro/ENGINEER рассмотрено в [13].

## 8. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТООБОРОТОМ

Одной из самых важных задач, которые приходится решать при внедрении систем автоматизированного проектирования на предприятиях, является организация совместной работы пользователей с электронными документами, их хранения и защиты от несанкционированных изменений.

Большинство проблем, встречающихся на предприятиях при разработке новых и сопровождении выпускаемых изделий, можно решить с помощью автоматизированной системы управления информацией об изделии. В данной главе мы рассмотрим две из них: «Компас-менеджер» и «Party».

«Компас-менеджер» является удобным и приемлемым по цене средством организации работы с единой базой электронной документации на изделия, узлы и сборочные единицы в рабочих группах или конструкторских подразделениях небольшой и средней численности, а также на локальных рабочих местах.

«Компас-менеджер» можно использовать как на отдельном компьютере,

так и в локальной сети, что позволяет хранить документы проекта централизованно. Надежность хранения информации о структуре изделия обеспечивается за счет применения известной коммерческой СУБД Borland Database Engine. Система позволяет разграничить полномочия пользователей, работающих над проектом, назначив им различные права доступа к документам.

Для удобной работы с конструкторской документацией поддерживаются режимы отображения элементов изделия в виде «дерева» сборочных единиц, иерархического или линейного списка, списка входимости, а также вспомогательный режим отображения «как в спецификации» (рис. 8.1). Для каждого элемента, входящего в состав изделия, можно создавать несколько подчиненных документов. Это очень удобно в том случае, когда нужно хранить вместе, например, чертеж детали, растровую презентационную картинку и текстовый документ.

В системе «Компас-менеджер» поддерживается хранение и обработка самых разных типов документов, чертежей и фрагментов, растровых файлов, документов MS Office. Для любого элемента изделия могут храниться и редактироваться атрибуты с дополнительной информацией (дата последнего изменения, масса детали и т.п.).

«Компас-менеджер» предоставляет конструктору удобные средства поиска элементов состава изделия, копирования и переноса элементов между различными сборочными единицами, а также множество других сервисных функций, в том числе возможность генерации отчета – спецификации на изделие.

Теперь рассмотрим возможности системы PartY, которая относится к PDM системам, т.е. позволяет организовывать и вести проекты. С помощью PartY и дополнительных модулей можно:

- организовывать санкционированный доступ всех участников работы над проектом к различной информации для ее совместного использования;
- осуществлять многовариантное проектирование и сравнение вариантов по различным критериям (вес, количество деталей и др.);
- организовывать хранение вариантов, не вошедших в основной проект;
- проводить поиск узлов и деталей по различным проектам;
- осуществлять поиск документов по различным критериям;
- производить заимствование (копирование) узлов и деталей из других проектов;

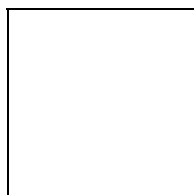


Рис. 8.1. Рабочее окно системы «Компас-менеджер»

- осуществлять работу с исполнениями изделий;
- проводить полуавтоматическую нумерацию (обозначение) узлов, дета-

- лей и документов
- просматривать документы, чертежи и трехмерные модели различных графических форматов;
  - проводить визуальную верификацию документов в электронном виде;
  - организовывать параллельное проектирование;
  - контролировать неповторяемость обозначений изделий (документов);
  - проводить проверку комплектности выпущенной документации;
  - вести учет изменений заимствованных деталей;
  - контролировать номенклатуру применяемых материалов и сортамента;
  - осуществлять работу со справочниками по номенклатуре покупных изделий;
  - планировать и контролировать сроки выпуска рабочей документации;
  - вести аудит прохождения документации по подразделениям (ОГТ, ОГМет, ОГМетр);
  - вести учет поступления рабочей документации в архив, контролировать выдачу, возврат и хранение бумажной документации;

– генерировать на любой стадии проекта различные отчеты по результатам проектирования (отчет о загруженности конструкторов, (бригад, отделов), отчет о количестве выпущенной документации конструктором (бригадой, отделом) и т. д.);

– формировать спецификации и различные ведомости (материальная ведомость, весовая ведомость, ведомость покупных изделий, ведомость заимствованных деталей);

– создавать список рассылки копий документации, вести историю создания изделия;

– запускать приложения для создания и редактирования документов прямо из системы.

Если PartY (рис. 8.2) будет задействована на производстве, то с ее помощью можно планировать и контролировать сроки разработки документации на детали, узлы и изделия, а также формировать различные отчеты по результатам работ.

Если на предприятии есть несколько территориально распределенных конструкторских отделов, то с помощью PartY можно организовать отлаженное взаимодействие удаленных подразделений при работе над несколькими проектами.

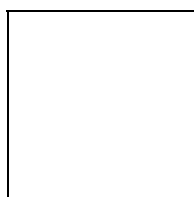


Рис. 8.2. Рабочее окно системы «PartY»

Рассмотрим, что же дает система каждому участнику процесса подготовки производства.

**Конструктор:** быстрый поиск аналогичных узлов и деталей по всем проектам:

- поиск документов на узлы, детали и изделия;
- контроль комплектности подготавливаемой документации;
- заимствования изделий из других проектов;
- ведение многовариантного проектирования;
- получение предварительных и окончательных спецификаций и ведомостей.

**Ведущий инженер:**

- быстрый поиск аналогичных узлов и деталей по всем проектам;
- поиск документов на узлы, детали и изделия;
- контроль комплектности подготавливаемой документации по различным узлам;
- контроль использования заимствованных изделий;
- ведение многовариантного проектирования.

**Начальник конструкторской бригады:**

- планирование выполнения работ;
- контроль сроков выполнения работ;
- контроль комплектности документации;
- контроль загрузки конструкторов;
- контроль внесения изменений;
- контроль многовариантного проектирования;
- контроль номенклатуры покупных изделий, номенклатуры материалов и ассортимента;
- контроль заказов на изготовление.

**Начальник конструкторского отдела:**

- оценка и контроль загрузки конструкторских бригад;
- контроль многовариантного проектирования;
- контроль номенклатуры покупных изделий, номенклатуры материалов и сортамента;
- контроль исполнения заказов на изготовление.

**Ведущий конструктор:**

- контроль сроков выполнения работ;
- контроль многовариантного проектирования;
- планирование и контроль исполнения заказов на изготовление.

**Главный конструктор:**

- контроль хода выполнения всех работ по проекту.

**Директор:**

- общий контроль хода выполнения всех работ по различным проектам или

разделам проектов предприятия или корпорации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глинских А. С. Мировой рынок CAD/CAM/CAE-систем/ Компьютер-Информ. # 01 (117), [http://www.ci.ru/inform01\\_02/fl1.htm](http://www.ci.ru/inform01_02/fl1.htm).– 2002.
2. Голдовский П. В. Критический взгляд со стороны CATIA на инженерный анализ//CAD/CAM/CAE Observer.– №4.– 2001.
3. Голдовский П. В. Продолжение обсуждения минимальных конфигураций систем Pro/ENGINEER-2001, CATIA V5R7 и Unigraphics V18// – CAD/CAM/CAE Observer.– №1.– 2002.
4. Jürgen Leopold. Werkzeuge für die Hochgeschwindigkeits-bearbeitung (Medienkombination). – München; Wien: Hanser, 2001.
5. Щуров И.А. Численные методы расчета в металлообработке: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск: ЮУрГУ, 1998.
6. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1990.
7. Компьютерный обучающий лабораторно-лекционный стенд “Станок с ЧПУ”: Учебное пособие / П.Г. Мазеин, А.В. Кастерин, Е.А. Рыжов, С.В. Шереметьев. – Челябинск: ЧГТУ, 1996.– Ч.1.
8. Мазеин П.Г. Оборудование автоматизированных производств: Учебное пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 2000.
9. Троицкий Д.И. Курс «Информационные технологии в машиностроении», <http://home.uic.tula.ru/>.–2000.
10. Технология машиностроения.– Т.2 Производство машин: Учебник для вузов/ В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев и др. – М.: МГТУ, 1999.
11. Компьютерный обучающий лабораторно-лекционный стенд “Станок с ЧПУ”: Учебное пособие / П.Г. Мазеин, В.С. Столяров, А.Н. Серебряков, С.В. Шереметьев – Челябинск: ЮУрГУ, 1998.– Ч.2.
12. Сверлильно-фрезерный станок с компьютерным управлением: Учебное пособие / П.Г. Мазеин, В.С. Столяров, А.Н. Серебряков и др. – Челябинск: ЮУрГУ, 2001.
13. Степанов А.И. Pro/ENGINEER: Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
<u>1. Классификация, структура и функциональные возможности CAD/CAM систем</u> .....	4
1.1 История развития мирового рынка CAD/CAM/CAE систем .....	5
1.2. Общая классификация CAD/CAM/CAE систем .....	6
1.2.1. Системы нижнего уровня .....	9
1.2.2. Системы среднего уровня .....	10
1.1.3. Системы верхнего уровня .....	12
1.3. Некоторые термины автоматизированного проектирования .....	14
1.4. Параметры выбора CAD/CAM системы для предприятия .....	17
2. Принципы функционирования современных САПР .....	20
3 Примеры CAD/CAM/CAE пакетов и их назначение .....	23
3.1. CAD системы .....	23
3.2. CAM системы .....	26
3.3 Системы автоматизированного анализа (расчета) – CAE .....	27
4. Состав и возможности современных систем высокого уровня на примере Pro/ENGINEER .....	30
5. Возможности систем САПР в области оптимизации .....	34
5.1. Анализ и оптимизация размерных цепей при комплексном автоматизированном проектировании в Pro/ENGINEER .....	35
5.2. Анализ и оптимизация размерных цепей при комплексном автоматизированном проектировании в Pro/ENGINEER .....	37
6. Разработка УП в CAD/CAM системах .....	38
6.1. Принципы разработки УП в условиях автоматизированного проектирования .....	38
6.2. Достоинства и недостатки внедрения станков с ЧПУ .....	39
6.2. Стратегии обработки .....	42
6.3. Машинные коды (G - коды) и АРТ стандарт .....	47
6.4. Последовательность принятия решений при разработке УП в САМ системах .....	49
6.5. Постпроцессирование .....	50
6.6. Перенос УП в УЧПУ станка .....	51
6.7. Сплайн - интерполяция .....	52
7. Пример выполнения сквозного параметрического проекта в Pro/E .....	54
7.1 Создание математической модели детали .....	54
7.2 Создание чертежа детали .....	60
7.3 Создание формующих частей пресс-формы .....	64
7.4 Составление программы для станка с ЧПУ на деталь пуансон .....	66
8. Системы управления документооборотом .....	73
Литература .....	77