МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология машиностроения»

УТВЕРЖДАЮ

Д.т.н., профессор
(уч. степень, звание)
Мясников В.К.
(Ф.И.О. подпись) 15.03.03

ЗАДАНИЕ № 33
НА ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1. Выдано студенту(ке) Тарасенко Сергею Владимировичу

2. Тема проекта (работы) Компьютерно-интегрированная подготовка технологии изготовления детали «корпус компрессора» в среде CAD/CAM Cimatron

утверждена приказом по университету от №

3. Исходные данные к проекту: 1. Методические указания по дипломному проектированию.
2. СТП ЯГТУ 701-99. Требования к оформлению текстовой учебной документации.
3. СТП ЯГТУ 701-99. Требования к оформлению графической части.
4. Учебные пособия по созданию моделей деталей и сборочных единиц в CAD/CAM Cimatron.
5. Научные публикации в периодической печати.

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)
1. Разработка модели детали «корпус» и деталей приспособления в CAD/CAM Cimatron
2. Создание сборочной модели приспособления для механообработки
3. Пример использования CAM-модуля Cimatron для обработки деталей на станке с ЧПУ
4. Разработка параметрических моделей детали и оснастки
5. Формирование структуры технологического процесса
6. Размерные расчеты в системе KON7

Реферат

171с., 136 рис., 17 табл., 57 источников, 18 прил.

КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ, СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА, ПРЕДПРИЯТИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Объектом исследования является технологическая подготовка производства на базе системы Cimatron it 12 и возможность её применения на ярославских предприятиях.

Цель работы – практическое использование знаний, полученных по специализации «Компьютерно-интегрированное машиностроение» для технологической подготовки производства на базе MCAD Cimatron.

В процессе работы была предпринята попытка компьютерно-интегрированной подготовки производства для детали номенклатуры ярославского завода АО «Холодмаш».

В результате проведённых работ подготовлена числовая модель детали,технологической оснастки, разработана управляющая программа в модуле CAM,выполнена её симуляция с целью проверки.

Эффективность компьютерно-интегрированного проектирования на предприятии определяется большей её производительностью по сравнению с ручным проектированием.

Система автоматизированной подготовки производства Cimatron может применяться на любом промышленном предприятии, где имеет место обработка на станках с ЧПУ.

Введение

В настоящее время машиностроение России находится в сложном положении. Часто под вопросом само существование даже крупнейших всемирно известных предприятий. Тривиальное объяснение причины известно: низкая эффективность производства и, как следствие, низкая конкурентоспособность отечественной продукции по сравнению с западной.

В чём причина успеха промышленности запада? Анализ показывает, что основой высокой эффективности западных предприятий является оснащение их современными информационными технологиями.

Как известно, одной из основных задач инженера является проектирование изделий или технологических процессов их изготовления. Отражая сложившуюся практику последовательной реализации процессов конструирования и разработки технологии изготовления, системы автоматизированного проектирования (САПР) в машиностроении принято делить на два основных вида [26]:

- САПР конструирования изделий;
- САПР технологии их изготовления.

САПР конструирования изделий, которую на западе называют CAD (Computer Aided Design), выполняет объёмное и плоское геометрическое моделирование, инженерный анализ, оценку проектных решений полученных чертежей.

Подготовленное описание технологических процессов вводится в систему CAM (Computer Aided Manufacturing). Задачей CAM является организация функционирования, например, гибкой производственной системы на основе разработки кадров управляющей программы для оборудования с ЧПУ.

Наиболее яркой особенностью CAD/CAM – систем является так называемое твёрдотельное моделирование изделия исключительно на экране компьютера, просмотр процесса обработки деталей и передача сгенерированных управляющих программ по компьютерным сетям на оборудование с ЧПУ. При этом традиционный чертёж и бумажная документация становятся побочным продуктом проектирования, сроки подготовки производства сокращаются, повышается качество и конкурентоспособность продукции.

MCAD Cimatron – одна из немногих, сравнительно недорогих западных систем, объединяющих в себе CAD и CAM модули. Она предоставляет достаточно полный набор средств для конструирования, инженерного анализа, черчения и разработки управляющих программ для различных станков с ЧПУ. Cimatron широко применятся такими западными фирмами, как Моторола, Фольксваген, ЭПСОН и др.

Акционерное общество «ИФО» («Инструмент. Формы. Оснастка.») – первым в Ярославле начало применять CAD/CAM систему Cimatron для технологической подготовки производства. На сегодняшний день предприятие, используя оборудование с ЧПУ, имеет возможность быстро реагировать на изменение спроса на изготавливаемую продукцию и успешно борется за своих заказчиков.

Опыт проектирования в MCAD Cimatron на ОАО «ИФО» используется в данной работе, как отправная точка для обоснования перехода на компьютерно-интегрированное производство завода АО «Холодмаш».

Целью данного проекта является практическое использование знаний, полученных по специальности «Компьютерно-интегрированное машиностроение» для технологической подготовки производства на базе MCAD-систем.

В работе рассмотрено применение MCAD Cimatron для компьютерно-интегрированного решения конструкторских и технологических задач:

- создание 3D модели детали «корпус компрессора»;
- подготовка необходимых твёрдотельных моделей деталей для изготовления сборок технологической оснастки;
- создание экранной сборки узла с целью проверки его собираемости вне цеха;

- разработка на основе численной модели детали управляющей программы в модуле CAM Cimatron для обработки на станке с ЧПУ.

Данная работа была представлена на:

- 56 научной конференции ЯГТУ в Ярославле;
- конкурсе на приз губернатора ярославской области;
- региональном конкурсе.

Работа получила положительный отзыв руководства ярославского предприятия ОАО «ИФО».

1 Исследовательская часть

1.1 Понятие о компьютерно-интегрированном машиностроении

Основными тенденциями в современном машиностроении являются увеличение рабочих параметров машин и конструкций, снижение их материало- и энергоемкости. При этом существенное значение имеют сроки разработок, их качество и стоимость. Чтобы соответствовать требованиям сегодняшнего дня, процесс автоматизации проектирования необходимо рассматривать в комплексе, как систему взаимосвязанных конструкторских, расчетных и технологических программных инструментов на всех стадиях проекта.

Следует отметить, что время не связанных друг с другом программ и систем, автоматизирующих отдельные звенья технологической цепи производства, как это было на заре компьютерной эры, прошло. Теперь пользователь-профессионал требует от разработчиков прикладных программных продуктов законченные решения, обеспечивающие сквозную технологию в рамках единой интегрированной системы автоматизированного проектирования. Такой подход позволяет моделировать изделие на компьютере и выдавать в производство готовые оптимальные решения путем перебора большого числа вариантов на этапе проектирования и таким образом в несколько раз сокращать время выпуска готового изделия.

САПР технологии изготовления, которую в России принято называть автоматизированной системой технологической подготовки производства (АСТПП), формирует технологические маршруты, выбирает оборудование, выполняет разработку технологических процессов, технологической оснастки. Более узкой задачей САПР технологических процессов (САПР ТП), а на Западе – CAPP (Computer Automated Process Planing), является проектирование технологической документации, доводимой до рабочих мест.

Кардинальное изменение процессов конструирования и изготовления изделий на машиностроительных предприятиях Запада состоит в объединении под управлением компьютерных систем CAD, CAPP и CAM (рис. 1.1 а). Производство, построенное по этому принципу получило название «компьютерно-интегрированного производства».

Программные системы, обслуживающие «сквозной», «безбумажный» процесс проектирования конструкции изделия и, с той или иной степенью подробности, технологии его изготовления принято называть CAD/CAM-системами. При этом «CAM» указывает на наличие модулей NC, и следовательно, получение на выходе системы управляющих программ для различных методов обработки. Обозначение «CAD/CAM/CAE» подчёркивает развитые возможности инженерного анализа.

Интеграция CAD и CAM модулей в одной системе позволяет специалистам разных служб на предприятии тесно и эффективно сотрудничать между собой. Так, например инженеры конструкторского бюро создают модели деталей, производят необходимые прочностные расчёты, затем компонуют сборочные единицы, проверяют возможность сборки и передают данные о моделях в технологической отдел. Инженеры-технологи для готовых моделей при помощи CAM-модулей формируют управляющие программы для станков с ЧПУ, проверяют их правильность, корректируют, отлаживают и по компьютерной сети передают на серверы станков с ЧПУ, где в последствии производится обработка спроектированных деталей.

Система CAD/CAM на информационном уровне поддерживается единой базой данных (БД), в которой хранится трёхмерная математическая модель изделия, т.е. информация о его структуре и геометрии (как результат проектирования в системе CAD), а также о технологии изготовления (система координат станка, вид и параметры режущего инструмента, траекторию его перемещения при обработке различных поверхностей, режимы резания и др.).

Современное поколение CAD/CAM посредством системы управления конструкторско-технологической документацией (PDM – Product Data Management) обеспечивает наиболее высокий уровень реализации проекта – «параллельную инженерию» - одновременную работу

исследователей, конструкторов и технологов различных подразделений через компьютерную сеть по проектированию и изготовлению изделий.

В настоящее время переход от отдельных замкнутых САПР и их частичного объединения к полной интеграции технической и организационной сфер производства является основной тенденцией развития западных предприятий. На рис. 1.1 б представлены основные задачи и организационно-технические объекты производства, реализующие концепцию компьютерно-интегрированного производства.

Многие отечественные заводы только приступают к всестороннему освоению возможностей CAD/CAM-систем, сталкиваясь с финансовыми затруднениями и нехваткой специалистов. Отрицательным моментом является необходимость ломки сложившихся традиций «ручного проектирования» и, следовательно, сопротивление со стороны административно-управленческого персонала под лозунгом: “можно найти лучшее применение имеющимся ограниченным ресурсам, чем тратить средства с туманными перспективами…”.

На сегодняшний день среди наиболее известных и распространённых CAD/CAM систем отечественного производства можно выделить такие как T-FLEX, ADEM, Компас, ГеММа. Среди импортных – Cimatron, Inventor, Pro/Engineer, Unigraphics, SolidWorks.

Рассмотрим кратко возможности и функции некоторых из этих систем.

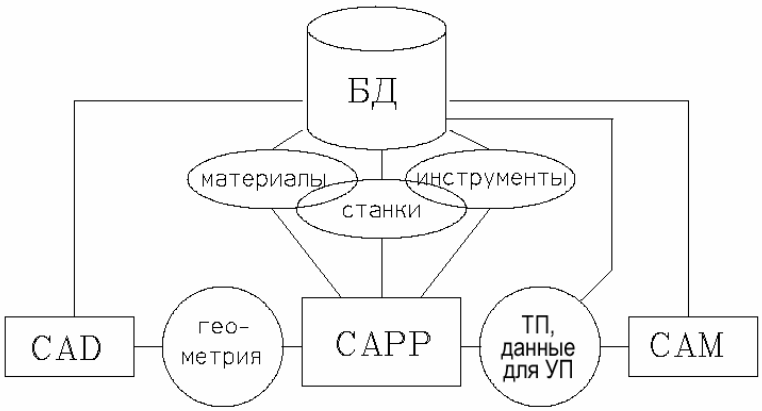


Рис. 1.1 а

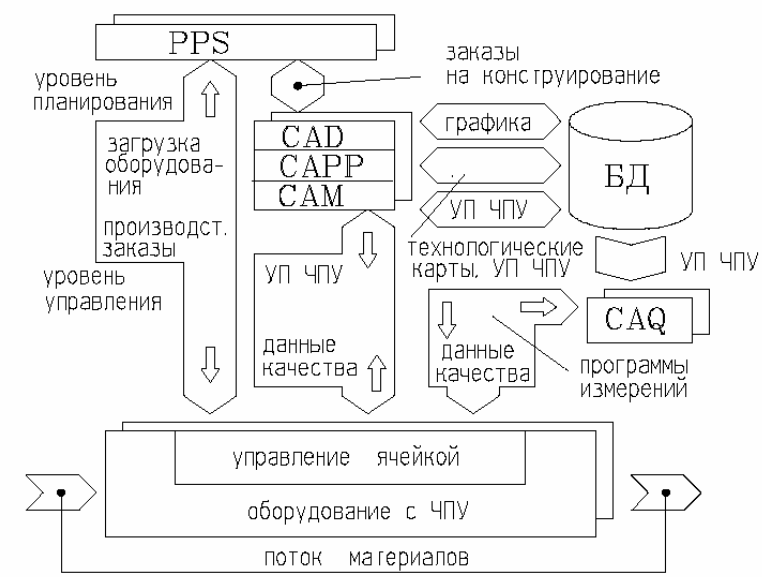


Рис.1.1 б

1.2 Отечественные САПР – T-FLEX

Фирма "Топ Системы" – одна из ведущих российских фирм разработчиков программного обеспечения для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. На протяжении своей восьмилетней истории фирма "Топ Системы" занималась и занимается разработкой и распространением программных продуктов в области САПР [7]. В настоящее время "Топ Системы" предлагает комплекс программных средств для подготовки конструкторско-технологической документации под маркой T-FLEX. Комплекс состоит из интегрированных между собой программных продуктов фирмы "Топ Системы" и ее партнеров:

T-FLEX DOCs – управление проектами и техническим документооборотом;

T-FLEX CAD 2D – параметрическое проектирование и подготовка чертежей;

T-FLEX CAD 3D – трехмерное твердотельное параметрическое моделирование;

T-FLEX / ТехноПро – автоматизация проектирования технологических процессов;

T-FLEX ЧПУ – подготовка программ для станков с ЧПУ;

T-FLEX / Штампы – проектирование оснастки штампов для листовой штамповки;

T-FLEX / Пресс-формы – проектирование оснастки пресс-форм для литья термопластов под давлением;

и еще целый ряд систем.

Интеграция продуктов осуществлена на межпрограммном уровне и не требует передачи данных через внешние форматы. Все программы – российские разработки, которые учитывают специфику российских предприятий (стандарты, технические условия, оборудование и т.д.), имеют русскоязычный интерфейс и документацию на русском языке. Техническая поддержка осуществляется непосредственно разработчиками, что позволяет быстро реагировать на пожелания пользователей. Каждая из систем может работать в комплексе, в любой комбинации или автономно. Это позволяет гибко подходить к поэтапному решению задач автоматизации производства на любом предприятии и, при необходимости, безболезненно внедрять новые системы комплекса для подготовки производства. Еще одним несомненным достоинством систем, входящих в комплекс, является их стоимость. Каждая из систем предлагается по более низкой цене, чем конкурирующие программные продукты. И это несмотря на то, что их функциональные возможности не только не уступают конкурентам, но и по многим позициям превосходят их.

Программные продукты T-FLEX используют или базируются на мировых стандартах в области проектирования, передачи данных, хранения данных и пользовательского интерфейса. Это является достаточно важным при выборе систем для автоматизации производства. Для хранения данных в системе технического документооборота используются стандартные SQL-серверы (Microsoft SQL-сервер, Sybase SQL-сервер и др.). Для экспорта и импорта чертежной информации в формате DWG и DXF в системах проектирования и черчения используется лицензионная, постоянно обновляемая библиотека, поставляемая фирме "Топ Системы" в рамках международного проекта Open DWG. Для создания твердотельных объектов в системе трехмерного моделирования используется лицензионное ядро ACIS фирмы Spatial Technology, являющееся одним из мировых стандартов, на базе которого построено множество известных западных CAD/CAM/CAE систем. Для визуализации трехмерных объектов используется лицензионная библиотека Open Inventor фирмы TGS, обеспечивающая эффективное использование Open GL на различных графических платах и ускорителях.

Полное описание функциональных возможностей систем, входящих в комплекс программных продуктов T-FLEX, невозможно в рамках данной статьи. В последующих номерах журнала САПР и Графика мы постараемся дать подробную информацию по каждой системе. Остановимся на некоторых основных возможностях систем T-FLEX.

1.2.1 T-FLEX DOCs

Система T-FLEX DOCs поставляется в однопользовательском или сетевом варианте. Для сетевой версии в качестве хранилища документов используются стандартные SQL-серверы (Sybase, Microsoft и другие).

T-FLEX DOCs выполнен как самостоятельный пакет, который может быть использован для работы с любыми системами проектирования, документирования и поддерживает работу с любыми типами документов. Наибольшая эффективность использования T-FLEX DOCs достигается при использовании с системой T-FLEX CAD, с которой T-FLEX DOCs имеет внутреннюю интеграцию.

Базовые функциональные возможности системы T-FLEX DOCs разделяются на три основные группы, характеризующие круг решаемых системой задач:

- **Управление архивами и ведение картотеки предприятия.**

Решаемые задачи:

- разграничение прав доступа к документам;
- поддержка различных типов документов (растровых изображений, чертежей различных систем, документов MS Office и т.д.);
- контроль целостности документов;
- централизованное хранение файлов документов;
- возможность расширения списка параметров любого из документов архива,
- быстрый поиск документов по их параметрам;
- поддержка коллективной работы над документами,
- возможность регистрации бумажных документов наряду с электронными,
- связь с внутренней почтовой службой и средствами ведения проектов.

- Внутренняя почтовая служба.

Решаемые задачи:

- возможность быстрого обмена сообщениями в процессе работы;
- групповая рассылка;
- сохранение передаваемой информации в журнале рассылки для последующего контроля;
- возможность рассылки по принципу "Начальник-Подчиненный" и наоборот;
- контроль исполнения поручений;
- контроль работы с поручениями;
- быстрый поиск отправленных ранее поручений и сообщений;
- возможность передачи документов вместе с сообщением.

- Ведение проектов с формированием состава изделия и получением спецификаций.

Решаемые задачи:

- формирование структуры изделия;
- автоматическое формирование нового изделия на базе типового проекта;
- использование справочников (например, классификатор предприятия, список предприятий-поставщиков, классификатор закупаемой продукции);
- контроль целостности элементов проекта;
- поддержка цепочки "проектирование-утверждение-доработка";
- контроль и регистрация вносимых изменений;
- автоматическое получение спецификаций и других конструкторских документов.

1.2.2 Конструкторская подготовка производства

Для подготовки конструкторской документации "Топ Системы" предлагает несколько систем

T-FLEX CAD 2D – система параметрического проектирования и черчения. Может эффективно применяться для создания конструкторской документации при любых задачах конструкторской подготовки производства.

Помимо оформления чертежей система T-FLEX CAD 2D позволяет создавать параметрические чертежи, параметрические сборочные модели, создавать новые параметрические элементы библиотек без применения специальных средств, осуществлять анимацию параметрических моделей, создавать спецификации на сборочные модели.

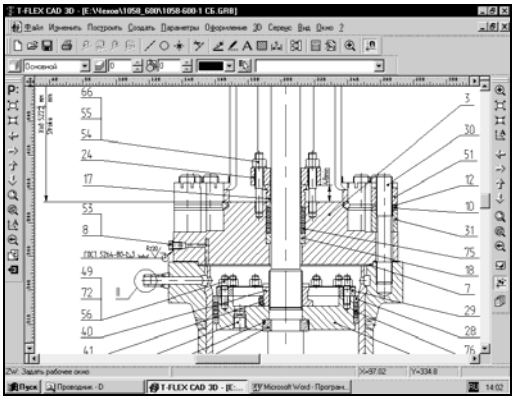


Рис.1.2

Система T-FLEX CAD 2D с самого начала разрабатывалась как параметрическая система, и в ее основе лежит специально разработанная параметрическая модель. Именно параметризация позволяла и позволяет фирме "Топ Системы" успешно продвигать систему T-FLEX CAD на рынке несмотря на доступность нелицензионных западных систем и появление в последнее время новых параметрических систем. В отличие от других систем, широко рекламируемых как "параметрические", T-FLEX CAD 2D позволяет реально создавать параметрические чертежи любой сложности, вплоть до создания мини САПР в одном чертеже. Изменение параметров такой модели позволяет в считанные секунды получать новый сборочный чертеж, получать готовые деталировочные чертежи и спецификацию на сборочный чертеж (рис. 1.2).

Восьмилетний опыт использования T-FLEX CAD 2D в области параметрического проектирования позволяет утверждать, что с ее помощью можно создать параметрическую модель практически любого сложного изделия. В T-FLEX CAD 2D параметры любых элементов чертежа: размер текста, толщина линий, значение размера, содержание текстовой информации и т.д. могут быть заданы с помощью переменных. Помимо удобного оформления конструкторской документации и параметрического проектирования система T-FLEX CAD 2D содержит экспорт и импорт в различных стандартных форматах, подготовку спецификаций, возможность анимации моделей и много других функциональных возможностей. В стандартную поставку T-FLEX CAD 2D также входит машиностроительная библиотека.

T-FLEX CAD 3D. Для создания трехмерной модели проектируемого изделия фирма "Топ Системы" предлагает систему параметрического трехмерного твердотельного моделирования T-FLEX CAD 3D.

Функциональные возможности системы T-FLEX CAD 3D позволяют сопоставлять ее с лучшими системами трехмерного моделирования среднего класса. Для создания прототипов изделий используются следующий набор трехмерных операций: выталкивание, вращение, линейчатая операция, лофтинг, кинематическое тело, трубопровод, сглаживание, булевы операции (сложение, вычитание, пересечение), создание линейных и круговых массивов, отсечение, пружины, спирали, каркасная поверхность, отсечение и другие операции. Операция сглаживания позволяет создавать скругления с постоянным и переменным радиусом.

В отличие от зарубежных программ аналогичного класса T-FLEX CAD 3D помимо достаточной функциональности в области трехмерного моделирования содержит в себе полный набор средств для двухмерного проектирования и оформления чертежной документации.

В системе T-FLEX CAD 3D можно использовать два метода проектирования трехмерных моделей:

- от двумерного чертежа к трехмерной модели. По чертежу, созданному в системе T-FLEX CAD или импортированному из любой другой системы, с помощью функций трехмерного моделирования T-FLEX CAD 3D можно создать трехмерную модель изделия.

- от трехмерной модели к чертежам изделия. По трехмерной модели, созданной в T-FLEX CAD 3D, или полученной из другой системы трехмерного моделирования, можно получить точные чертежи на изделие, используя операцию проецирования с удалением невидимых линий и операцию получения сечений и разрезов.

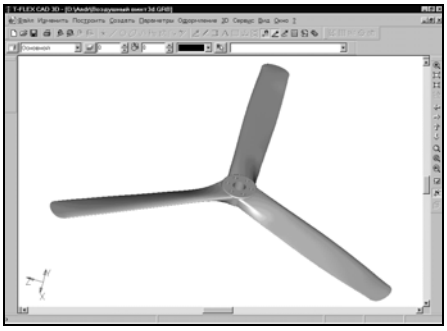


Рис.1.3

T-FLEX CAD 3D поддерживает двунаправленную ассоциативность, то есть изменение параметров чертежа приводит к изменению трехмерной модели, а изменение параметров трехмерной модели автоматически обновляет чертежи.

Система T-FLEX CAD 3D позволяет создавать трехмерные твердотельные параметрические модели (рис.1.3) и сборочные параметрические модели, осуществлять анализ взаимопересечения трехмерных тел в сборке и расчет расстояний между твердыми телами и любыми элементами тел, получать масс-инерционные характеристики твердых тел и трехмерных сборочных конструкций, задавать материалы и текстуры для тел, устанавливать источники света и "камеры", получать фотореалистическое изображение трехмерных моделей, осуществлять динамическое сечение трехмерных моделей плоскостью, передавать и получать трехмерную геометрию в стандартных форматах (DXF 3D, STL, IGES, STEP, SAT), осуществлять трехмерную анимацию с генерацией AVI-файлов .

Сочетание функций трехмерного моделирования отдельных деталей, функций проектирования сборочных моделей и всех функций оформления чертежей делает T-FLEX CAD 3D отличным выбором для решения задач трехмерного проектирования и подготовки конструкторской документации на изделие.

T-FLEX/ТехноПро. Для технологической подготовки производства фирма "Топ Системы" предлагает интегрированный комплекс T-FLEX CAD – T-FLEX / ТехноПро, который позволяет организовать безбумажную технологию между конструкторскими и технологическими отделами предприятия. Конструктор создает чертежи изделия в T-FLEX CAD, затем в этот чертеж вносится технологическая информация (технологические размеры, базовые поверхности и т.д.). Сохраненная в T-FLEX CAD технологическая информация автоматически передается в систему T-FLEX / ТехноПро, с помощью которой технолог проектирует необходимую технологическую документацию на изделие. В дальнейшем изменение параметров чертежа автоматически приводит к изменению технологической информации, сохраненной в чертеже. Автоматический отбор технологической информации в технологической системе приводит к автоматическому изменению технологической документации.

Система T-FLEX / ТехноПро может работать как в комплексе с системой T-FLEX CAD, так и в автономном режиме. T-FLEX / ТехноПро позволяет создавать технологическую документацию в автоматическом, полуавтоматическом и диалоговом режиме.

В системе T-FLEX / ТехноПро предоставляется возможность:

- проектирования операционной технологии (включая операции: заготовительные, механической и термической обработки, технического контроля, сборки и др.);
- создания технологических процессов с указанием: наименования операций, оборудования, приспособления, вспомогательных материалов;
- расчета технологических размеров с учетом припусков на обработку;
- подбора режущего, измерительного и вспомогательного инструмента;
- формирования операционных, маршрутно-операционных и маршрутных технологических карт, карт контроля, ведомостей оснастки или материалов, титульных листов и т.д.
- использования накопленного опыта при проектировании новых технологических процессов.

1.2.3 Проектирование обработки на станках с ЧПУ

Для подготовки программ для станков с ЧПУ фирма "Топ Системы" предлагает свою новую разработку – систему T-FLEX ЧПУ. Система T-FLEX ЧПУ полностью интегрирована с системой T-FLEX CAD и поставляется в двух вариантах: T-FLEX ЧПУ 2D и T-FLEX ЧПУ 3D.

Систему T-FLEX ЧПУ выгодно отличает от других систем сквозная параметризация. Разработчик имеет возможность, параметрически изменяя чертеж детали в системе T-FLEX CAD, автоматически получать изменение в управляющей программе.

Система T-FLEX ЧПУ построена по модульному принципу. Базовый модуль системы T-FLEX ЧПУ содержит:

- математическое ядро, ориентированное на технологические расчеты;
- редактор инструмента;
- набор типовых постпроцессоров;
- эмулятор обработки.

В системе T-FLEX ЧПУ можно проектировать 2D, 2.5D, 3D, 4D и 5D обработку и генерировать для перечисленных типов обработки управляющие программы для стоек ЧПУ. В наличии пользователя имеются следующие виды обработки: электроэрозионная, лазерная, токарная, сверлильная, фрезерная.

1.2.4 Создание технологической оснастки

Для вспомогательных производств предприятий АО "Топ Системы" предлагает две системы: T-FLEX / Штампы и T-FLEX / Пресс-формы. Указанные системы являются, пожалуй, единственным предложением на рынке систем данного класса, исключая западные системы за несколько десятков тысяч долларов.

Система T-FLEX / Штампы предназначена для автоматизации процесса создания штампов для холодной листовой штамповки. С помощью системы T-FLEX / Штампы можно проектировать разделительные, формообразующие и комбинированные штампы. Система работает в комплексе с T-FLEX CAD и использует более чем 200 ГОСТ, ОСТ, РТМ и справочников по штамповке.

Система T-FLEX / Пресс-формы предназначена для автоматизации процесса проектирования пресс-форм для литья термопластов под давлением. С помощью системы T-FLEX / Пресс-формы можно проектировать модели пресс-форм со сплошными толкателями, с трубчатыми толкателями, с плитой съема.

Отличительной особенностью системы T-FLEX / Штампы и T-FLEX / Пресс-формы от традиционных систем автоматизированного проектирования является их ориентированность на специалистов предметной области, как в эксплуатации, так и на этапах разработки.

Комплекс программных средств T-FLEX постоянно развивается. Внедрение комплекса на многих предприятиях России в 1999 году выявило необходимость интеграции систем в общую информационную структуру предприятия. В настоящее время проведены необходимые изменения в структуре комплекса, которые позволяют всем системам использовать общие данные на каждом этапе подготовке производства и предоставляют возможность интеграции с общими информационными базами данных предприятий.

Открытость комплекса для сторонних разработчиков позволяет создавать новые системы, которые динамично вливаются в его структуру. В последнее время появился целый ряд новых систем: T-FLEX Пружины – расчет пружин, T-FLEX Раскрой – раскрой листового материала, T-FLEX GIS – геоинформационная система.

1.3 Отечественные САПР – КОМПАС-3D

Система КОМПАС-3D предназначена для создания трехмерных параметрических моделей деталей и сборочных единиц, содержащих как типичные, так и нестандартные, уникальные конструктивные элементы [2].

Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа.

Ключевой особенностью КОМПАС-3D является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН.
Основные задачи, решаемые системой:

- моделирование изделий с целью создания конструкторской и технологической документации, необходимой для их выпуска (сборочных чертежей, спецификаций, деталировок и т.д.),
- моделирование изделий с целью расчета их геометрических и массо-центровочных характеристик,
- моделирование изделий для передачи геометрии в расчетные пакеты,
- моделирование деталей для передачи геометрии в пакеты разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ,
- создание изометрических изображений изделий (например, для составления каталогов, создания иллюстраций к технической документации и т.д.).

Детали. Модель детали в КОМПАС-3D создается путем выполнения булевых операций над объемными элементами.

Объемные элементы образуются путем заданного пользователем перемещения плоской фигуры ("эскиза") в пространстве. Эскиз изображается на плоскости стандартными средствами чертежно-графического редактора КОМПАС-ГРАФИК. В него можно перенести изображение из ранее подготовленного графического документа. Это позволяет при создании трехмерной модели опираться на существующую чертежно-конструкторскую документацию.

Система позволяет оперировать

- элементами вращения,
- элементами выдавливания,
- кинематическими элементами,
- элементами по сечениям,

причем для каждого из них доступны различные варианты построения.

Дополнительные операции упрощают задание параметров распространенных конструктивных элементов — фасок, скруглений, круглых отверстий, литейных уклонов, ребер жесткости. На любом этапе работы можно сформировать тонкостенную оболочку, а также удалить часть тела по границе, представляющей собой плоскость или криволинейную поверхность.

В КОМПАС-3D доступны разнообразные способы копирования элементов: копирование по сетке, по окружности, вдоль кривой, зеркальное копирование, а также создание "зеркальных" деталей.

Эскизы. Эскиз изображается на плоскости стандартными средствами чертежно-графического редактора КОМПАС-ГРАФИК. При этом доступны все команды построения и редактирования изображения, команды параметризации и сервисные возможности. Единственным исключением является невозможность ввода некоторых технологических обозначений и объектов оформления. Пользователь, знакомый с работой в КОМПАС-ГРАФИК, не найдет принципиальных отличий между порядком создания фрагмента и эскиза.

В эскиз можно перенести изображение из ранее подготовленного в КОМПАС-ГРАФИК чертежа или фрагмента. Это позволяет при создании трехмерной модели опираться на существующую чертежно-конструкторскую документацию. Эскиз может располагаться в одной из ортогональных плоскостей координат, на плоской грани существующего тела или во вспомогательной плоскости, положение которой задано пользователем.

Операции. В системе Компас доступны следующие типы операций:

- вращение эскиза вокруг оси, лежащей в плоскости эскиза;
- выдавливание эскиза в направлении, перпендикулярном плоскости эскиза;
- кинематическая операция - перемещение эскиза вдоль указанной направляющей;
- построение тела по нескольким сечениям-эскизам.

Каждая операция имеет дополнительные опции, позволяющие варьировать правила построения тела.

После создания базового тела производится "приклеивание" или "вырезание" дополнительных объемов. Каждый из них представляет собой тело, образованное при помощи перечисленных выше операций над новыми эскизами. При выборе типа операции нужно сразу указать, будет создаваемое тело вычитаться из основного объема или добавляться к нему. Примерами вычитания объема из детали могут быть различные отверстия, проточки, канавки, а примерами добавления объема - бобышки, выступы, ребра.

При вводе параметров операции вырезания или приклеивания доступно несколько больше опций, чем в базовой (самой первой) операции. Дополнительные опции позволяют упростить задание параметров. Например, при создании сквозного отверстия можно не рассчитывать его длину, а выбрать опцию "Через всю деталь", а при создании бобышки указать, что она должна быть построена до определенной поверхности.

Дополнительные операции позволяют упростить задание параметров распространенных конструктивных элементов - фаски, скругления, цилиндрического отверстия, уклона, ребра жесткости. Так, для построения фаски не нужно рисовать эскиз, перемещать его вдоль ребра и вычитать получившийся объем из основного тела. Достаточно указать ребро или несколько ребер или грани для построения фаски и ввести ее параметры - величину катетов или величину катета и угол. Аналогично при построении отверстия достаточно выбрать его тип (например, отверстие глухое с зенковкой и цековкой) и ввести соответствующие параметры.

На любом этапе работы тело можно преобразовать в тонкостенную оболочку (для этого нужно будет исключить одну или несколько граней, которые не должны входить в оболочку). Порядок работы с получившейся оболочкой будет прежним - добавление и вычитание тел, формирование фасок, скруглений и отверстий.

На любом этапе работы можно удалить часть тела по границе, представляющей собой плоскость или цилиндрическую поверхность, образованную выдавливанием произвольного эскиза.

Вспомогательные построения. Как упоминалось выше, эскиз может быть построен на плоскости (в том числе на любой плоской грани тела). Для выполнения некоторых операций (например, копирования по окружности) требуется указание оси или направляющей. Если существующих в модели ортогональных плоскостей, граней и ребер недостаточно для построений, пользователь может создать вспомогательные плоскости, оси и пространственные кривые, задав их положение одним из предусмотренных системой способов. Например, ось можно провести через две вершины или через прямолинейное ребро, а плоскость - через три вершины или через ребро и вершину. Существуют и другие способы задания положения вспомогательных элементов.

Сборки. Модель сборки в КОМПАС-3D состоит из отдельных компонентов - деталей и подсборок (которые, в свою очередь, также могут состоять из деталей и подсборок). Проектирование сборки ведется "сверху вниз"; каждая новая деталь моделируется на основе уже имеющихся деталей (обстановки) с использованием параметрических взаимосвязей.

Детали и подсборки могут создаваться непосредственно в сборке или вставляться в нее из существующего файла. Кроме разработанных пользователем (уникальных) моделей, компонентами сборки могут быть стандартные изделия (крепеж, опоры валов и т.д.), библиотека которых входит в комплект поставки системы.

Взаимное положение компонентов сборки задается путем указания сопряжений между ними. В системе доступны разнообразные типы сопряжений: совпадение, параллельность

или перпендикулярность граней и ребер, расположение объектов на расстоянии или под углом друг к другу, концентричность, касание.

Для создания копий компонентов используются такие же операции, как для копирования формообразующих элементов детали - копирование по сетке, по окружности, вдоль кривой, зеркальное копирование. Кроме того, возможно создание массива копий по образцу; в этом случае параметры нового массива совпадают с параметрами существующего.

Возможно выполнение различных операций с компонентами сборки: объединение двух деталей, вычитание одной детали из другой (в детали образуется полость, соответствующая форме другой детали, при этом возможно задание коэффициента масштабирования вычитаемой детали). Деталь также можно разделить на две части (плоскостью или поверхностью).

Сборка может отображаться в "разобранном" виде (это может потребоваться, например, при создании изображения для каталога). Направление и величина сдвига при разнесении задаются пользователем (рис.1.4).

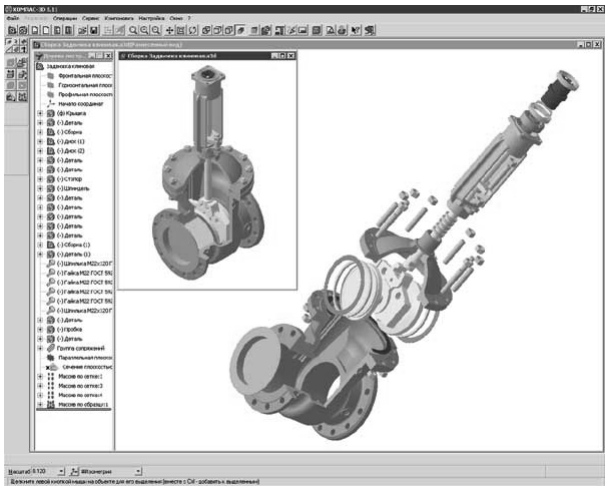


Рис. 1.4

При работе с трехмерной моделью вся последовательность построения отображается в отдельном окне в виде "дерева построения". В нем перечислены все существующие в модели вспомогательные элементы, эскизы и выполненные операции в порядке их создания.

Помимо дерева, отражающего историю создания модели, КОМПАС-3D запоминает иерархию ее элементов (компонентов). В любой момент возможен просмотр иерархии в специальном диалоге. В нем отображаются все топологические отношения межу элементами модели. Например, эскиз, построенный на грани какого-либо тела, располагается в иерархической ветви, соответствующей этому телу.

Существует два аспекта параметризации трехмерной модели в КОМПАС-3D. Во-первых, каждый эскиз может быть параметрическим. На его объекты можно наложить различные параметрические связи и ограничения (вертикальность и горизонтальность, параллельность и перпендикулярность, выравнивание, симметрия, касание). Возможно задание зависимостей между параметрами графических объектов эскиза. Таким образом, в эскизах реализована та же вариационная идеология параметризации, что и в графических документах КОМПАС. Во-вторых, при создании модели система запоминает не только порядок ее формирования, но и отношения между элементами (например, принадлежность эскиза грани или указание ребра в качестве пути для кинематической операции). Таким образом, реализована иерархическая идеология параметризации объемных построений.

Наличие параметрических связей и ограничений в модели, естественно, накладывает отпечаток на принципы ее редактирования. В КОМПАС-3D в любой момент возможно изменение параметров любого элемента (эскиза, операции, сопряжения) модели. После задания новых значений параметров модель перестраивается в соответствии с ними. При этом сохраняются все существующие в ней связи. Например, пользователь изменяет глубину операции выдавливания и ее эскиз; в результате другой эскиз, построенный на торце образованного этой операцией тела, все равно остается на этом торце (а не "повисает" в пространстве на своем прежнем месте). Следует особо подчеркнуть, что после редактирования элемента, занимающего любое место в иерархии построений, не требуется заново задавать последовательность построения подчиненных элементов и их параметры. Вся эта информация хранится в модели и не разрушается при редактировании отдельных ее частей.

1.4 Отечественные САПР – ADEM

Компания **Omega Adem technologies** работает на рынке CAD / CAM систем более 10 лет. За это время основной продукт компании система **ADEM** постоянно наращивала функциональные возможности [5].

По своей основной специализации ADEM предназначен для автоматизации проектно-конструкторских и технологических задач в области машиностроения. Основными отраслями-потребителями системы являются: аэрокосмическая, авиационная, атомная, машиностроительная, электро - и приборостроительная и другие смежные отрасли. Довольно активно ADEM работает в области проектирования и производства сложной оснастки и инструмента.

Основную направленность системы можно определить как автоматизацию наиболее трудоемких процессов проектирования и подготовки производства. Система в первую очередь автоматизирует труд конструкторов и технологов на этапах общего и детального конструирования, выпуска рабочей конструкторской и технологической документации и программирования станков с ЧПУ.

Главными функциями системы ADEM являются:

- плоское конструирование, выпуск чертежной конструкторской документации
- выпуск технологической документации
- объемное моделирование
- плоская и зонная механообработка
- объемная механообработка
- хранение и управление конструкторско-технологическими документами и данными

Главная особенность системы состоит в том, что ADEM поддерживает сквозную конструкторско-технологическую цепочку, позволяющую добиваться максимального сокращения сроков подготовки производства.

Других аналогичных продуктов, которые обладали бы подобным спектром функций и были бы применимы к российским стандартам оформления документации и к традициям производства, на рынке не существует. Ближайший аналог можно составить лишь из комбинации нескольких отечественных и зарубежных систем.

1.5 Отечественные САПР – ГеММа-3D

Система геометрического моделирования и программирования обработки на станках с ЧПУ ГеММа-3D [4] предназначена для:

- построения геометрических моделей деталей и агрегатов любой степени сложности;
- доработки математических моделей в соответствии с требованиями технологического процесса обработки конкретным инструментом на определенном оборудовании с ЧПУ;
- подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ: фрезерных (2-х, 3-х, 4-х, 5-и координатных), электроэрозионных (2-х, 3-х, 4-х координатных), сверлильных, токарных;
- обеспечения измерений изделий на контрольно - измерительных машинах, обработка результатов измерений для оценки точности изготовления.

Система ГеММа-3D обеспечивает выход на все отечественные и зарубежные системы управления станками. Наряду с готовыми постпроцессорами (FANUC, BOSH, FAGOR, CNC-1600, Sinumeric, 2C42-65, H33, 2M42 и целый ряд других), в поставку системы входит генератор постпроцессоров, позволяющий дорабатывать готовые и создавать новые постпроцессоры.

1.6 Импортные САПР – *Cimatron*^{it}

CAD/CAM-система *Cimatron*^{it} - разработка компании Cimatron Ltd. (Израиль), основанной в 1982 г. и имеющей дочерние компании в США, Канаде, Германии, Франции и сеть провайдеров в 35 странах мира. Cimatron Ltd. - ведущий разработчик интегрированных CAD/CAM-решений от проектирования до подготовки производства и изготовления изделий - имеет сегодня более 8000 предприятий-пользователей в различных отраслях промышленности, включая автомобильную, аэрокосмическую, компьютерную, электронную, товары широкого потребления, медицинскую, оптическую, телекоммуникационную, производство игрушек и других. С марта 1996 г. акции Cimatron Ltd. котируются на нью-йоркской бирже NASDAQ. Ведущие индустриальные аналитические компании оценивают *Cimatron*^{it} как одного из передовых разработчиков программного обеспечения в сфере CAD/CAM-решений для промышленного производства. Движущей силой разработки CAD/CAM-решений *Cimatron*^{it} является уникальная философия интегрированных технологий, гарантирующая пользователям достижение практических результатов за счет полноты функциональных возможностей системы. Мощные средства гибридного моделирования обеспечивают возможность как восходящей, так и нисходящей реализации проектов сложных изделий с полной параметризацией и ассоциативностью и применением высококачественной поверхностной геометрии. Автоматическое формирование чертежно-графической документации в полном соответствии с ЕСКД и ЕСТД обеспечивает исключительную производительность и качество работы чертежника. Разнообразные средства проектирования технологической оснастки и управляющих программ для различных типов обработки на станках с ЧПУ позволяют до минимума сократить сроки выпуска новых изделий. Особое внимание *Cimatron*^{it} уделяет разработке высокопроизводительных программных решений для задач инструментального производства. Широкий спектр интерфейсов для обмена данными с другими системами и технологическим оборудованием, специализированных программных подсистем, разработанных для решения специфических задач различных отраслей зарубежной и отечественной промышленности, средства организации разработки и электронного хранения данных, полная русификация системы и квалифицированное гарантийное обслуживание обеспечивают быстрое внедрение и окупаемость системы Cimatron [3].

В России и СНГ систему *Cimatron*^{it} сегодня используют **более 100** промышленных предприятий и организаций различных отраслей. Успешное внедрение - результат как свойств системы, так и высокого уровня поддержки и сопровождения, который обеспечивают специалисты **"CAD/CAM Центра"**. Обучение специалистов, наличие документации на русском языке, помощь в процессе опытной эксплуатации, ежегодные семинары пользователей - все это помогает быстро и надежно перевести работу на современный мировой уровень.

1.6.1 Подсистемы и модули *Cimatron*^{it}

Cimatron^{it} - интегрированная **CAD/CAM/PDM** - система предоставляющая полный набор средств для проектирования изделий, разработки конструкторской документации, инженерного анализа, создания управляющих программ для станков с ЧПУ. Cimatron удовлетворяет запросам и требованиям самого широкого круга пользователей, легко осваивается, работает на различных платформах, в том числе и на персональных компьютерах. Пользователи этой системы в мире являются более 6000 компаний, в том числе такие известные, как Epson, Motorola, Toshiba, Reebok, Mattel и другие.

Конструирование. *Cimatron*^{it} обладает всеми возможностями необходимыми для создания новых изделий в условиях современного производства за счет интегрированных методов гибридного проектирования, сочетающего все известные на сегодня методы: каркасное, поверхностное и твердотельное параметрическое моделирование, что позволяет гибко подходить как к концепции нового продукта так и к его дизайну.

Каркасно-поверхностное моделирование обеспечивает построение каркасных и поверхностных моделей на основе широкого спектра геометрических элементов: от точек, линий, окружностей, спиралей, двухмерных и трехмерных кривых (кубические сплайны, B-сплайны и NURBS-сплайны) до кинематических поверхностей и поверхностей вращения. Созданные элементы могут быть обрезаны, разделены, вытянуты, спроецированы, перемещены и скопированы. Развитое поверхностное моделирование в *Cimatron*^{it} позволяет создавать, редактировать и анализировать широкий круг поверхностей различных типов (рис.1.5). Мощные функции сглаживания и создания галтельных сопряжений, многоповерхностная обрезка и возможность создания одной комплексной поверхности из нескольких - это только некоторые из широких возможностей подсистемы.

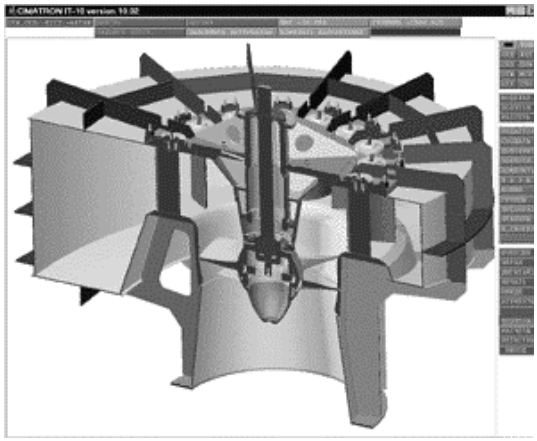


Рис.1.5

Cimatron^{it} имеет полный набор функций твердотельного моделирования, включая эскизное проектирование, операции сборки, функции черчения, редактирования и многое другое. Между любыми размерами твердотельной модели могут быть установлены параметрические зависимости, в соответствии с которыми будет происходить автоматический пересчет всех связанных размеров при изменении одного из них.

Механизм построения твердого тела заключается в создании базового компонента и последовательном применении к нему операций добавления или удаления других компонент. Базовые компоненты - это тела вращения, выдавливания, образованные движением контура вдоль направляющей траектории (кинематические компоненты), цилиндрические и фасонные отверстия и бобышки, оболочки. К дополнительным компонентам относятся фаски, скругления, уклоны, ребра жесткости, выступы и углубления вдоль кромок.

Все это подкреплено интеллектуальной подсистемой эскизного моделирования, не имеющей аналогов в других системах. При ее использовании во время перемещения курсора по экрану высвечиваются штриховые сигнальные линии, указывающие условия параллельности, перпендикулярности и касательности. Пользователь может активизировать такие неявные точки как центр окружности, конец кривой и т.п. и привязаться к ним. Для быстрого создания общей концепции изделий и проработки нескольких альтернативных решений конструкторы также могут использовать эскизное проектирование без полного образмеривания модели. Размеры могут быть добавлены позднее на любой стадии процесса проектирования.

Созданный в полном соответствии с требованиями параллельного проектирования, *Cimatron*^{it} включает в себя два подхода ведения сборочных проектов: сверху вниз и снизу вверх, а также возможности по управлению сборками. Поверхностные или твердотельные модели деталей (объектов) могут быть объединены в сборку. В сборку можно включать подсборки, которые также создаются в среде сборки. Любые изменения, выполненные над объектом, отразятся во всех сборках, содержащих этот объект. Компоновка объектов в сборку осуществляется путем задания взаимного расположения базовых плоскостей и осей собираемых объектов. Для твердотельных сборок можно устанавливать параметрические зависимости между размерами деталей, входящих в сборку.

Рис. 1.6

CimaRender Pro создает и выводит высококачественные слайды моделей, созданных в *Cimatron*^{it}. Слайды – это реалистические изображения изделия с реальным цветом, материалом, качеством поверхностей, подсветкой и фоном (рис.1.6). CimaRender Pro поддерживает любые сделанные в

Cimatron^{it} модели, включая твердые тела и сборки. CimaRender Pro имеет Windows-интерфейс, позволяющий пользователям легко выполнять такие задачи, как копирование и вставку, перемещение и удаление. Приложение имеет дружественный интерфейс и легко в освоении. CimaRender Pro является дополнительным модулем *Cimatron*^{it} и работает только на персональных компьютерах.

Черчение - традиционно трудоемкая работа, в которую вовлечены сотни, если не тысячи, размеров, надписей, сечений и других элементов. Каждое лишнее нажатие клавиши мыши приведет к потере большого количества времени. Подсистема черчения *Cimatron*^{it} быстра, легка в освоении и использовании, интеллектуальна, обеспечивает пользователя всеми необходимыми инструментами для черчения и деталировки.

Изображения видов на чертеже формируются системой автоматически как проекции модели детали или сборки. При изменении модели происходит автоматическое изменение чертежа.

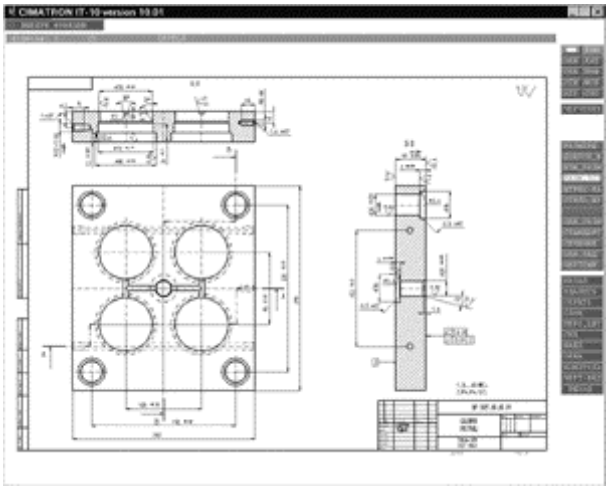


Рис. 1.7

Система имеет полный набор средств для простановки на чертеже всех видов размеров и технологических обозначений, нанесения штриховок, построения разрезов и сечений, создания текстовых надписей и технических требований, оформления штампа чертежа. Довольно удобна и основная процедура простановки размеров: конструктору необходимо только указать элемент чертежа, а система сама определит его тип (дуга, окружность, линия и т.п.) и проставит нужный размер. Обеспечивается полная поддержка как ЕСКД, так и зарубежных стандартов (рис.1.7).

Пресс-формы. Формообразующие элементы штампов и пресс-форм могут быть получены непосредственно на основании геометрии модели детали изделия. Модель детали помещается “внутрь” модели заготовки-параллелепипеда и “вычитается” из заготовки. Далее строится поверхность разъема и заготовка “разнимается” на две составляющие. Эти составляющие образуют модели формообразующих вставок (матрицы и пуансона). В процессе их создания имеется возможность учесть величину усадки материала.

Проектирование пакета штампа или пресс-формы выполняется с помощью аппарата моделирования и черчения системы *Cimatron*^{it}. Если конструктор использует при проектировании базы стандартных деталей пресс-форм, то с помощью подсистемы MoldBase 3D он получает максимально высокий уровень автоматизации проектирования (рис.1.8).

MoldBase 3D – интеллектуальная, интегрирующая система, которая направляет пользователя в процессе проектирования пакета пресс-формы (т. е. плит, вставок, толкателей и других компонентов) и сокращает время, требуемое для создания конструкции и чертежей пакета формы. MoldBase 3D генерирует таблицы, включающие компоненты, номера составляющих частей, размеры и дополнительную информацию. Общеупотребительные производственные каталоги стандартов DME, Hasco, EOC и т. д., поддерживаются и управляются с помощью одной ассоциативной базы данных. MoldBase 3D является продуктом с Windows-интерфейсом. Пользователи работают в удобной среде с набором меню, иконками, панелями инструментов и диалоговыми окнами, которые появляются в окне *Cimatron*^{it}. Так как приложение поддерживает динамические связи, то в него нетрудно включать изменения

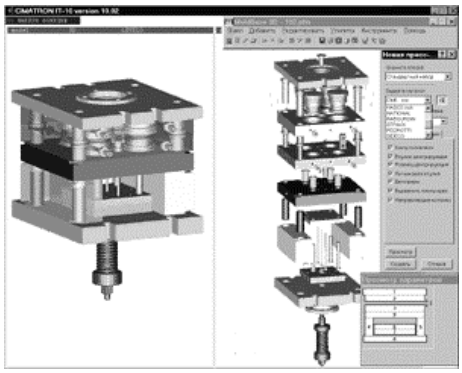


Рис.1.8

схемы проектирования.

Конструктор пресс-формы может выполнить компьютерный анализ процесса литья изделия из пластмассы. Для этого используется одна из CAE-систем анализа литья - например, Moldflow. Они обеспечивают проверку заполняемости формы в процессе литья, определяют величину усадки, возможность образования раковин и других дефектов. Исходными данными для анализа является информация о модели детали. Эта информация передается из системы *Cimatron*^{it} в CAE-систему через один из согласованных интерфейсов. При интеграции, например, с Moldflow наиболее эффективна передача путем конвертации твердотельной модели в STL-формат.

На формообразующие детали штампа или пресс-формы, а также на другие детали, для которых требуется их обработка (изготовление) на станках с ЧПУ, средствами *Cimatron*^{it} формируются соответствующие управляющие программы.

Обработка с ЧПУ в модуле CAM. Система обеспечивает формирование управляющих программ для фрезерной, электроэрозионной, токарной и листопробивной обработки. Фрезерная обработка может выполняться в пределах от 2.5 до 5 координат, электроэрозионная - от 2 до 4 координат.

Наиболее мощными являются средства для фрезерной обработки. Здесь имеется широкий спектр процедур для чернового, получистового и чистового фрезерования (рис.1.9). Траектория движения инструмента строится с учетом геометрии обрабатываемых и ограничивающих поверхностей, технологических параметров выбранной схемы фрезерования, характеристик инструмента. Геометрия может задаваться по поверхностной, твердотельной или смешанной (гибридной) модели. В процессе расчета траектории система осуществляет контроль зарезания поверхностей. Сформированная траектория может просматриваться и редактироваться. Вызов соответствующего постпроцессора обеспечивает формирование управляющей программы для конкретного станка с ЧПУ.

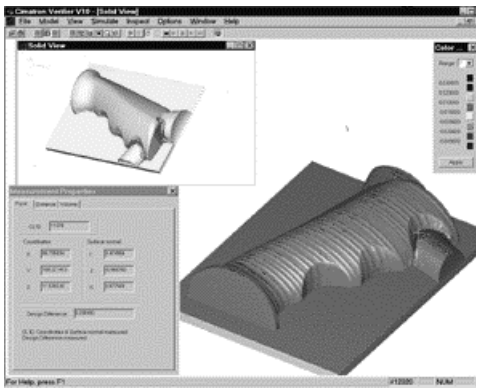


Рис. 1.9

С помощью модуля симуляции обработки технолог сможет посмотреть не только как "вживую" деталь будет обрабатываться на станке, но и произвести контроль на зарезание и столкновение с зажимными приспособлениями, просмотреть сечения обработанной детали.

В системе имеется высокоэффективный генератор постпроцессоров, позволяющий быстро создавать постпроцессоры для различных типов станков и систем ЧПУ с учетом всех особенностей и традиций предприятия.

Система управления конструкторскими проектами *MPDM (Manufacturing Product Data Manager)* позволяет организовать управление работой конструкторских подразделений, использующих CAD/CAM Cimatron. С помощью *MPDM* можно создавать описание и определять структуру проекта, вести дерево проекта, просматривать и редактировать входящие в проект узлы и детали, вести документооборот, контролировать права доступа исполнителей и др (рис.1.10).

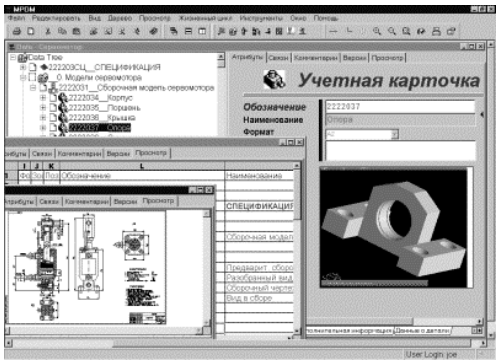


Рис. 1.10

MPDM является одной из систем, созданных на основе PDM-системы SmarTeam и предназначена для работы только совместно с Cimatron. Сама система SmarTeam является "всеобъемлющей" (может работать с любыми CAD-системами и любыми другими приложениями) и служит для автоматизации процессов управления технической подготовкой производства в целом.

1.7 Импортные САПР – Autodesk Inventor

Проект по созданию Autodesk Inventor начался в 1988 году, в 1999 году вышла первая версия этого продукта. Эта версия была не коммерческой и раздавалась бесплатно с целью узнать реакцию рынка на данный программный продукт. В 2000 году компания Autodesk объявила о начале продаж коммерческой версии Autodesk Inventor R2.

Autodesk Inventor - это программа, нацеленная на проектирование больших сборок, включающих тысячи или десятки тысяч элементов. Посредством Адаптивного механизма управления данными, Autodesk Inventor поддерживает сегментированную базу и быструю загрузку ее на выполнение. Путем устранения необходимости разбивать проект на достаточно малые куски, Autodesk Inventor повышает скорость и точность создания и выполнения проектов. Уникальные возможности - Адаптивные слои, поименованные видовые экраны, доступные компоненты, отслеживание чертежа, и параллельная работа над проектом - все это расширяет границы и опыт разработки больших проектов [1].

Autodesk Inventor – это новая, современная САПР для конструирования машин и механизмов, использующая возможности операционной системы Microsoft Windows. Инструментальные средства Autodesk Inventor обеспечивают полный цикл конструирования и создания конструкторской документации. Есть четыре основных показателя, которые позволяют считать Autodesk Inventor самой современной САПР на сегодняшний день:

- Значительно сокращается цикл разработки модели конструкции;
- Реализована возможность совместной работы над конструкцией всех разработчиков, включая группы инженеров, находящихся на большом удалении друг от друга;
- Реализована возможность ввода пользовательских примитивов в параметрическом виде с целью последующего повторного использования;
- Обеспечивается доступ к трехмерной модели конструкции не только разработчикам, а всем группам пользователей, задействованным в работе над проектом.

Эти четыре важных эксплуатационных показателя подкреплены пятью новинками в области технологии трехмерного моделирования и пространственного конструирования, реализованными компанией Autodesk Inc. в программе Autodesk Inventor:

- Адаптивное конструирование;
- Адаптивная компоновка;
- Встроенный конструктор элементов;
- Инструментарий, обеспечивающий совместную работу над конструкцией;
- Системы поддержки и сопровождения процесса конструирования.

Autodesk Inventor является инструментом для работы по созданию крупных сборочных единиц и конструкций. Новейшие инструментальные средства Autodesk Inventor с механизмом адаптивных данных позволяют быстро открывать и работать с моделями сборок больших размеров, включающих много узлов, подузлов и деталей. В отличие от традиционных средств конструирования сборочных узлов и отдельных элементов механических систем, механизм адаптивных данных в Autodesk Inventor использует сегментированную базу данных, что дает возможность быстро, автоматически открывать часть сборки. В результате такого подхода к реализации технологии конструирования обеспечиваются очень высокие временные и эргономические характеристики этого процесса. Поэтому, имея в своем распоряжении Autodesk Inventor можно эффективно работать с очень крупными моделями и сборочными единицами с высокой производительностью труда.

Файлы, создаваемые разработчиками моделей узлов механических систем содержат много типов данных, включая граничные условия (для твердых тел), информацию, определяющую свойства объекта и его конфигурацию. Обычно, при открытии файлов с моделями, большинство программ для моделирования загружают все данные из них в основную память. При загрузке крупных сборок это обычно приводит к ошибкам из-за отсутствия свободных страниц памяти или отсутствия места для организации временных файлов на жестком диске,

хотя в большинстве случаев не требуется полный доступ к информации о всей модели. Autodesk Inventor предлагает новейшее решение этих проблем с использованием механизма адаптивных данных. При использовании этого механизма множество типов данных хранится в одном файле в отдельных его сегментах. Этот сегментированный файл позволяет автоматически получать характеристики оптимизированной системы путем загрузки только тех сегментов, которые в настоящее время требуются для работы. Другие сегменты загружаются по запросу, если они могут потребоваться. Механизм адаптивных данных является полностью ассоциативным, и это гарантирует, что все конструкционные элементы, которые могут быть использованы в процессе работы над проектом, всегда несут в себе самую последнюю информацию обо всех операциях и обновлениях, совершенных над ними. Этот механизм охватывает как сборочные узлы и конструкции, так и отдельные подузлы, детали, рабочие чертежи и все сопроводительные документы, относящиеся к данному проекту.

Адаптивная компоновка. Адаптивная технология также позволяет улучшить процесс разработки компоновок конструкции. На ранних этапах конструирования разработчик часто не знает, какую форму имеют отдельные детали. Поэтому он предпочитает пользоваться абстрактными конструкциями, которые часто представляют собой простые 2D рисунки или эскизы. Autodesk Inventor облегчает эту последовательность выполняемых действий за счет предоставления возможности создания сборочных конструкций, в которых некоторые детали представлены схематично, а другие являются полностью определенными трехмерными моделями. Когда завершается создание общей конструкции модели, система может изменить форму детали, представленную в виде рисунка или эскиза и наложить все взаимные связи для данной детали в конструкции таким образом, каким это предусмотрено разработчиком на начальном этапе работы над конструкцией.

Сборки механизмов. Нормальное функционирование механизмов является основополагающим при конструировании многих узлов и сборочных единиц. Для оценки характеристик их работы разработчику обычно требуются дополнительные специализированные программные средства. В процессе работы над анализом конструкции эти программные средства должны обладать возможностью кинематического анализа взаимодействия всех элементов системы, возможностями для оценки диапазона их перемещений в рамках заданных допусков. В настоящее время большинство современных систем пространственного конструирования обладают ограниченными возможностями кинематического анализа элементов конструкции. Возможности параметрического конструирования накладывают определенные ограничения для анализа модели при наличии несанкционированного пересечения деталей в конструкции. Адаптивная технология Autodesk Inventor позволила избавиться от этих проблем.

Autodesk Inventor включает весь набор функций для объемного твердотельного моделирования, которые могут потребоваться в процессе работы над моделями сложных узлов и деталей. Моделирование начинается с использования динамического мастера эскизов с интерактивным определением интеллектуальных профилей, строящихся с использованием линий, дуг и сплайнов. Мастер эскизов представляет собой графический редактор связанный с логическим решателем, с помощью которого не только принимаются решения в процессе работы над эскизами, но и накладываются ограничения на связи между элементами конструкции . Ограничения определяются и накладываются автоматически в зависимости от вида конструкции. Эскизы сохраняют свои свойства не зависимо от того, где используются их фрагменты. Это позволяет разработчикам перетаскивать элементы эскизов в реальном времени в соответствии с ранее установленными правилами их включения в сборку. Эскизы могут содержать много различных элементов, крепеж в виде хомутов, скоб и т.д., которые обнаруживаются и идентифицируются автоматически. Элементы узлов и деталей имеющих сложную геометрию могут быть созданы с использованием функций выдавливания, вращения, развертки, протяжки профиля по заданной траектории и др. Также могут быть легко созданы детали сложных форм, включающих комбинации канавок, фасок, скосов, галтелей, различных типов углов, отверстий, оболочек и сложных пространственных элементов. Свойства и ограничения могут быть определены для отдельных элементов как в процессе их раз-

работки, так и непосредственно в момент их включения в сборку. Все эти свойства и ограничения могут быть также переопределены или отредактированы с использованием среды адаптивного конструирования.

В Autodesk Inventor реализована уникальная функция, которая называется 'Конструктор Элементов'. Эта функция позволяет легко и просто осуществить ввод любого элемента, описанного набором различных параметров в рабочую среду Autodesk Inventor. После этого, с помощью специального модуля ' Мастер Элементов' можно вызвать этот элемент на рабочий экран и задать параметры, определяющие конфигурацию данного элемента. Ввод информации может быть не только в виде конкретных значений заданных параметров, но и в виде диапазона их значений.

Совместная работа над проектом. При работе в составе рабочей группы необходимо знать, кто в настоящий момент работает над конструкцией и какого рода изменения в нее вносятся. Autodesk Inventor имеет специальный модуль, который занимается отслеживанием процесса конструирования. Он позволяет любому члену конструкторской группы работать над конструкцией, видеть, какие файлы используются и кем. Это дает возможность всем членам группы знать, о текущем состоянии конструкции в любой момент времени, о внесенных изменениях и доработках различных ее деталей и узлов в целом, этот модуль позволяет вернуться назад и просмотреть варианты конструкции до внесения изменений. С помощью модуля отслеживания можно задать для конструкции уникальные свойства, сопроводив их соответствующим описанием. Далее, можно использовать эту информацию для поиска документов, отчетов и любых данных, связанных прямо или косвенно с этой конструкцией. Модуль отслеживания может быть передан членам конструкторской группы, работающим без Autodesk Inventor, что позволяет им быть в курсе всех модификаций проекта, редактировать конструкцию, ее атрибуты и или как-то иначе осуществлять контроль за процессом конструирования. Кроме модуля отслеживания конструирования, в состав Autodesk Inventor входит еще один интересный модуль с названием 'Записная книжка конструктора'. С помощью записной книжки можно присоединить к модели или узлу интересующие вопросы, свои размышления или требования, которые необходимо адресовать своим коллегам, одновременно участвующим в разработке данного узла. 'Приклеиваемые' таким образом комментарии и замечания добавляются в 3D модель и воспроизводиться соответственно и в записных книжках других участников проекта.

Autodesk Inventor имеет модуль поддержки и сопровождения процесса конструирования, далее DSS. DSS встроена глубоко в продукт для того, чтобы помочь в изучении возможностей использования системы Autodesk Inventor, а затем за счет использования методики этой программы повысить производительность работы специалистов с САПР в целом. DSS интегрирован в весь продукт и имеет следующие особенности:

- Встроенные команды в темах 'How to' (Как сделать..), позволяющие активировать команду непосредственно из инструкции;
- Встроенные анимации команд, описывающие, как работает та или иная функция. Они могут быть воспроизведены с помощью правой кнопки мыши;
- Интеллектуальная архитектура обработки ошибок и система восстановления позволяют решать проблемы во взаимосвязи, начиная процесс анализа с первой и до самой последней даты обновления проекта, если это потребуется;
- Интерактивный DesignProf позволяет строить модели в их собственном темпе в реальном времени;

1.8 Импортные САПР – Pro/Engineer

Parametric Technology Corporation (PTC) является одной из крупнейших в мире компаний, разрабатывающих CAD/CAM/CAE-системы "высокого" уровня. Образованная в 1985 году, сегодня PTC имеет более 150 офисов, расположенных в 32 странах. Основная разработка компании система Pro/Engineer. Начиная с 1988 года, компания ежегодно выпускает две новых версий Pro/Engineer. Структура Pro/Engineer позволяет подобрать оптимальную конфигурацию системы из нескольких десятков имеющихся сегодня специализированных функциональных модулей. Среди них Pro/Animate (фотореалистическая анимация), Pro/Designer (быстрая проработка концептуального дизайна изделия), Pro/Detail (создание рабочих чертежей), Pro/Develop (средства создания дополнительных модулей), Pro/Interface (обмен данными с другими CAD-системами), Pro/Mesh (генерация сетки конечных элементов), Pro/Manufacturing (генерация ЧПУ-программ обработки изделия) и многие другие [1].

Создание 2D-модели - переход к 3D. Принцип моделирования пространственной геометрии любой сложности основан на постепенном усложнении, а начинается все с двумерного эскиза, в котором конструктор намечает примерную базовую конфигурацию будущей детали и ее схему ОБРАЗМЕРИВАНИЯ. После того как примерный эскиз детали создан, его можно преобразовать в трехмерный, с помощью операций двух типов: создать и удалить объем.

Интерфейс пользователя представляет собой систему иерархических меню и диалоговых панелей и основан на двух основных положениях. Во-первых, он прост - пользователь составляет некое осмысленное продолжение, которое звучит примерно так: "Создать Тело Выдавливанием, ”Сделать" .Или "Создать в Детали Объект Отверстие Сквозное - Здесь [задает привязочные объекты] - Сделать".

Во-вторых, интерфейс ориентирован на мышление инженера - система оперирует не геометрическими понятиями, а инженерными терминами (сторона, размер, отверстие, фаска, литейный уклон, труба, кабель, жгут, инструмент и т. д.).

Процесс создания чертежа или нескольких листов одного чертежа по твердотельной модели детали или сборки в общем случае состоит из следующих шагов.

1) Определение главного вида. Пользователь вызывает шаблон чертежного листа (в том числе и ЕСКД), указывая необходимый ему формат (A0, A1, ...) или задавая размеры сторон листа, и определяет вид на деталь или сборку, который будет главным.

2) Определение масштаба изображения чертежа. Это тоже параметр, и он может быть изменен потом, например, когда чертеж насыщен сечениями, разрезами и дополнительными видами. Можно для основных видов задавать один масштаб, а для остальных элементов - другой.

3) Определение проекционных видов. Вызов операции из пункта меню "Отобразить проекционные виды". Здесь возможна настройка на автоматическое отображение видов "сверху" и "справа" (ISO, ЕСКД), "снизу" и "слева" (ANSI) или любой вариант, в том числе аксонометрия или изометрия.

4) Определение расположения на чертеже дополнительных видов, сечений и выносных изображений. При этом они тут же отображаются в том месте, куда указал пользователь, но в любой момент могут быть передвинуты или перемасштабированы.

Необходимые сечения и разрезы определяются в пространственной модели детали или сборки с помощью так называемой Datum Plane (опорной плоскости), которая привязывается к характерным объектам детали или сборки (осям отверстий, ребрам, вершинам, локальным осям координат и т. д.). Для полученных сечений и разрезов (X-section) задается уникальное имя (А-А или Б-Б, например), которое потом отображается на чертеже. Возможно определение ломаных сечений и разрезов.

5) Происходит автоматическое отображение всех размеров (параметров), задействованных в определении детали - пользователю остаются только косметические операции: пере-

двинуть размер, выровнять по линии, переключить отображение с одного вида на другой вид и т. п.

6) Надписи чертежа. Пользователь может вводить надписи чертежа прямо из командной строки или отображать надписи из внешнего файла. При этом в текст могут вставляться поля, ассоциативно отслеживающие текущее значение того или иного параметра. Например, надпись чертежа:

"4. Отверстия диаметром d24:83 сверлить инструментом СРТ-0934-456."

будет ассоциативно отображать значение размера с идентификатором d24, который принадлежит 83-му компоненту сборки. Можно также определить любые шрифты изображения надписей, для этого в модуле Pro/Detail имеется простой редактор шрифтов, в частности разработан ЕСКД-шрифт для платформ Unix, Windows 95 и NT.

Компоновка сборки производится путем размещения любых деталей и подсборок, для чего используются простые команды, такие как "совместить", "выровнять" и "вложить". В процессе сборки оказывается полезным использовать отдельное окно иерархического дерева сборки, с помощью которого возможен выбор компонентов и их реорганизация. Быстрая и качественная визуализация больших сборок основывается на создании упрощенных представлений сборки, либо на использовании фотореализма и навигации (программа Nay-Through) которые включают, исключают или заменяют компоненты. Эти упрощения определяются индивидуально для сборки, либо автоматически (на лету) самой системой.

Непосредственно в ходе сборки можно изменять размеры деталей, создавать и модифицировать базовые плоскости, систему координат и расположение сечений. При необходимости к исходным компонентам добавляются параметрические сборочные фичерсы, представляющие собой операции механообработки (например сверление, фрезерование, пазы и т. д.), которые должны выполняться после сборки компонентов. Сборка сохраняет параметрические свойства входящих в нее деталей и, кроме того, для определения размеров, формы и расположения детали могут вводиться зависимости от параметров других компонентов.

Любую сборку можно проверить на "собираемость", причем возможны два режима контроля: проверка на взаимопроникновение деталей или подсборок друг в друга и проверка на зазоры между деталями (контроль совместимости допусков/посадок). Аппарат анализа сборок включает также автоматическую разборку, получение инженерной информации, спецификаций, ссылочных размеров и массо-инерционных характеристик сборки.

Типовое проектирование поддерживается понятием семейства сборок, в котором детали различного размера и формы комбинируются для разработки серий или семейств изделий. Для семейства создается таблица, которая будет служить обобщенной сборкой или шаблоном компонентов. На основе таблиц производится автоматическое замещение одной детали на другую в сборке, замещение устаревшей детали, внесение изменений в конструкцию. Такой аппарат дает способ быстрой разработки широкого набора узлов, отличающихся компонентами.

1.9 Импортные САПР – Unigraphics

Система высшего уровня CAD/CAM/CAE Unigraphics представляет собой постоянно развивающийся многомодульный программный продукт, позволяющий осуществить так называемый Виртуальный Процесс Проектирования Изделия (Virtual Product Development, VPD), то есть полностью моделировать реальные процессы от эскизного проектирования до изготовления. Это делает Unigraphics наиболее предпочтительной среди аналогичных систем.

Разработчики Unigraphics постоянно анализируют опыт использования системы в реальном процессе проектирования и производства на предприятиях заказчиков и потенциальных клиентов. Всё это привело к впечатляющему прорыву в области проектирования, производства, управления сборками масштаба изделия относительно других систем. Unigraphics позволяет работать с единой информационной моделью изделия в целом, на любом этапе от проектирования до выхода на технологию изготовления. Unigraphics имеет следующие пре-

имущества по сравнению с аналогичными системами: Основан на ядре - PARASOLID Лучшее ядро, построенное на концепции точного, ссылочного представления объекта в базе данных системы.

Объекты изначально являются твердотельными и основаны на полной ассоциативности и параметрическом дереве построения. WAVE ТЕХНОЛОГИЯ Позволяет работать и модифицировать изделие, через набор обобщенных параметров. Технология, представляющая следующую ступень обычной параметризации, что резко сокращает проведение сложных изменений и модификаций изделия в целом по обобщенным параметрам.

Сильнейший технологический модуль (CAM) Включает в себя самый полный набор операций и подопераций, по обработке всевозможных деталей на станках с ЧПУ. Возможность генерировать траектории на 2, 2.5, 3, 4, 5-ти координатном оборудовании, в том числе токарную и электроэрозионную обработку. По результатам опроса агентства CIMDate: "Среди всех поставщиков CAD/CAM систем Unigraphics рассматривается как наиболее конкурентоспособный продукт из всех, имеющихся сегодня на рынке". Развитые средства адаптации.

Открытый мощный программный интерфейс дает возможность разрабатывать собственное прикладное программное обеспечение, которое будет полностью интегрировано в "Unigraphics", от простых (язык "GRIP") , до сложных (Open API).

Система Unigraphics может быть интегрирована с любой другой CAD/CAM/CAE системой, используемой на предприятии, имеет обширную партнерскую программу от ведущих производителей специального математического обеспечения. Unigraphics имеет модульную структуру, которая позволяет любому пользователю на любом уровне выбрать и лицензировать точно то, что ему нужно по наиболее приемлемой цене. Unigraphics признаётся во всем мире как продукт, аккумулирующий лучшую мировую практику проектирования.

1.10 Импортные САПР – SolidWorks

Базовое решение SolidWorks - это система гибридного параметрического моделирования, которая предназначена для проектирования деталей и сборок в трёхмерном пространстве с возможностью проведения различных видов экспресс-анализа, а также оформления конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД. Отличительными особенностями SolidWorks являются [6]:

- твердотельное и поверхностное параметрическое моделирование;
- полная ассоциативность между деталями, сборками и чертежами;
- богатый интерфейс импорта/экспорта геометрии;
- экспресс-анализ прочности деталей и кинематики механизмов;
- специальные средства по работе с большими сборками;
- простота в освоении и высокая функциональность;
- гибкость и масштабируемость;
- 100% соблюдение требований ЕСКД при оформлении чертежей;
- русскоязычный интерфейс и документация.

В SolidWorks можно одинаково удачно работать как с твёрдыми телами, так и с поверхностями. Как правило, деталь представляет собой твёрдое тело, поверхность, либо - сочетание твердого тела и набора поверхностей. Процесс построения 3D модели основывается на создании элементарных геометрических примитивов и выполнения различных операций между ними. Подобно конструктору "LEGO" модель набирается из стандартных элементов (блоков) и может быть отредактирована путём добавления (удаления) этих элементов, либо - путём изменения характерных параметров блоков. 3D модель несёт в себе наиболее полное описание физических свойств объекта (объем, масса, моменты инерции) и даёт проектанту возможность работы в виртуальном 3D пространстве, что позволяет на самом высоком уровне приблизить компьютерную модель к облику будущего изделия, исключая этап макетирования.

В течение последних нескольких лет разработчики SolidWorks уделяют пристальное внимание работе с большими сборками, количество компонентов которых может составлять десятки и сотни тысяч единиц. Безусловно, для работы с такими комплексными моделями требуется использовать специальные методики управления отдельными деталями и узлами сборки, рационально распоряжаться ресурсами процессора и оперативной памяти. Для этого в SolidWorks существует специальный режим, который так и называется "Режим работы с большими сборками". Этот режим позволяет оптимально распределить программные и аппаратные ресурсы, экономя, таким образом, время загрузки и перестроения сборки. Лучшим доказательством работоспособности "Режим работы с большими сборками" являются работы наших заказчиков, которые в течение последних двух лет создают крупные проекты, состоящие из 10 - 60 тысяч компонентов.

Экспресс-анализ В базовую конфигурацию SolidWorks, входит модуль экспресс-анализа прочности - COSMOSXpress. COSMOSXpress является "облегчённой" версией пакета COSMOS/Works, и предназначен, в первую очередь, для инженеров-проектировщиков, не обладающих глубокими познаниями в теории конечно-элементного анализа. Тем не менее, COSMOSXpress позволяет проектировщику определить, где расположены концентраторы напряжений, оценить "перетяжелённые" элементы конструкции, из которых может быть удалён избыточный материал с целью снижения веса и, соответственно, стоимости будущего изделия.

COSMOSXpress выполнен в виде программы-помощника, подсказывающей пользователю последовательность действий, необходимых для подготовки расчётной модели и проведения анализа. Пользовательский интерфейс COSMOSXpress, как и SolidWorks, выполнен на русском языке, что по-своему уникально, поскольку этого нет ни в одной импортной системе конечно-элементного анализа.

Оформление чертежей. Процесс конструирования в SolidWorks не заканчивается на разработке объемных деталей и сборок. Программа позволяет автоматически создавать чертежи по заданной 3D модели, исключая ошибки проектанта, неизбежно возникающие при начертании проекций изделия вручную. SolidWorks поддерживает чертёжные стандарты GOST, ANSI, ISO, DIN, JIS, GB и BSI. Чертежи SolidWorks обладают двунаправленной ассоциативностью с 3D моделями, благодаря чему размеры модели всегда соответствуют размерам на чертеже. В SolidWorks имеется бесплатный модуль - eDrawings, с помощью которого можно создавать, просматривать и выводить на печать электронные чертежи SolidWorks и AutoCAD. Благодаря встроенной программе просмотра чертежи eDrawings можно сразу же открыть для просмотра без использования каких-либо заранее установленных на компьютере CAD-систем или других средств просмотра. Очень удобным и наглядным средством, позволяющим понять конструкцию изделия, изображённого на чертеже, является возможность анимировать чертёж и посмотреть, как соотносятся между собой чертежные виды.

Интерфейс прикладного программирования В состав базового решения SolidWorks входит специальный интерфейс для разработки пользовательских подпрограмм - SolidWorks API (Application Programming Interface). API интерфейс содержит сотни функций, которые можно вызывать из программ Microsoft Visual C++, Visual Basic, VBA (Excel, Word и т.д.) или файлов-макросов SolidWorks. Эти функции предоставляют программисту прямой доступ к функциональным возможностям САПР SolidWorks и позволяют автоматизировать и, таким образом, идеально настраивать систему на решение специфичных задач конкретного предприятия. В отличие от ряда конкурирующих систем, API-интерфейс входит в базовую функциональность SolidWorks и поставляется совершенно бесплатно.

1.11 Сопоставление отечественных САПР: Компас и T-Flex

Довольно подробный обзор мировых CAD/CAM систем всё же не даёт ответа руководителю предприятия на вопрос о предпочтении той или иной системы. Ещё и потому, что стоимость импортных систем значительно превышает стоимость отечественных разработок. Поэтому остановимся подробнее на двух наиболее доступных российских САПР системах : Компас фирмы Аскон [2] и T-Flex – производитель ОА «Топ системы» [7].

Итак, в моём распоряжении находятся: Компас 3D 5.11 R03 и T-Flex CAD 3D 7.0 – это одни из самых последних разработок конкурирующих фирм. Оговорюсь, что оба продукта являются демонстрационными версиями, предназначенными только для ознакомительных и учебных целей. Поэтому они лишены многих возможностей лицензионных версий, но вместе с тем существующего потенциала достаточно, чтобы можно было сделать какие-то выводы.

Сердцем любой графической системы является её графическое ядро. Руководство компании «Топ Системы» в качестве такого ядра выбрало себе ядро Parasolid фирмы Unigraphics, тем самым, облегчив себе задачу, но вероятно изрядно потратившись, может быть именно по этому и стоит эта система 1,5 тыс. дол. при стоимости Компаса в 2500 руб!

Однако теперь с новым графическим ядром T-Flex стал «понимать» все модели сделанные в системах с таким же ядром, например Unigraphics или Solid Works. Кроме того, как утверждают создатели этой системы, она стала работать быстрее и увеличила свои возможности. Не буду спорить, потому что не работал с предыдущими версиями, но могу сказать одно, минимальные системные требования для этой системы на сегодняшний день это процессор Pentium II 300, когда как для Компас нужен 486-ой Intel. Конечно предприятие, которое может себе позволить купить систему за полторы тысячи долларов, не будет экономить на компьютерах, но если компьютеры уже на предприятии есть, то менять их не потребуется.

Программисты компании Аскон разработали своё собственное графическое ядро, что делает им конечно большую честь, но зато не позволяет обмениваться данными с другими системами на ядре Parasolid. А может, это было сделано специально, ведь они же с Топ Системами конкуренты.

По поводу обмена данными замечу: несмотря на то, что обе системы «не понимают» друг друга, в них предусмотрены функции обмена данными с другими системами на пример AutoCAD. Предусмотрены-то, они предусмотрены, но вот работают ли должным образом - это ещё вопрос. К примеру, Компас ни в какую не хотел импортировать чертёж из AutoCAD, показывая в качестве результата импорта пустой лист. Даже чертёж, который был с успехом экспортирован из Компаса в AutoCAD, тоже не был прочитан. Конечно может это издержки демоверсии, но тогда зачем вообще такую функцию, только пользователя дразнить и всё. T-Flex же прочитал файл AutoCAD в целом не плохо, за исключением того, что штриховка была отображена некорректно, а именно очень частыми были линии и на чертеже была фактически чернота вместо штриховки.

Производители же T-Flex утверждают, что их программа способна не только читать чертежи AutoCAD, но и строить по ним объёмные модели. Поверим им на слово, так как, чтобы проверить это надо потратить не один месяц на изучение продукта. Таким количеством времени мы не располагаем.

По поводу 3D моделирования у меня возник один вопрос. А зачем оно собственно в Компас'е нужно?. Ну да, можно посмотреть на деталь в будущем, можно в связи с этим не делать прототип детали, можно создать сборку и проконтролировать её собираемость, Но хороший конструктор и без компьютера представляет, как будет выглядеть его деталь, а собираемость он контролирует в голове. Да, Компас позволяет по сборке создать спецификацию, но он и по чертежу позволяет сделать то же самое, да и не является составление спецификации самоцелью моделирования, потому что легче вручную создать спецификацию, чем моделировать все детали, а потом их собирать.

А если уж очень необходимо посмотреть на модель детали, то можно её сделать и в другой системе, которая непосредственно специализируется на 3D моделировании, например 3D Studio Max или ещё что-нибудь, так там и анимацию можно сделать, что будет намного нагляднее.

Непосредственно-то для производства Компас, что может предложить? Как с помощью него можно ускорить производственный процесс? У меня ответ один – никак. Конечно, здесь я веду речь о финальной стадии 3D проектирования – о написании управляющей программы для станка с ЧПУ, а именно о так называемом CAM – модуле. Конечно в перспективе может разработчики Компаса и сподобятся создать собственный CAM – модуль, но на сегодняшний день он отсутствует.

В составе T-Flex тоже нет этого модуля, но он есть как отдельный пакет T-Flex ЧПУ, способный работать как автономно, так, и интегрировано с T-Flex CAD. Да, он отдельный, он тоже стоит денег, но он есть! А в Компас нет ничего. Справедливости ради скажу, что в Компас есть возможность передачи данных о модели в CAM – модуль другой компании, но наверно тогда лучше просто поставить весь пакет другой фирмы. Правда, на этом можно неплохо сэкономить, но нужна ли будет эта экономия. Если возникнут проблемы с интеграцией этих двух систем. Наверно этот вопрос надо оставить открытым, и пусть каждое предприятие само решает, как поступить.

Я намеренно не стал в этом обзоре сравнивать функции, возможности и удобство работы в каждой из этих программ. Потому что, чтобы всё это сравнить, необходимо хорошенько познакомиться с каждой из систем, а ещё лучше поработать, а по поводу удобства из личного опыта могу сказать, что это дело привычки. Уж на что непривычным был интерфейс Cimaton'a, но ведь привык и теперь как будто, так и надо. Тем более, что интерфейс этих двух программных продуктов очень похож: вверху, как и у всех Windows-приложений, находится строка меню, слева дерево компонентов модели, а справа поле построения. На рисунках 1.11 и 1.12 показан интерфейс этих программ на примере построенной модели направляющей.

Вывод по данному сравнению можно сделать такой. Данные две системы предназначены немного для разных целей. То предприятие, которое хочет быстро и недорого внедрить САПР технологии в производство может остановить свой выбор на Компас. То же, которое хочет по максимуму модернизировать свою подготовку производства и не жалеет на это никаких средств, конечно же нуждается в T-Flex.

Но однозначного ответа на вопрос, что лучше Компас или T-Flex, Аскон или Топ-Системы, наверно всё-таки пака нет, ведь не зря же обе эти фирмы до сих пор являются лидерами на отечественном рынке САПР технологий и до сих пор успешно конкурируют друг с другом.

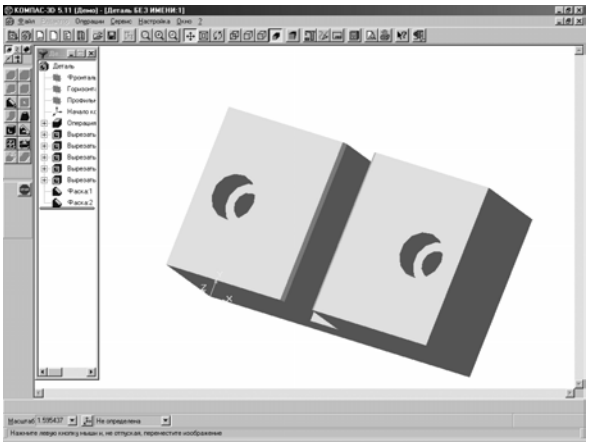


Рис. 1.11

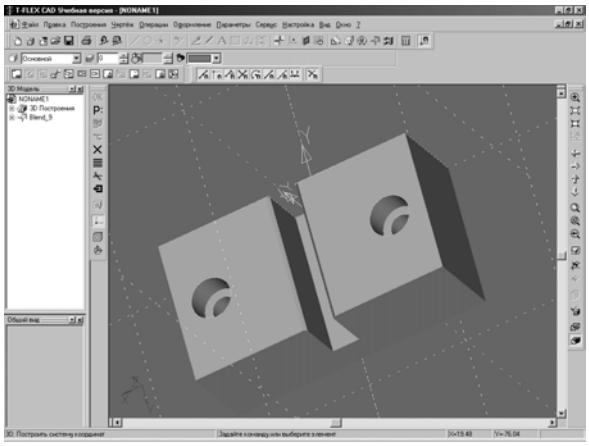


Рис. 1.12

1.12 Особенности применения компьютерно-интегрированного проектирования на ОАО «ИФО»

Акционерное общество «ИФО» первое ярославское предприятие, которое приступило к использованию CAD/CAM-систем при подготовке производства вкладышей для выпуска пресс-форм шинного производства (рис.1.13). Первоначально это была система одна система Cimatron. Поставлена она была по инициативе первого директора ОАО «ИФО» Лабуза И.В. На сегодняшний день предприятие имеет хорошую материальную базу, современное компьютерное оснащение, а в список используемых им САПР наряду с Cimatron входят такие системы как: T-Flex, AutoCAD, Компас и др.

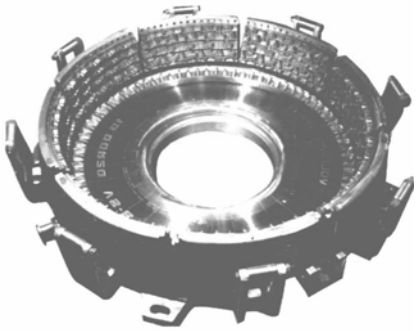


Рис. 1.13

Механическая обработка большинства изделий на предприятии ведётся исключительно на станках с ЧПУ, обработка же на универсальном оборудовании ведётся по шаблонам, которые также изготавливаются на станках с числовым программным управлением, всё это и позволяет в полной мере использовать возможности САПР – систем.

Процесс проектировочной работы на предприятии можно разделить на два больших этапа: конструкторский и технологический.

На первом этапе в отделе главного конструктора, инженеры создают чертежи будущих изделий. По данным чертежам проектируется необходимая оснастка, и создаются её чертежи. В зависимости от того? создаётся ли чертёж заново или исправляется старый, необходимо ли использование параметрических возможностей систем или без них можно обойтись, а также по ряду других аспектов – выбирается та или иная САПР для создания 2D объектов, то есть чертежей. В частности, в системе AutoCAD создаются новые чертежи. Благодаря встроенному в AutoCAD языку AutoLISP, в ряде случаев он стал просто незаменим. Специалисты предприятия могут легко расширить возможности этой системы, написав свою собственную процедуру. Одной из таких разработок является возможность написания круговых надписей для гравировок на покрышках. Параметрические возможности T-Flex широко используются при создании шаблонов, контуров, изменении старых чертежей.

Готовые чертежи передаются по сети или в отпечатанном виде специалисту по трёхмерному моделированию, работающему в среде Cimatron. Он, в свою очередь, создаёт модель детали или оснастки и на этом путь проекта в конструкторском отделе заканчивается. Он конечно может сюда ещё вернутся на доработку или как прототип при создании очередной модификации, но в целом наступает черёд технологов.

В отделе главного технолога для спроектированной детали, инженеры-технологи разрабатывают технологию обработки в зависимости от требований наложенных конструкторами, а также наличия и возможностей оборудования. Вся технологическая документация оформляется в виде операционных карт с операционными эскизами. Операционные карты заполняются в системе «Автопроект», а эскизы к ним в системе «Компас». После того, как и модель детали, и технология для неё готовы, наступает финальная стадия проектной работы. В работу вступает технолог, который для готовой модели детали в системе Cimatron создаёт управляющие программы для станков с ЧПУ. Затем по сети отправляет их на сервер ЧПУ, на жёстком диске которого расположено множество папок, каждая из которых соответствует определённому станку. Далее о готовности программ и их шифр сообщается в цех. Наладчик записывает на необходимые станки управляющие программы, и начинается производственный процесс. А вся конструкторская и технологическая документация поступает в электронный архив предприятия.

Весь выше изложенный материал можно представить в схематичном виде (рис.1.14).

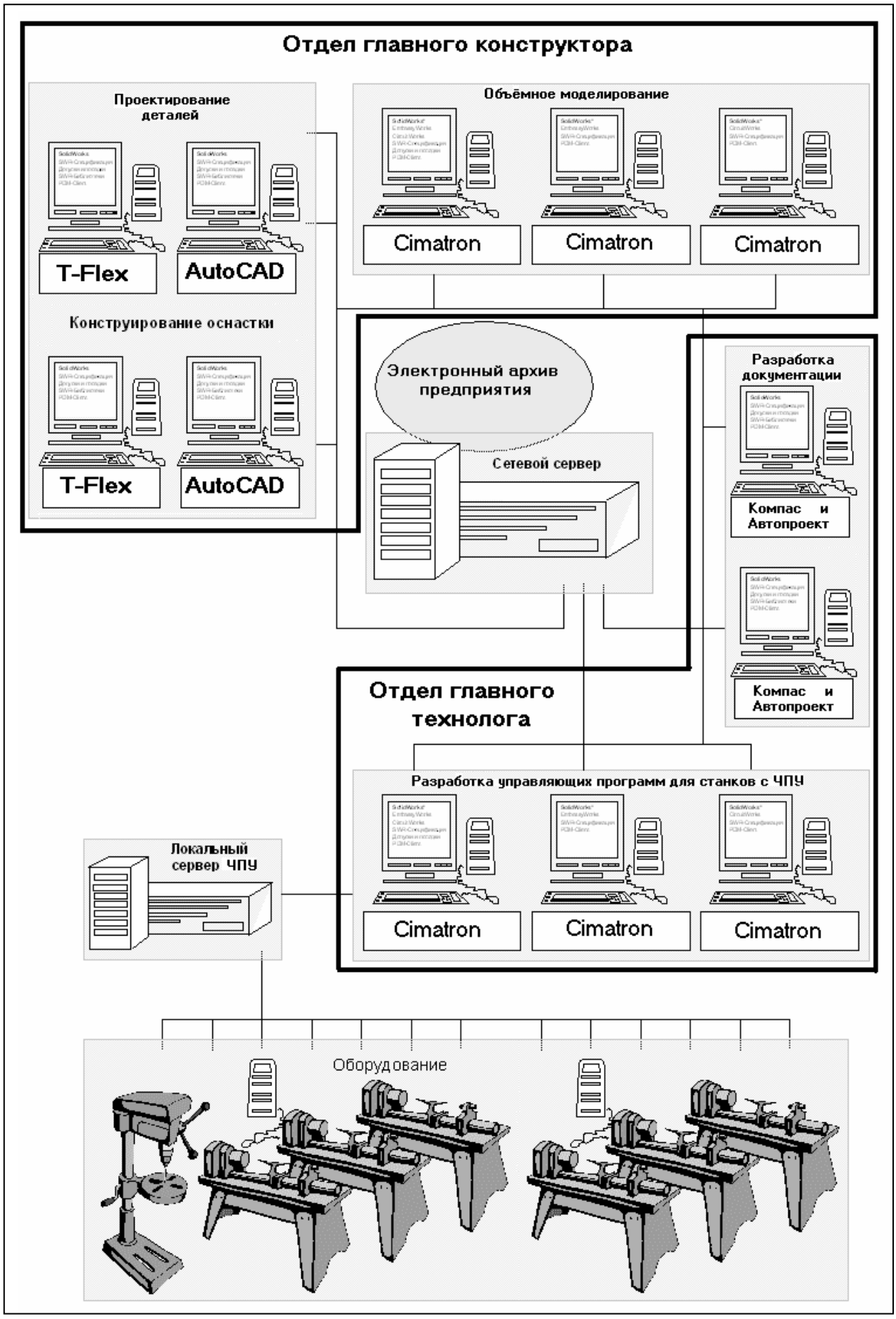


Рис.1.14

1.13 Постановка задачи

При переходе кафедры «Технология машиностроения» на новую специализацию «Компьютерно-интегрированного машиностроения», университет приобрёл одно учебное место системы MCAD Cimatron. Эта система, внедрённая ярославским заводом «ИФО» в начале перестройки, известна широкими возможностями CAD и, особенно, CAM-модулей. Она и стала базовой в учебном процессе на новой специальности. Целью проекта является практическое использование и развитие знаний, полученных по специализации «Компьютерно-интегрированное машиностроение», для технологической подготовки производства детали «корпус» номенклатуры АО «Холодмаш» на базе MCAD-системы Cimatron. Сформулируем следующие задачи работы:

1. Перевести существующую бумажную конструкторскую документацию, используемую на АО «Холодмаш», в чертежи AutoCAD 2002 и 3D модели Cimatron.
2. Используя Cimatron разработать сборку приспособления для токарной обработки детали «корпус».
3. Разработать в Cimatron сборку контрольного приспособления финишной обработки детали «корпус».
4. Используя численную модель детали технологической оснастки разработать в CAM-модуле Cimatron управляющую программу для её изготовления на станке с ЧПУ.
5. Рассчитать показатели экономического эффекта в случае перехода АО «Холодмаш» на кампьютерно-интегрированное проектирование.

1.14 Методика создания 3D модели корпуса

1.14.1 Принципы создания 3D модели в CIMATRON

Все объекты в Cimatron строятся по одинаковому принципу. Выбирается плоскость построения. Ею может быть либо основная координатная плоскость, либо вспомогательная плоскость, построенная пользователем, либо плоская поверхность уже имеющегося тела. На плоскости создаётся эскиз контура будущего объекта. Затем на эскизе проставляются размеры, и выполняется операция выдавливания - EXTRUDE. Операция выдавливания может выполняться с добавлением или с удалением материала [28].

Итак, запускаем систему, из меню функций управления изображением (оно вызывается одновременным нажатием средней и правой кнопок мыши или клавишей F8) выбираем пункт PICTURE (рис.1.15) и устанавливаем изометрический режим ISO (рис.1.16).

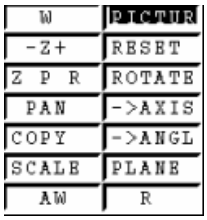


Рис.1.15

Рис.1.16

Подготовим базовые плоскости для чего из меню DATUM выберем пункт PLANE, а затем MAIN. В результате получим 3 взаимно перпендикулярные плоскости (рис.1.17).

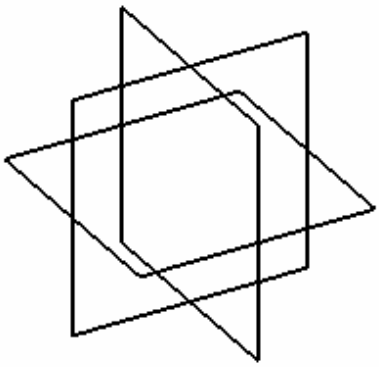


Рис. 1.17

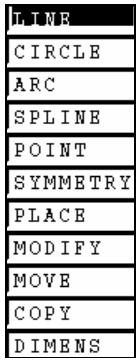


Рис.1.18

Рассмотрим построение некоторых типовых объектов

Параллелепипед

Как было сказано выше, для построения эскизов может использоваться любая плоскость. Построим параллелепипед на горизонтальной плоскости. Для этого выбираем из меню CREATE > > EXTRUDE >> NEW. И указываем плоскость на которой будет строится контур. В нашем случае указываем на горизонтальную плоскость .Поскольку это первый объект, то система не спрашивает строить ли объект добавляя или удаляя материал. Во последующем на этот вопрос тоже потребуется ответить в зависимости от того надо ли добавить материал или удалить его. Итак после проделанного попадаем в модуль SKETCHER (эскизник) где система предлагает построить эскиз контура будущего объекта.

С помощью инструмента LINE из меню инструментов (рис.1.18) нарисуем контур эскиза. При этом на стоит уделять особого внимания его размерам. Все размеры проставляются позже, после того как весь эскиз будет готов. Для. этого из меню инструментов (рис.1.18) выбираем пункт DIMENS (размеры). И, используя возможности данной функции образмери-

ваем объект. Как только будут указаны все необходимые размеры, система проинформирует об этом сообщением FULLY DIMENSIONED (рис.1.19).

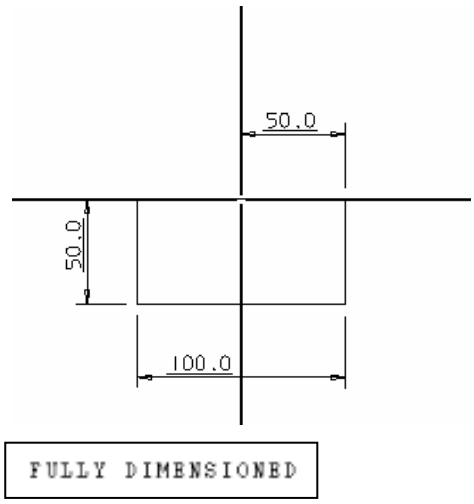


Рис. 1.19

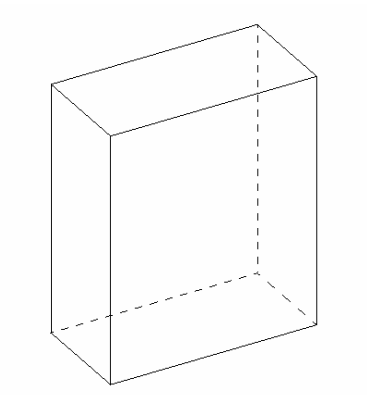


Рис.1.20

Заканчиваем построение компонента нажатием на кнопку EXIT. После этого система предлагает ряд опций, с помощью которых можно указать высоту объекта (рис.1.21). Среди них:

- DELTA – высота выдавливания указывается явным образом с клавиатуры;
- THROUGH – объект выдавливается насквозь (применимо только в случае выдавливания с удалением материала);
- FROM – указывает плоскость (или поверхность тела) от которой следует начать выдавливание;
- TO - указывает плоскость (или поверхность тела) до которой следует выдавливать.

Рис. 1.21

Выбираем опцию DELTA, указываем высоту объекта, например 120 мм. и нажимаем кнопку APPLY. В результате система строит требуемый параллелепипед (рис.1.20).

Цилиндр

Цилиндр можно построить точно также как был построен параллелепипед. Но цилиндр – это тело вращения, а в системе Cimatron существует отдельная функция, для построения тел вращения – REVOLVE.

Функция REVOLVE строит тело вращения путём поворота контура объекта вокруг оси.

Для построения тела вращения функцией REVOLVE требуется указать ось симметрии этого тела. Укажем ось как пересечение двух плоскостей. Для этого выберем меню DATUM>> AXIS>>2 PLANES. И укажем две плоскости, пересечением которых и будет требуемая ось. В ответ на приглашение системы RESIZE AXIS растягиваем ось до нужной длины (рис. 1.24).

Из меню CREATE>>REVOLVE выбираем пункт NEW, затем в ответ на вопросы системы указываем ось вращения и плоскость эскиза. Попадаем в модуль SKETCHER, рисуем и образмериваем контур. Затем заканчиваем работу с эскизом нажатием кнопки EXIT. После этого система предлагает ряд опций, с помощью которых можно указать угол поворота контура (рис.1.22). Среди них:

- DELTA – угол поворота указывается явным образом с клавиатуры;
- FULL – контур делает полный поворот;

- FROM – указывает плоскость (или поверхность тела) от которой следует начать поворот;
- TO - указывает плоскость (или поверхность тела) до которой следует поворачивать контур.

Рис. 1.22

Для построения цилиндра контур следует повернуть на 360 градусов, поэтому выбираем опцию FULL и нажимаем кнопку APPLY. В результате система строит цилиндр (рис 1.23).

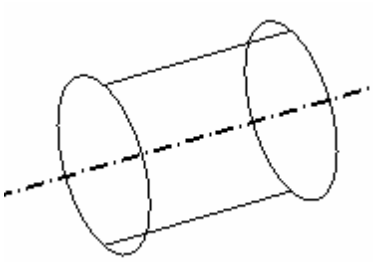


Рис.1.23

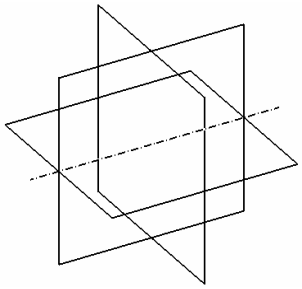


Рис. 1.24

Отверстия

В Cimatron существует возможность создания отверстий тремя способами. Каждому из этих способов соответствует пункт в меню CREATE>>HOLE:

- SHAPED – фигурное;
- STRAIGHT – гладкое;
- AXIS – вдоль оси.

Для гладкого отверстия задают только диаметр и глубину, для отверстия вдоль оси – ось, диаметр и глубину. Построение фигурного отверстия ведётся аналогично функции REVOLVE, но с удалением материала. Рассмотрим подробнее эту функцию. В качестве объекта, в котором будем строить отверстия, возьмём построенный ранее параллелепипед.

Итак, в меню CREATE>>HOLE выбираем пункт SHAPED. Указываем базовую плоскость и попадаем в модуль SKETCHER. Здесь следует точками указать центры отверстий, которые будут построены за один раз. Далее, образмерив эти точки, выходим из модуля нажатием EXIT. Снова оказываемся в модуле SKETCHER, но на этот раз система предлагает построить половину контура будущего отверстия. На экране появилось перекрестие и базовая осевая линия. Контур отверстия должен быть построен в плоскости этого перекрестия и образмерен относительно оси и центра перекрестия. Он должен начинаться и заканчиваться на базовой оси и не быть замкнутым. Образмериваем контур, нажимаем EXIT и система строит требуемые отверстия (рис. 1.25).

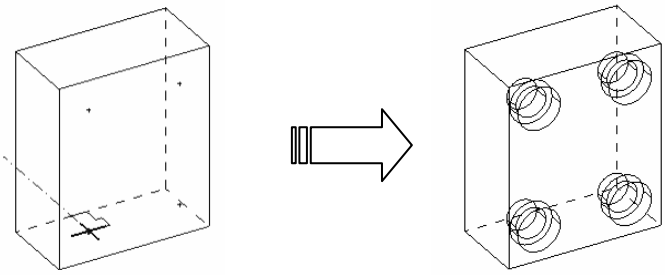


Рис. 1.25

Прочие возможности Cimatron, а также построение иных объектов и методы их видоизменения будем рассматривать непосредственно во время построения модели корпуса.

1.14.2 Создание модели корпуса компрессора

Номенклатура деталей «корпус» на предприятии АО «Холодмаш» насчитывает около десяти модификаций. Отличие большинства корпусов между собой состоит лишь в различных диаметрах отверстий поршневого цилиндра. Значит, имея модель одной детали, можно легко получить модели остальных, только изменив диаметр отверстия. Поэтому рассмотрим моделирование одной из типовых деталей «корпус». Исходной информацией для моделирования является чертёж корпуса, выполненный в AutoCAD 2002 (рис. 1.26). Спецификация приведена в Приложении А.

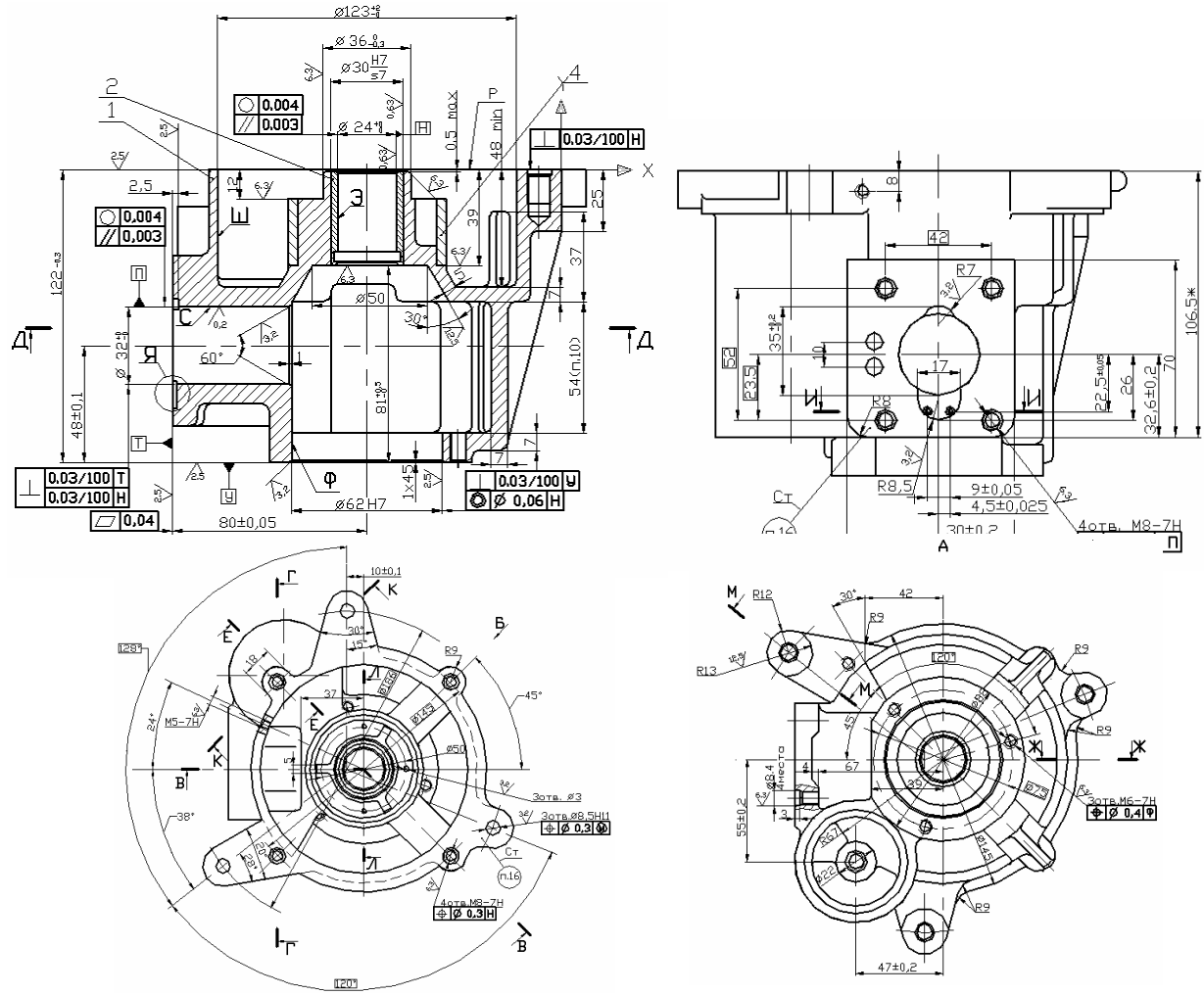


Рис.1.26

Создание модели этой довольно сложной по конфигурации детали целесообразно начать с выбора базового компонента наиболее приближённого по своей форме к реальной детали. В данном случае таким компонентом будет некое тело, проекция которого на горизонтальную плоскость будет совпадать с проекцией детали на эту же плоскость, а высота равна высоте детали. Другими словами нам следует создать криволинейный замкнутый контур (рис.1.27) и “вытянуть” его в направлении вертикали на высоту детали. Но, принимая во внимание тот факт, что контур детали является сложным, нарисовать его эскиз за один раз и правильно образмерить является трудно выполнимой задачей. Поэтому гораздо легче и надёжнее

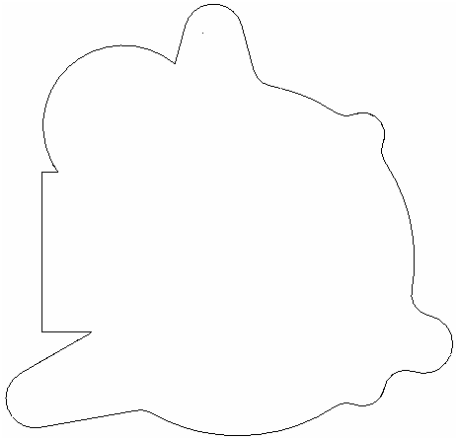


Рис. 1.27

задачей. Поэтому гораздо легче и надёжнее (хотя и дольше) создать сначала исходный компонент – тело большего (или равного) поперечного размера, но с высотой равной высоте детали, например цилиндр (создание цилиндра было описано в предыдущей главе.). Затем частями за несколько раз, удаляя лишний материал из цилиндра можно прийти к базовому компоненту. Последовательность этого процесса можно проиллюстрировать несколькими эскизами (рис.1.28)

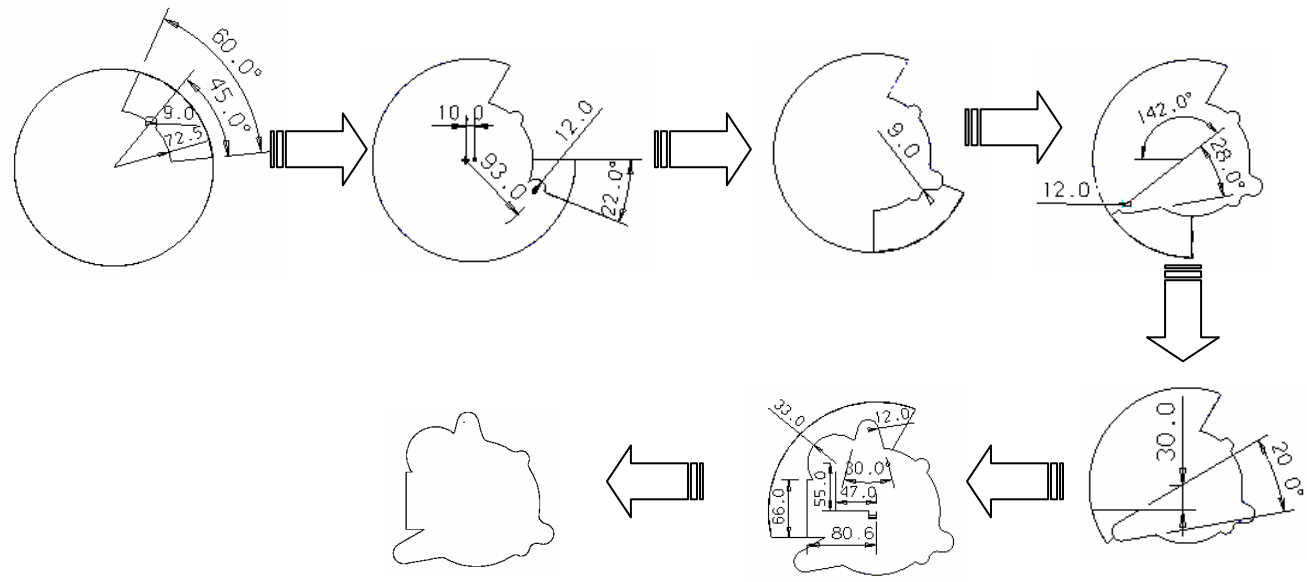


Рис. 1.28

На каждом шаге, создавая эскиз в модуле SKETCHER (эскизник), для того чтобы удалить лишний материал следует либо указать во вкладке DELTA глубину удаления материала равной (или большей) высоте детали, либо выбрать опцию THROUGH (насквозь), а затем принять изменения, нажав на экранную кнопку – APPLY –.

Итак, проделав все манипуляции, в результате получим базовый компонент (рис.1.29)

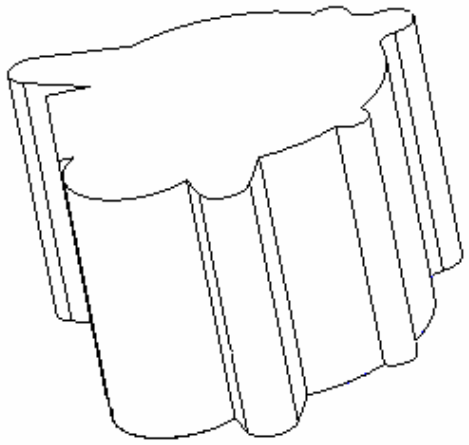


Рис.1.29

Сперва приблизим верхнюю грань полученного объекта к грани корпуса. Функцией EXTRUDE из меню CREATE последовательно вырезаем два уступа с поверхности. Эскизы и новый компонент представлены на рис.1.30. Эскизы выделены толстыми линиями.

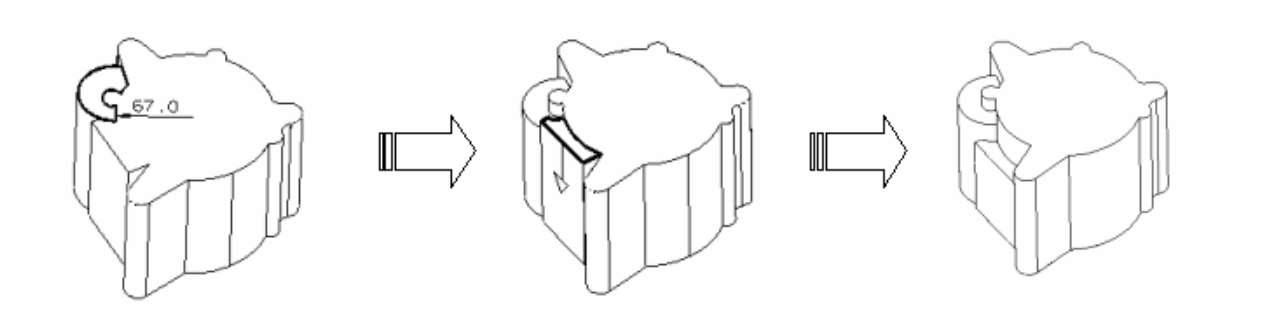


Рис. 1.30

Следует отметить, что при построении эскизов система даёт возможность использовать линии и дуги окружностей принадлежащих плоскости построения. И в том случае, если элемент эскиза совпадает с такой линией или дугой, то размеры для него проставлять не требуется.

Следующими действиями мы будем как бы строгать полученный базовый компонент, постепенно приближая его форму к форме корпуса.

Отделим материал по периферии объекта с целью получения горизонтальных площадок лап и уступов корпуса. Снова, как и в предыдущем случае, воспользуемся методом выдавливания с удалением материала.

Используем последовательностью CREATE>>EXTRUDE>>REMOVE. Укажем базовую поверхность и, пользуясь возможностями модуля SKETHCER, нарисуем и образмерим эскиз первого компонента – лапы. Нажимаем EXIT и выходим из модуля. Система предлагает выбрать метод, которым мы бы хотели указать глубину выдавливания. В первый раз выберем опцию для явного указания глубины с клавиатуры, то есть DELTA, указываем размер и нажимаем APPLY (рис.1.31).

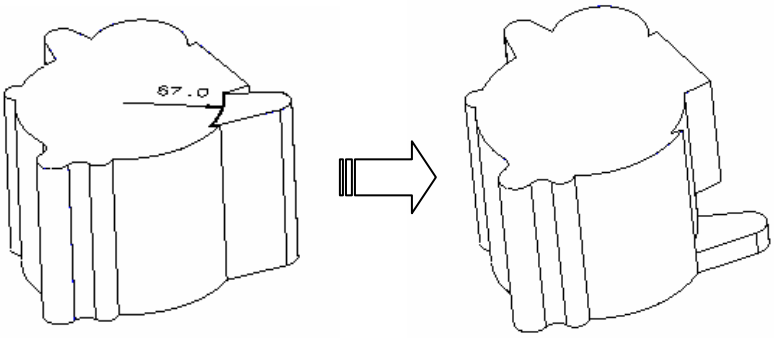


Рис.1.31

Повторим несколько раз все вышеперечисленные действия для остальных частей объекта. Заметим, что при задании глубины выдавливания можно не только явно с клавиатуры указывать величину, но и воспользоваться опцией **ТО**, то есть указать системе **ДО,** уровня какой плоскости следует удалять материал. Такой вспомогательной плоскостью может быть также поверхность уже построенной части компонента. Так, например, при построении остальных лап можно в ответ на запрос системы о глубине выдавливания выбрать опцию ТО и указать на плоскость построенной лапы.

На рис.1.32 показана последовательность удаления материала этими методами.

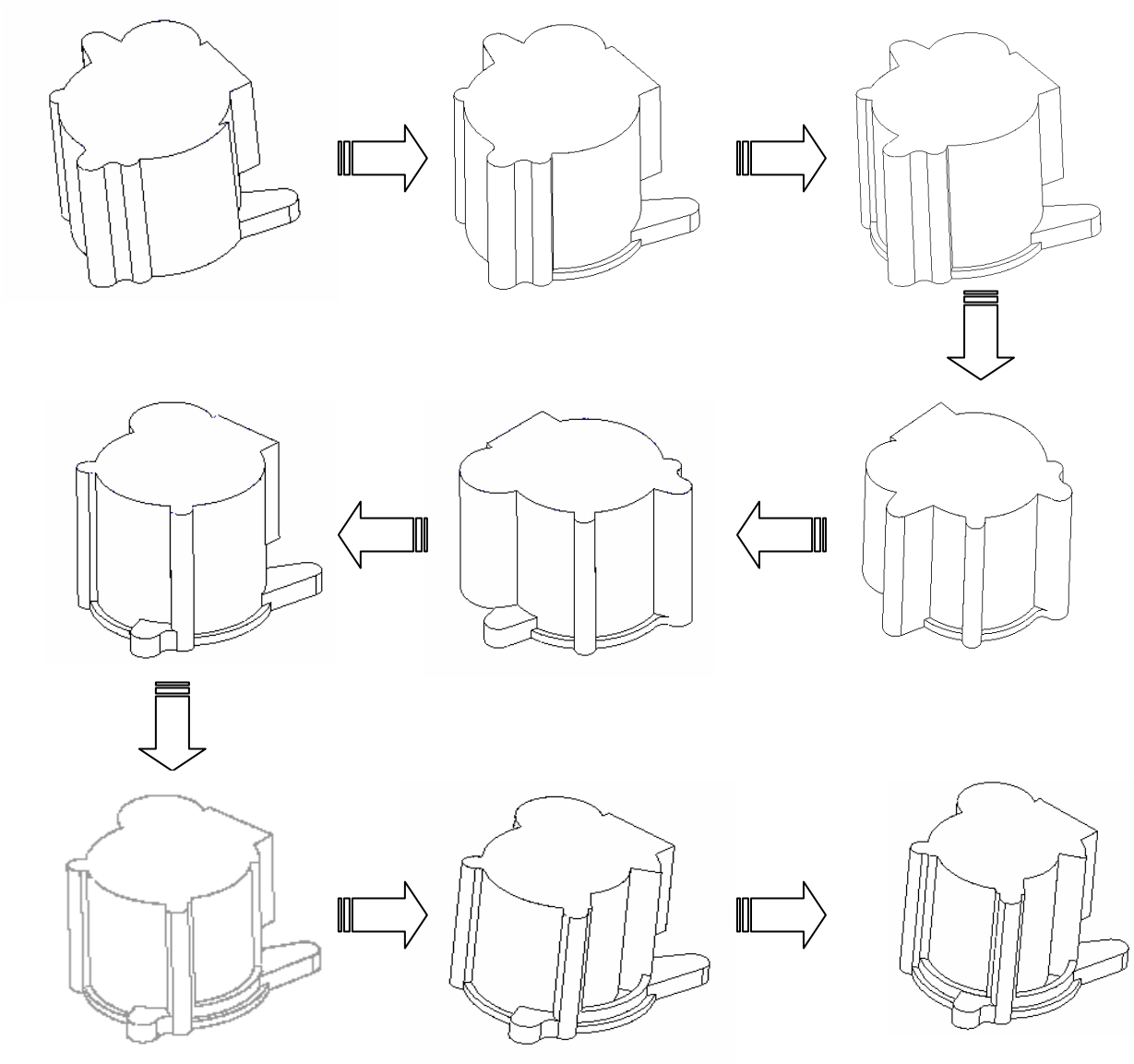


Рис. 1.32

Заметим, что для облегчения рисования эскизов система даёт возможность использования привязки точек. Варианты привязок можно посмотреть в контекстном меню, которое вызываются нажатием правой кнопки мыши (рис.1.33). Описание способов привязки приведены ниже.

- POINT – точка будет поставлена там, где укажет пользователь;
- PARALLEL – параллельно другой прямой;
- NORMAL – перпендикулярно другой прямой;
- TANGENT – касательно к дуге окружности.

Рис. 1.33

Продолжим удалять материал нашей “заготовки” снова используя функцию EXTRUDE. Пока все действия, связанные с использованием этой функции, являются рутинными и не требуют подробного описания, поэтому снова проиллюстрируем результаты шагов последовательностью рисунков (рис. 1.34).

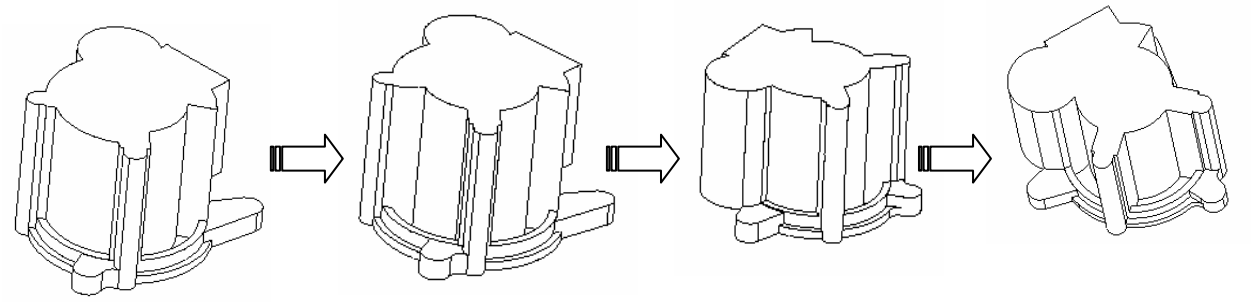


Рис. 1.34

Результатом следующих наших действий должен стать выступ на центральном цилиндре полученного тела (рис.1.35). Но вся сложность заключается в том, что сам выступ начинается ниже уровня поверхности, на которой мы будем создавать его эскиз. В этой связи построим вспомогательную плоскость параллельно основной на уровне требуемого выступа. Для этого воспользуемся последовательностьюDATUM>>PLANE>>PARALLEL. В опции OFFSET указываем расстояние между плоскостями. Затем в ответ на предложение системы показать плоскость, параллельно которой мы бы хотели построить новую, выбираем основную координатную плоскость (она проходит через верхнюю грань тела), и указываем направление построения новой плоскости. Затем, если требуется, меняем размер новой плоскости и на этом заканчиваем построения (рис.1.36). Далее, выполняя выдавливание, на предложение системы выбрать способ задания глубины воспользуемся сначала опцией FROM и укажем построенную вспомогательную плоскость, затем выберем опцию TO и в качестве конечной плоскости укажем нижнюю грань. Сам по себе эскиз данного выступа не представляет никакой сложности, поэтому на нём останавливаться не будем. Повторим выдавливание ещё два раза и получим требуемый выступ с трёх сторон (рис.1.35).

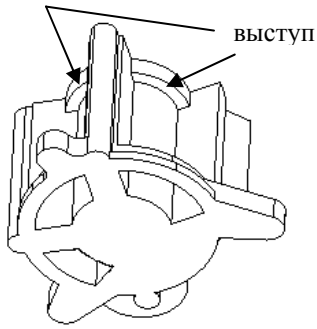


Рис.1.35

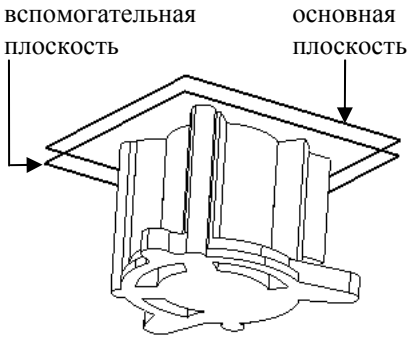


Рис. 1.36

Снова воспользуемся выдавливанием и создадим уступ на поверхности детали. Эскиз уступа и результат выдавливания показаны на рис.1.37. Эскиз выделен толстой линией.

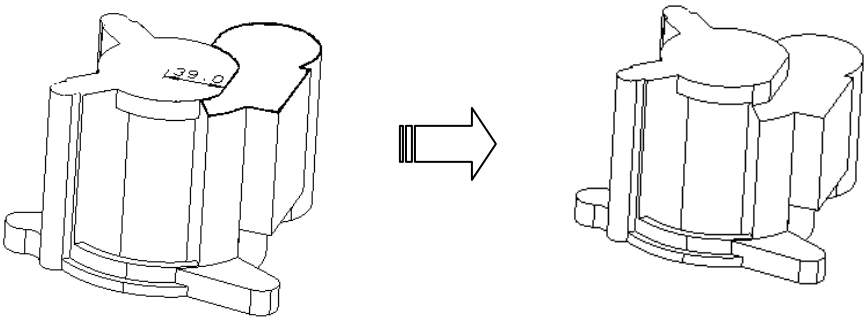


Рис. 1.37

Займёмся оформлением рёбер жёсткости модели. Окончательно (на данный момент) внешняя часть этих рёбер должна выглядеть как показано на рис.1.38. Как видно из рисунка, оба ребра состоят из трёх ступеней (на рисунке обозначены цифрами), они достаточно просто образуются методом выдавливания, который уже многократно был описан выше. Поэтому на них мы останавливаться не будем. Особый же интерес для нас представляет наклонная часть рёбер, которая ко всему прочему должна иметь профиль дуги окружности.

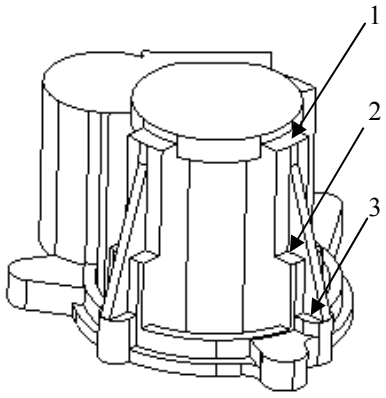


Рис. 1.38

Итак, после выдавливания рёбра будут иметь вид, как показано на рис.1.39. Для образования наклонных поверхностей воспользуемся функцией REVOLVE из меню CREATE. Но прежде создадим дополнительную плоскость, проходящую через центр ребра. Последовательность создания дополнительной плоскости была описана выше. В данном случае процесс тот же, но с той лишь разницей, что сейчас мы строим плоскость, которая не параллельна другой, а повёрнута на определённый угол (в данном случае 45 градусов). А для этого в меню DATUM>>PLANE следует выбрать опцию EDGE AT ANG. Далее обозначаем ось вращения, как пересечение двух координатных плоскостей (рис.1.40). Воспользуемся последовательностью CREATE>> REVOLVE>>REMOVE. Указываем ось вращения и плоскость построения эскиза. Затем система предложит указать проекции элементов модели, относительно которых будет образмерен будущий эскиз. В качестве таких элементов выступят плоские грани будущих наклонных поверхностей (рис.1.41). После этого создаём эскиз (на рисунке он выделен толстыми линиями). Заканчиваем построение эскиза нажатием на EXIT. В качестве способа задания угла поворота воспользуемся опциями FROM – TO, и последовательно укажем грани ребер, как это показано на рисунке. Заканчиваем работу с этой функцией нажатием на APPLY. Результат представлен на рис.1.42.

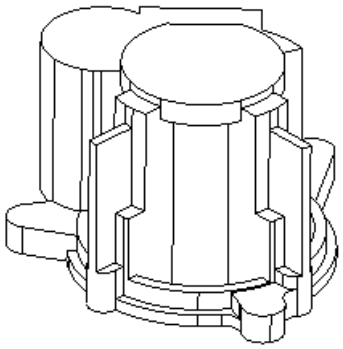


Рис. 1.39

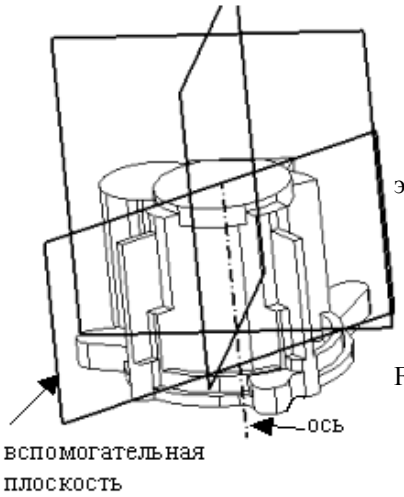


Рис. 1.40

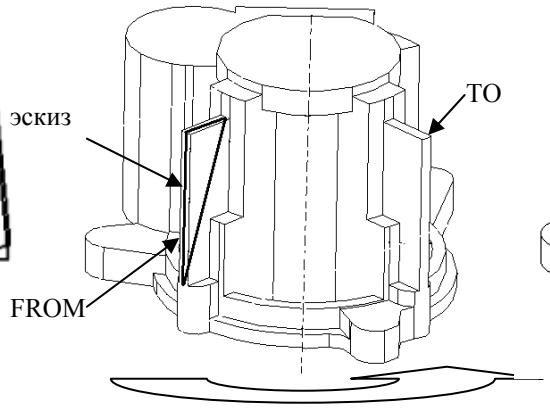


Рис. 1.41

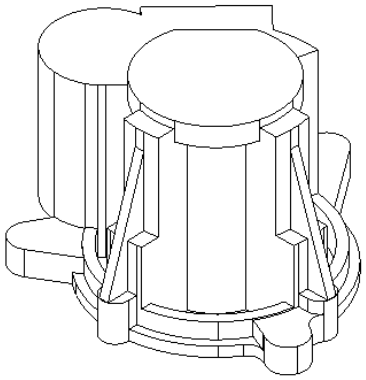


Рис. 1.42

Переворачиваем модель и, снова используя операцию выдавливания, приводим “заготовку” следующему виду (рис.1.43):

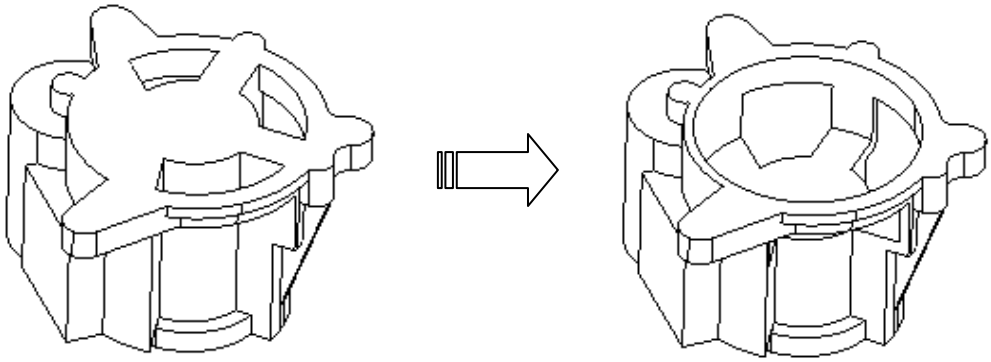


Рис.1.43

Далее, используя функцию REVOLVE с добавлением материала и поворотом эскиза на полный оборот, на поверхности, полученной предыдущими действиями, создадим объект, показанный на рис. 1.44.

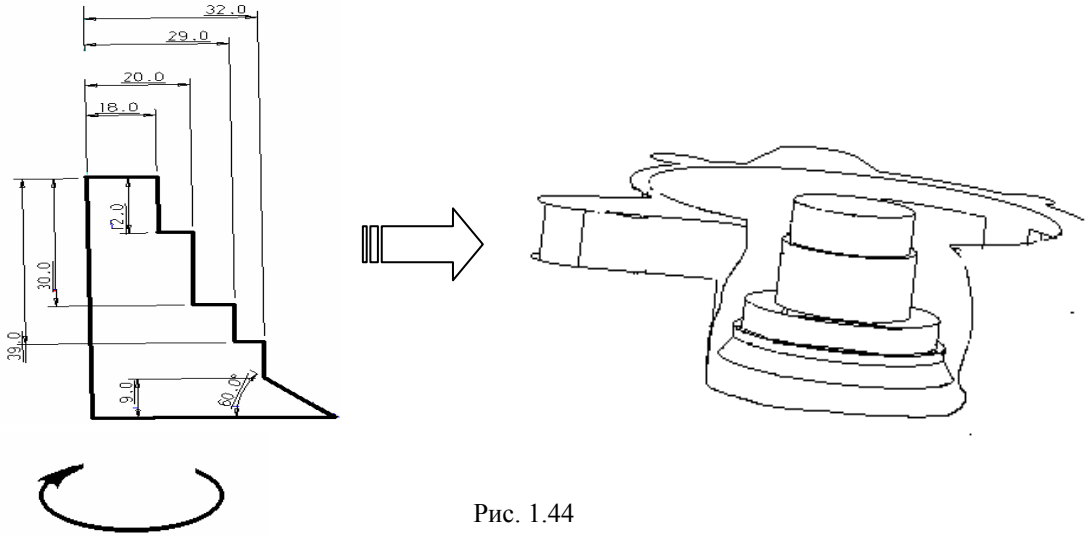


Рис. 1.44

Напомним, что в модуле SKETCHER при создании эскиза необязательно соблюдать размеры и пропорции. Все размеры учитываются системой после образмеривания эскиза.

В центре полученной бобышки создадим сквозное отверстие. Техника создания отверстий была описана в предыдущей главе. Поэтому просто покажем результат (рис.1.45).

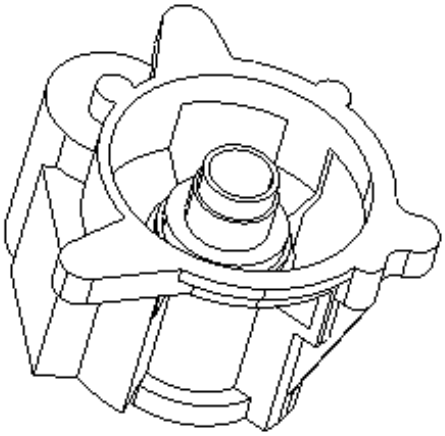


Рис. 1.45

С помощью использования последовательности операций EXTRUDE и HOLE создадим на бобышке три ребра и три отверстия (рис.1.46). Использование этих операций было уже неоднократно описано, поэтому не будем на них останавливаться. Особый же интерес составляют три отверстия на цилиндрической части бобышки. Построение этих отверстий мы и рассмотрим подробнее

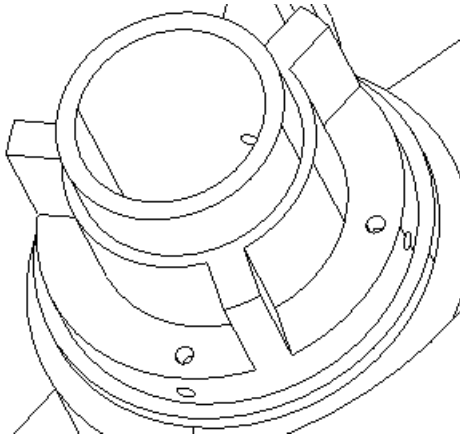


Рис. 1.46

Для создания таких отверстий воспользуемся воз операцией CREATE>>HOLE>>AXIS. То есть построение отверстия вдоль оси. Как можно догадаться для этой операции требуется сперва построить ось будущего отверстия. Построим её как пересечение двух вспомогательных поверхностей (рис.1.47). Чтобы не загромождать рисунок, система Cimatron предоставляет возможность сделать невидимыми некоторые элементы построения. Воспользуемся этой возможностью, для этого в меню BLANK выберем одноимённую опцию, укажем элементы для “удаления” (в нашем случае это вспомогательные плоскости построения оси отверстия) и подтвердим выбор средней кнопкой мыши.

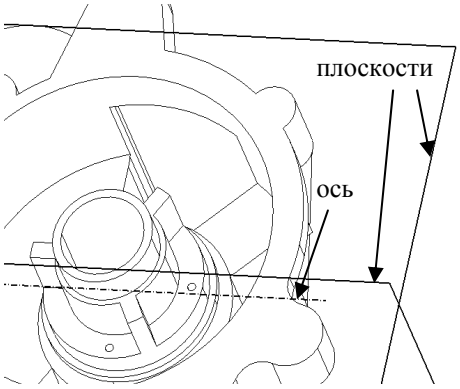


Рис. 1.47

Кроме того, отверстие не должно идти через всю деталь, поэтому построим ещё две вспомогательные ограничивающие плоскости. Одна из них основная координатная плоскость, а другая ей параллельна (рис.1.48).

Выбираем из меню CREATE>>HOLE опцию AXIS,указываем диаметр и ось будущего отверстия. Затем, в качестве способа задания длины отверстия воспользуемся опциями FROM – TO и указываем плоскости, как это показано на рис.1.47. Заканчиваем построение нажатием на APPLY. Отверстие построено.

Повторим все эти действия ещё раз для второго отверстия.

Итак, на данный момент мы имеем модель корпуса, которая уже более или менее схожа с оригиналом (рис.1.49)

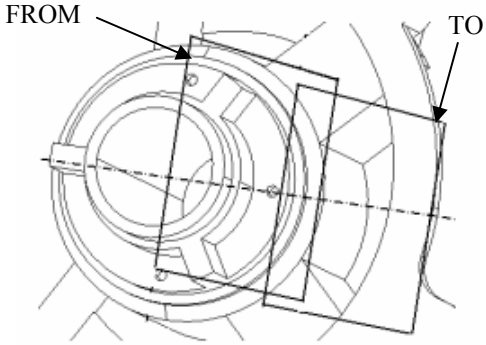


Рис. 1.48

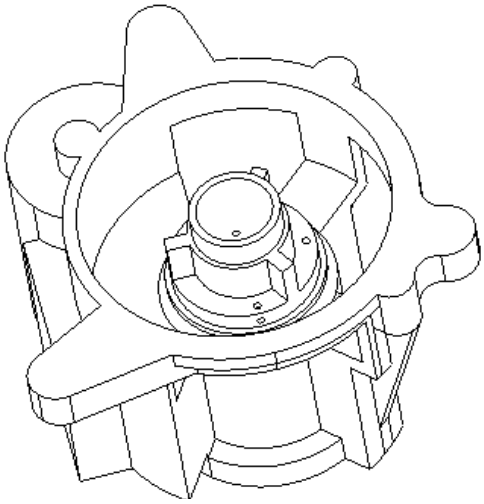


Рис. 1.49

Переходим к оформлению внешней части “патрубка”, внутри которого будет располагаться цилиндр для поршня компрессора. Начальный этап создания этой части модели снова состоит из последовательности операций выдавливания. Поэтому проиллюстрируем только результаты шагов (рис.1.50)

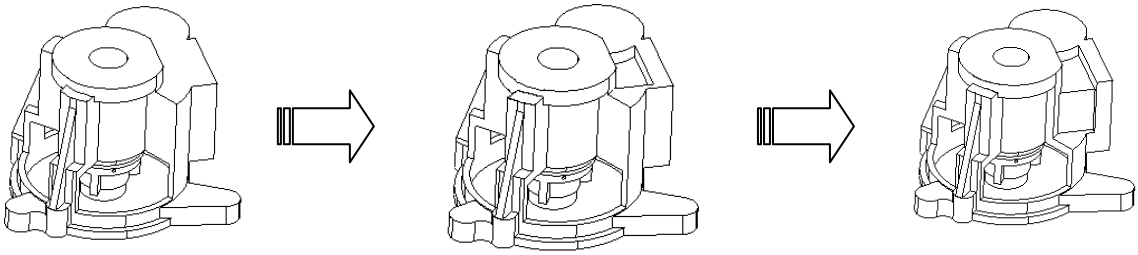


Рис. 1.50

Заметим, что внешняя часть “патрубка” имеет тоже цилиндрическую форму. Поэтому подробнее остановимся на создание этой цилиндрической части. В системе Cimatron существует функция скругления рёбер. Свободное ребро можно превратить в часть цилиндра просто закруглив его. Выбираем из меню DETAIL>>ROUND пункт FIXED RADIUS, далее в опции RADIUS указываем значение радиуса с чертежа и перекрестием курсора выбираем нужное ребро. Результат на рис.1.51.

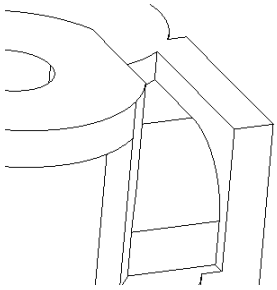


Рис. 1.51

Но на этом цилиндрическая часть не заканчивается. Поэтому удалим функцией EXTRUDE материал из места будущего закругления на глубину указанную на чертеже (рис.1.52) и добавим материал в форме сектора.

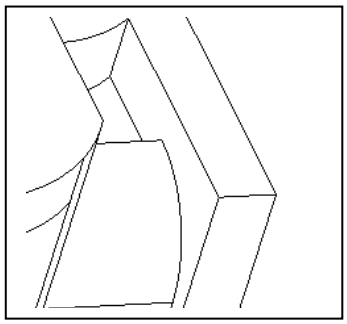


Рис. 1.52

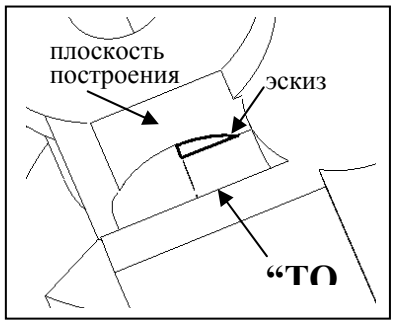


Рис. 1.53

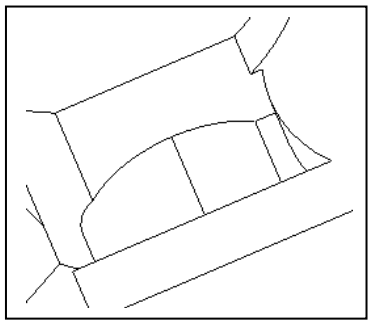


Рис.1.54

Выбираем плоскость построения и создаём эскиз, как это показано на рис.1.53. При задании глубины выдавливания воспользуемся опцией ТО и укажем плоскость расположенную противоположно плоскости построения. В результате окончательно получим цилиндрическую часть “патрубка” (рис.1.54). Выполним все эти же действия и для нижней части патрубка. Результат представлен на рис.1.55.

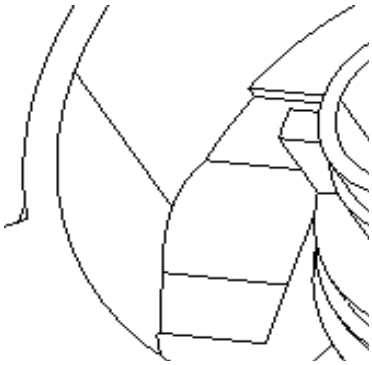


Рис. 1.55

Далее выдавим паз на фланце “патрубка”. Эскиз и результат представлены на рис.1.56.

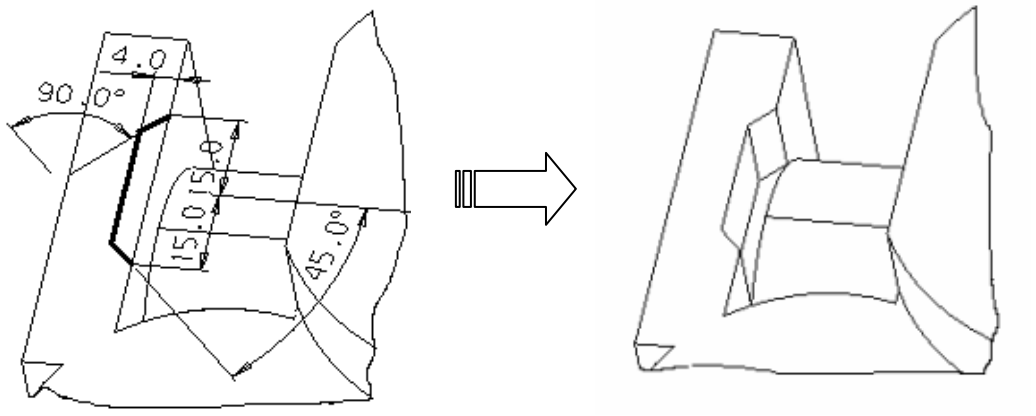


Рис.1.56

Как видно из рисунка, выдавленный паз, кроме всего прочего удалил и часть цилиндрического “патрубка”. Поэтому теперь следует действиями, описанными выше (рис.1.54) нарастить удалённый материал (рис.1.57).

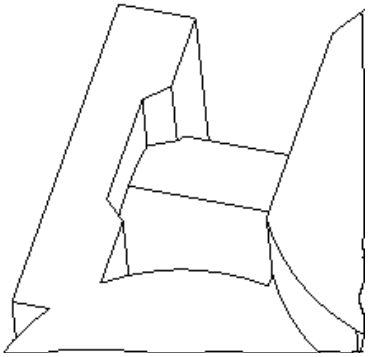


Рис. 1.57

Приступаем к оформлению внутренней части газовой камеры корпуса. Поскольку эта камера представляет собой по большей части цилиндр, то целесообразно применить функцию вращения с удалением материала. Выбираем из меню CREATE>>REVOLVE пункт REMOVE. Создаём эскиз внутренней части камеры и вращением на полный оборот создаём полость (рис. 1.58).

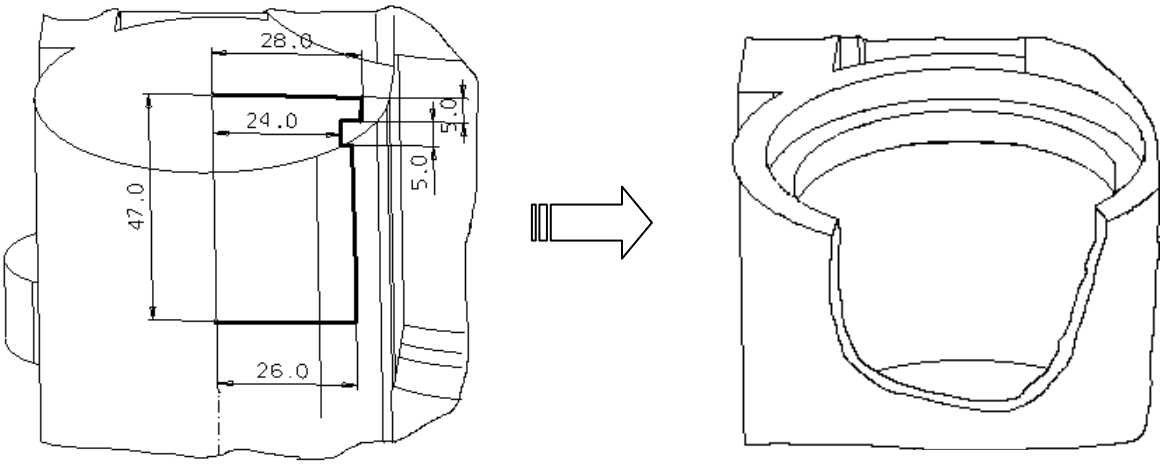


Рис. 1.58

В нижней части камеры находится отверстие и три ступенчатых уступа. Отверстие создадим с помощью операции HOLE>>SHAPED. Принцип построения отверстия этой операцией аналогичен операции REVOLVE, то есть отверстие получается путём поворота контура на 360 градусов. Более подробное описание использования этой операции приведено в предыдущей главе. Уступы создаём выдавливанием. Это так же не вызывает затруднений. Требуемая форма внутренней части газовой камеры представлена в разрезе на рис.1.59. Серым цветом показаны плоскости разреза.

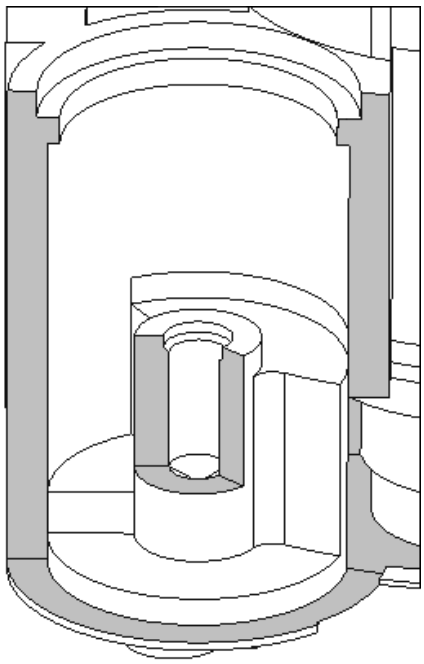


Рис. 1.59

Кроме того, в газовую камеру подходят ещё два отверстия, которые начинаются на фланце. Сложность создания этих отверстий состоит в том, что они находятся под углом к плоскости фланца и поэтому нельзя использовать эту плоскость для построения эскизов отверстий (рис.1.60).

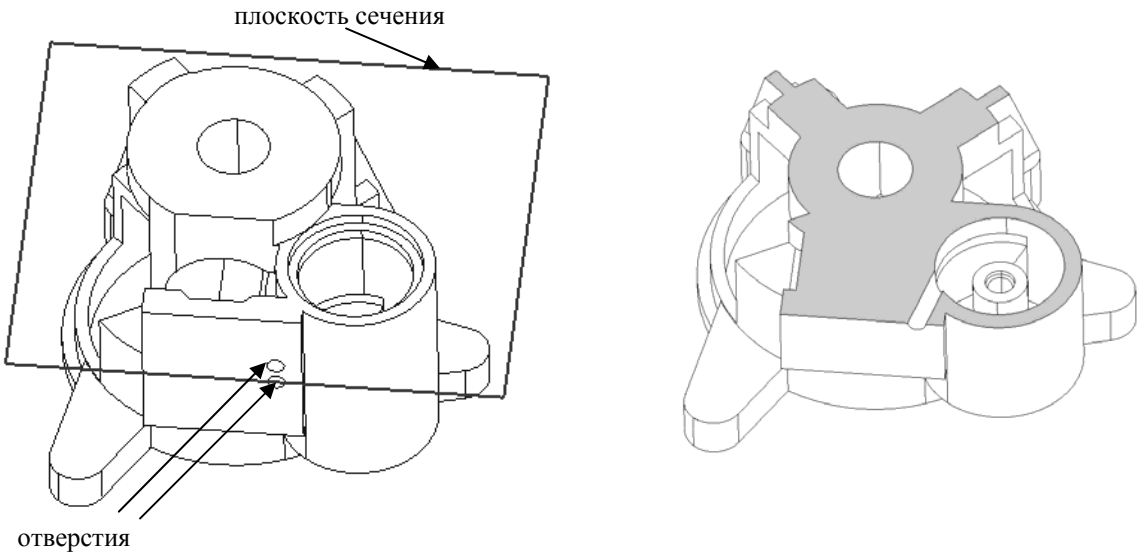


Рис. 1.60

Для получения таких отверстий создадим дополнительную плоскость, которая будет перпендикулярна их осям. Для это воспользуемся последовательностью DATUM>>PLANE>>EDGE AT ANG. Эта опция позволяет провести плоскость под углом к данной и через какое-либо ребро. Указываем требуемый угол, ребро и переднюю грань фланца. После этого система строит нужную плоскость (рис.1.61).

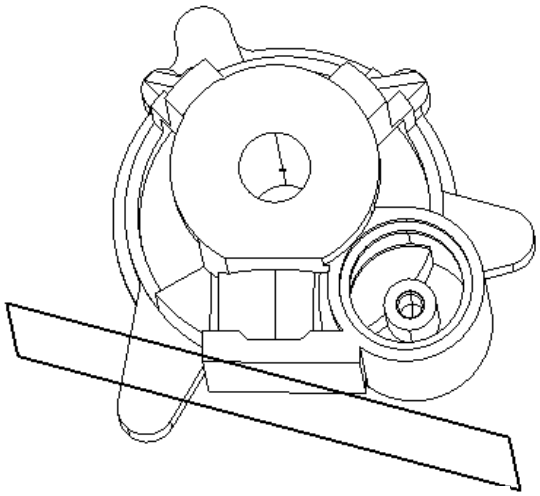


Рис.1.61

После того как плоскость готова, приступаем к построению отверстий. Из меню CREATE>>HOLE выбираем пункт STRAIGHT. В качестве плоскости построения эскиза указываем построенную вспомогательную плоскость. Система попросит указать базовые элементы имеющейся модели, относительно проекций которых на вспомогательную плоскость мы образмерим эскизы. В качестве таких элементов укажем рёбра фланца. Затем укажем точками центры будущих отверстий и образмерим их как показано на рис.1.62. Зададим диаметр отверстий и глубину по чертежу. В результате система построит требуемые два отверстия. Они показаны на рис.1.60.

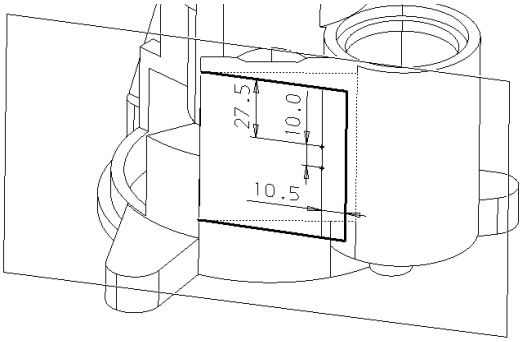


Рис. 1.62

Далее, используя последовательность функций EXTRUDE, а затем HOLE, приведём модель к виду, показанному на рис.1.63. Использование этих функций уже неоднократно описывалось, поэтому не будем заострять на этом внимание.

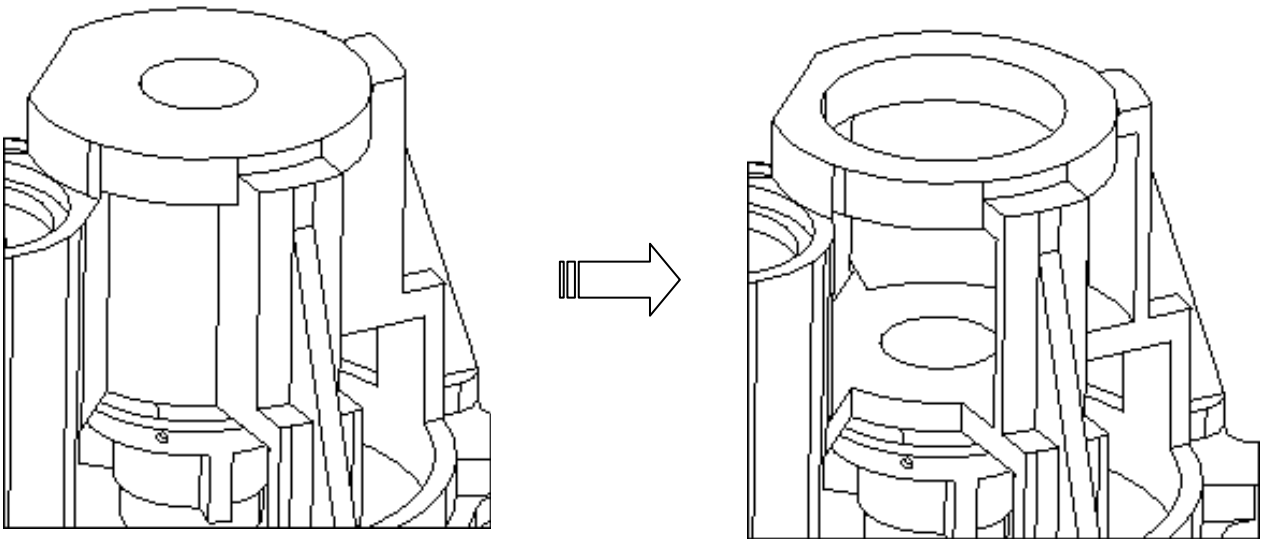


Рис. 1.63

Следующим шагом создадим коническое углубление, показанное на разрезе (рис.1.64). Плоскость разреза показана серым цветом.

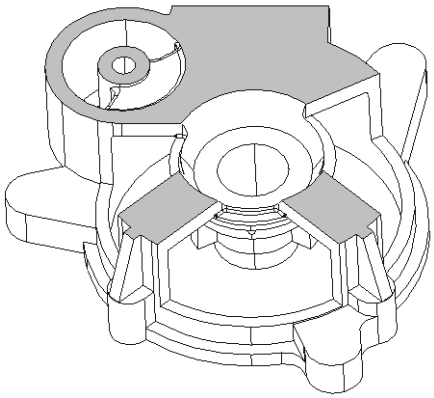


Рис. 1.64

Данное углубление будем создавать, используя операцию REVOLVE. Эскиз для этой операции показан на рис.1.65 толстой линией.

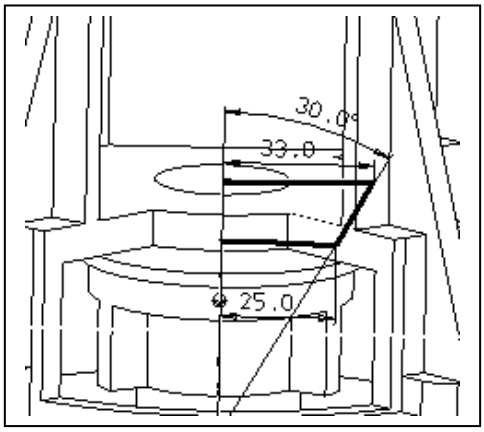


Рис. 1.65

Теперь создадим центральное отверстие во фланце. Это отверстие предназначено для поршня компрессора. Эскиз этого отверстия представлен на рис.1.66

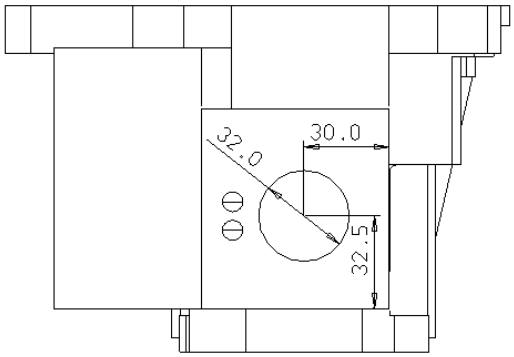


Рис. 1.66

Снова используя выдавливание, создадим два углубления на фланце (рис.1.67)

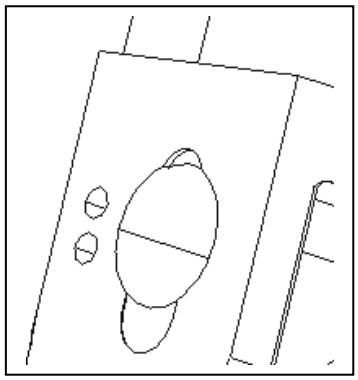


Рис. 1.67

Вереницей следующих манипуляций создадим все оставшиеся отверстия на модели. Процесс создания всех этих отверстий содержит повторяющиеся действия, поэтому просто покажем требуемый результат (рис.1.68)

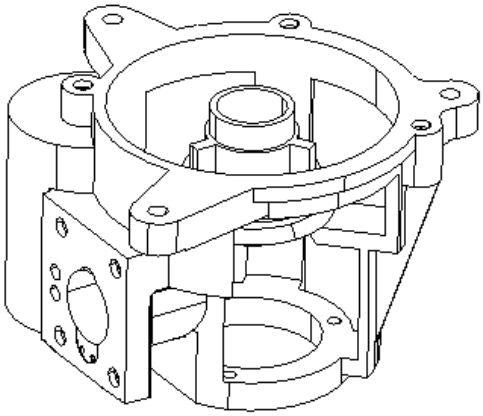


Рис. 1.68

Теперь созданную модель от реальной детали отличает только отсутствие фасок и литейных радиусов. Обе эти функции находятся в меню DETAIL. Для создания фаски используется функция CHAMFER, а для скругления рёбер – ROUND.

Сперва рассмотрим создание фасок. Выберем DETAIL>>CHAMFER, задаём требуемую величину фаски и на вопрос системы PICK EDGE указываем рёбра (рис.1.69).

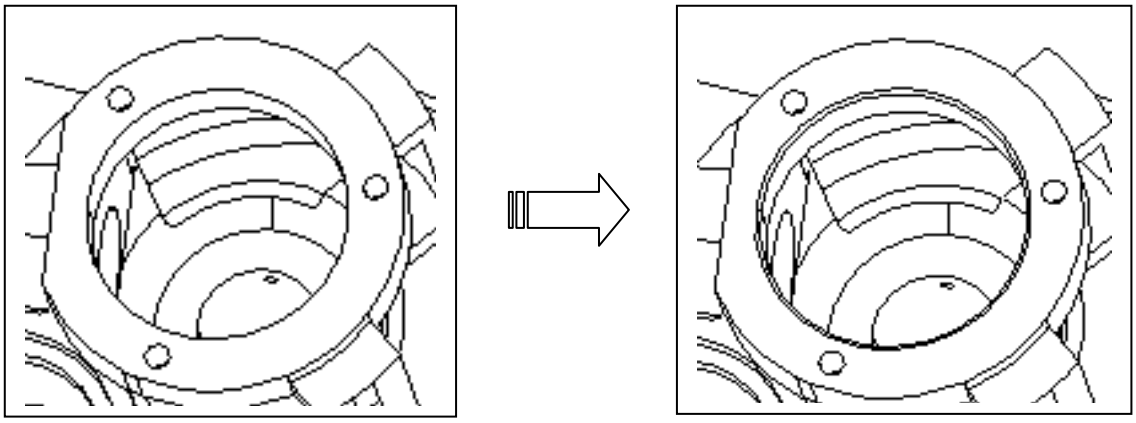


Рис. 1.69

Принцип скругления рёбер точно такой же как и при создании фасок. Выберем DETAIL>>POUND, задаём требуемую величину радиуса и на вопрос системы PICK EDGE указываем рёбра (рис.1.70).

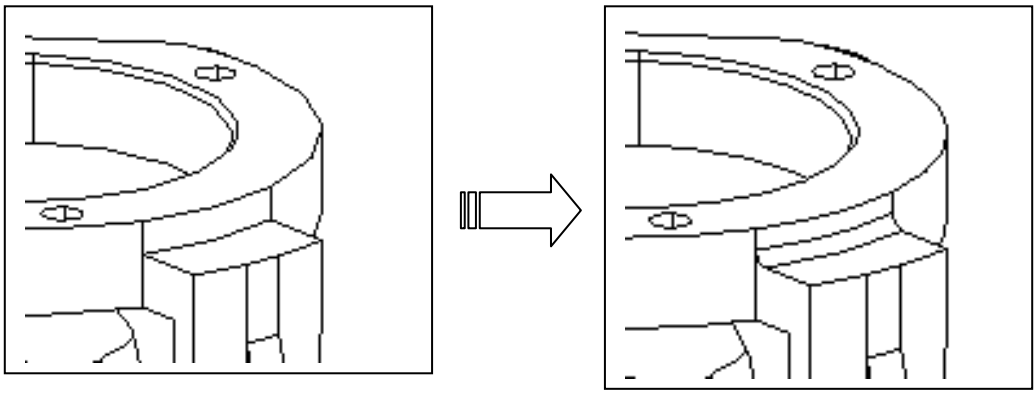


Рис. 1.70

Отметим, что в случае если скругляемое ребро не упирается в другую грань модели, то система спросит, будет ли данное ребро единственным скругляемым ребром из всех рёбер сходящихся в узле. Если в ответ на этот вопрос выбрать пункт SINGLE EDGE, то результат будет такой как показано на рис.1.70. В этом случае больше ни одного ребра, которое сходится с уже скруглённым, система скруглить не позволит. Если же выбрать CORNER BLEND, то все остальные рёбра тоже можно будет скруглить (рис. 1.71).

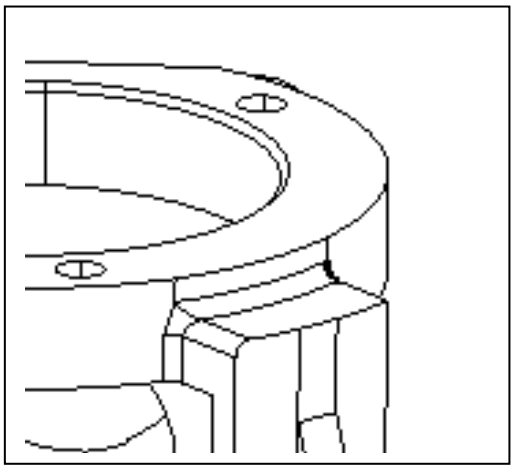


Рис. 1.71

Итак, после создания всех фасок и литейных радиусов, формирование модели корпуса компрессора можно считать законченным. Созданная модель будет иметь вид, как показано на рис.1.72 а и б. Для более подробного представления детали см. приложение

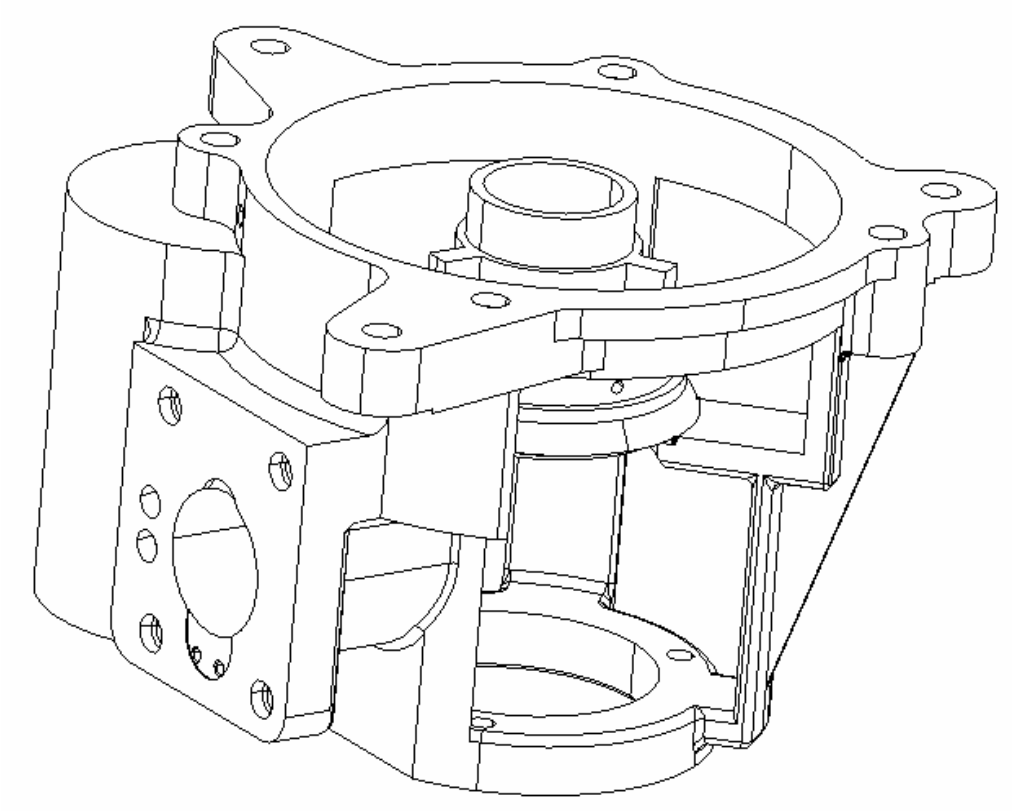


Рис.1.72 а

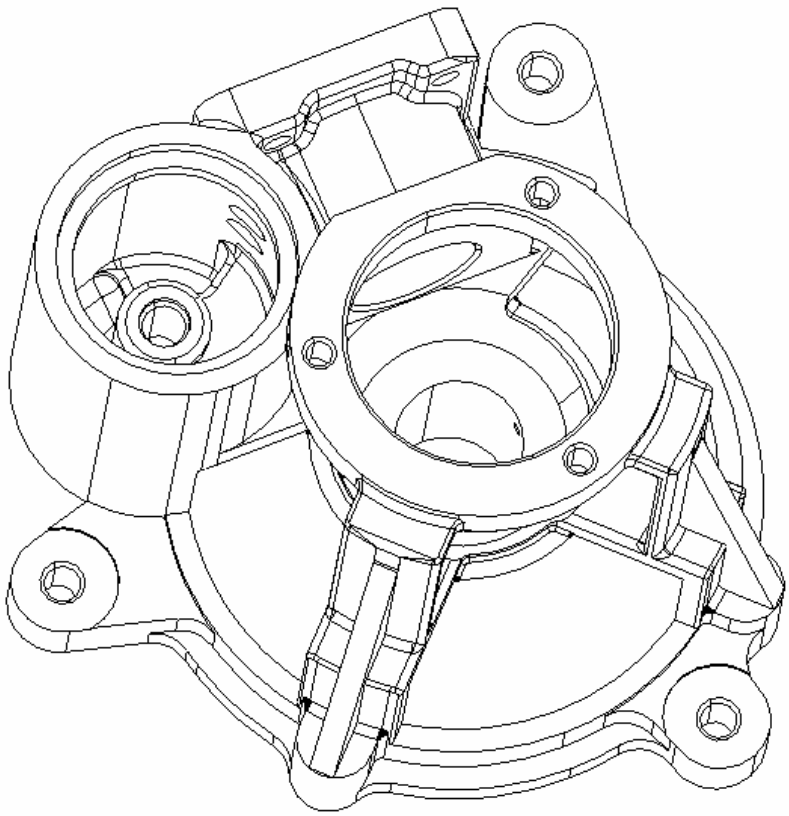


Рис.1.72 б

1.15 Методика создания параметрической модели в Cimatron

CAD/CAM – система Cimatron является системой параметрического моделирования, то есть в арсенале её возможностей есть функции, позволяющие определять так называемые размерные зависимости, которые позволят избежать многих ошибок при проектировании и значительно облегчают задачу конструктора при разработке моделей сходной конфигурации [21].

Устанавливать математические (параметрические) зависимости между отдельными размерными характеристиками детали или между размерами деталей, входящих в сборку позволяет функция RELATION, которая находится в меню EDIT. Например, если мы хотим, чтобы ширина детали L1 была всегда равна половине её длины L2, то мы должны установить зависимость L1=L2/2.

При вызове функции RELATION первым действием является отметка тех компонентов, размерные характеристики которых нужны для установления взаимных соотношений.

После отметки компонентов система подсветит их и, на экране появятся обозначения их размеров. При этом вместо числовых значений над размерными линиями будут указаны условные обозначения – например, L27, A41, R5, D10 и т.д. Буква L используется для линейных, A – для угловых, R – для радиальных и D – для диаметральных размеров. Цифровые символы проставляются в соответствии с внутренней нумерацией.

Укажите тот размер, значение которого хотите поставить в зависимость от других величин. Размер подсветится и в области диалога появится таблица. Например, будем считать, что имя размера L27, а его значение 150:

NAME = L27	L27 = _____
VALUE = 150.000	DESC =_____

ИМЯ = L27	L27 = _____
ЗНАЧЕНИЕ = 150,000	ОПИС = _____

Как мы видим, в первом столбце указано имя размера и его значение. Оба этих параметра можно изменить, предварительно указав на параметр и нажав <PICK>. Таким образом, можно не только устанавливать зависимости, но и непосредственно изменять значения размеров.

Третий параметр в таблице (L27 = ___) предназначен для ввода математической зависимости, которая имеет вид арифметического выражения, например:

L27 = L15 +0.1
L27 = 2*D10 –14
L27 = (L7 + L9)/2

Четвёртый параметр (DESC = ____) позволяет ввести дополнительное текстовое описание (комментарий).

После ввода выражения система автоматически вычисляет значение размера и помещает его в поле VALUE. Установленная между входящими в выражение параметрами зависимость является двунаправленной. Это значит, что изменение любого из входящих в зависимость размеров автоматически приводит к изменению других.

Перестройка модели в соответствии с введёнными зависимостями и значениями осуществляется после нажатия <EXIT> при выходе из функции RELATION.

Рассмотрим создание параметризации на примере модели прихвата (рис. 1.73).

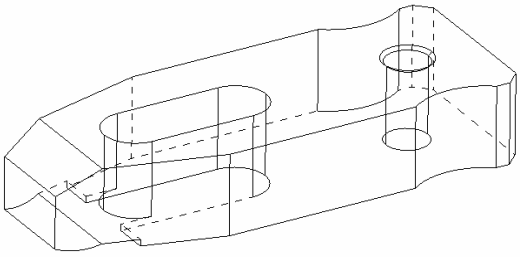


Рис. 1.73

Устанавливать параметрические зависимости можно как для готовой модели, так и непосредственно во время её создания. Воспользуемся

готовой моделью прихвата, поскольку она была создана ранее.

Итак, из меню EDIT вызываем функцию RELATION и указываем на верхнюю грань модели. В результате система покажет размеры, которыми образована эта грань (рис.1.74). Выбираем размер и накладываем на него зависимость от другого размера в соответствие с чертежом.

Например, ширина данной детали L56 по чертежу в два раза больше высоты L124. Выбираем любой из этих размеров, например ширину L56, и устанавливаем зависимость, записав уравнение L56=L124*2. После принятия изменений над размерными линиями появятся уравнения зависимостей размеров между собой (рис.1.75).

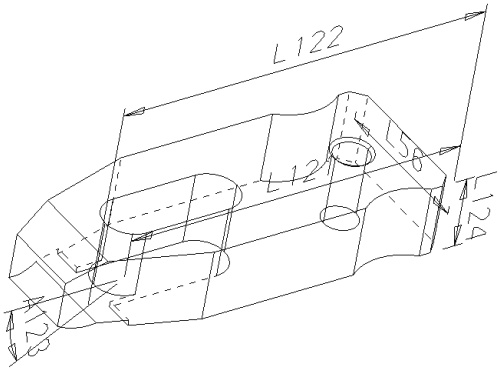


Рис. 1.74

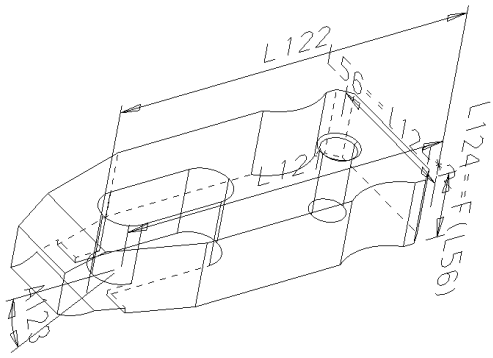


Рис.1.75

Повторяя выше описанные действия, следует установить зависимость между всеми размерами модели. Когда всё будет готово, модель становится параметрической, и теперь при изменении любого размера, вся она перестроится под него автоматически (рис.1.76).

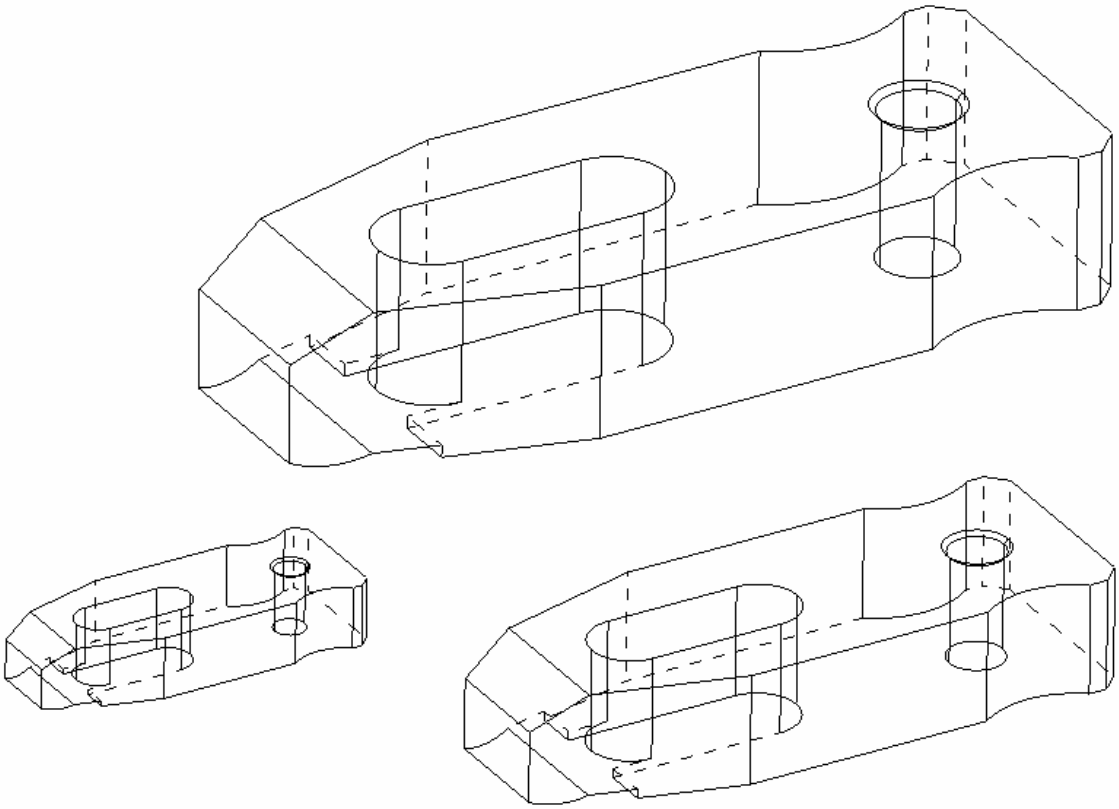


Рис. 1.76

1.16 Проектирование оснастки для производства корпуса

1.16.1 Приспособление для токарной обработки

Заготовка детали «корпус» представляет собой сложную отливку из серого чугуна. Обрабатываемыми являются лишь её торцевые и внутренние цилиндрические поверхности. В этой связи большинство приспособлений для обработки данной детали имеют сходную конфигурацию и используют одни и те же базы при её закреплении.

В частности различие приспособлений для токарной обработки состоит лишь в конфигурации посадочного штыря и расстояния между лапками.

Рассмотрим подробнее одно из этих приспособлений, а именно приспособление для закрепления детали при обработке на токарном полуавтомате 1Б284. При проектировании данного приспособления прототипом являлось схожее с ним приспособление, разработанное на АО «Холодмаш», для закрепления детали на токарном полуавтомате 1К282. Отличие состоит лишь в том, что на заводском приспособлении прихваты освобождают деталь путём поворота вокруг оси тяги 3, которая имеет винтовой паз, при помощи которого и происходит поворот. Закрепление детали проектируемым приспособлением происходит при помощи двух прихватов 7, разнесённых друг от друга на расстояние диаметра посадочного места заготовки. Поперечное базирование реализуется при помощи насаживания «корпуса» на центрирующий элемент приспособления палец 9. На рис. 1.77 показан общий вид приспособления, а на рис. 1.78 – эскиз процесса обработки. Спецификация представлена в Приложении В.

Приспособление имеет пневматический привод, в качестве которого используется пневмоцилиндр самого станка, который проектируется при изготовлении станка специально для использования в качестве привода приспособлений. Шток пневмоцилиндра крепится к винту 13 приспособления. Винт, в свою очередь при помощи стяжки 5 связана с тягами 3, на которых закреплены прихваты 7. Таким образом, шток цилиндра, совершая возвратно-поступательные движения, приводит в действие механизм закрепления детали, а именно прихваты лишают деталь подвижности, прижимая её к оправке 2. Для того чтобы рабочий мог беспрепятственно вынуть обрабатываемую деталь из приспособления после окончания цикла обработки, предусмотрено движение прихватов в диаметральном направлении. Направление движения прихвата задаётся винтом 8, который, двигаясь по направляющей 6, не даёт прихвату развернуться вокруг оси тяги 3.

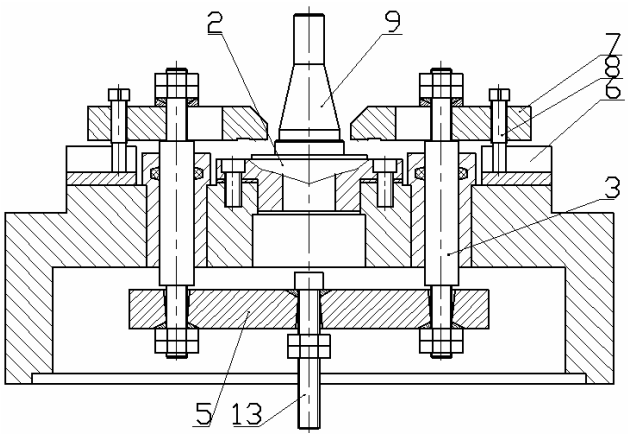


Рис. 1.77

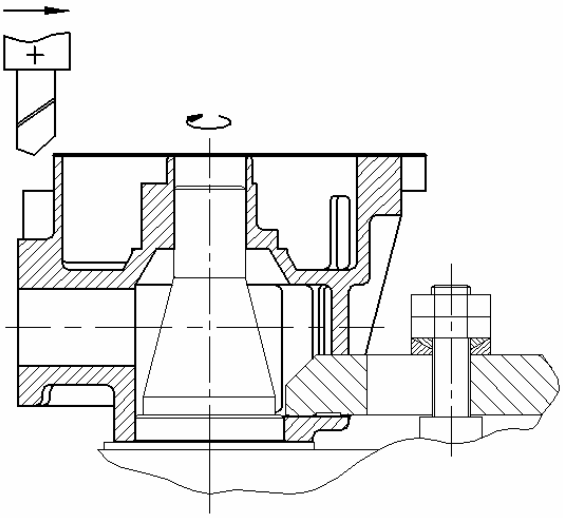


Рис. 1.78

1.16.2 Приспособление для контроля перпендикулярности отверстий подшипника скольжения и поршневого цилиндра

Прототип приспособления для контроля перпендикулярности отверстий подшипника скольжения и поршневого цилиндра корпуса представляет собой плиту с двумя стойками, одна из которых жёстко крепится к плите и служит для базирования детали «корпус», а другая являет собой штатив с индикатором. Конструкторская документация в виде чертежа общего вида выглядит следующим образом (рис. 1.79).

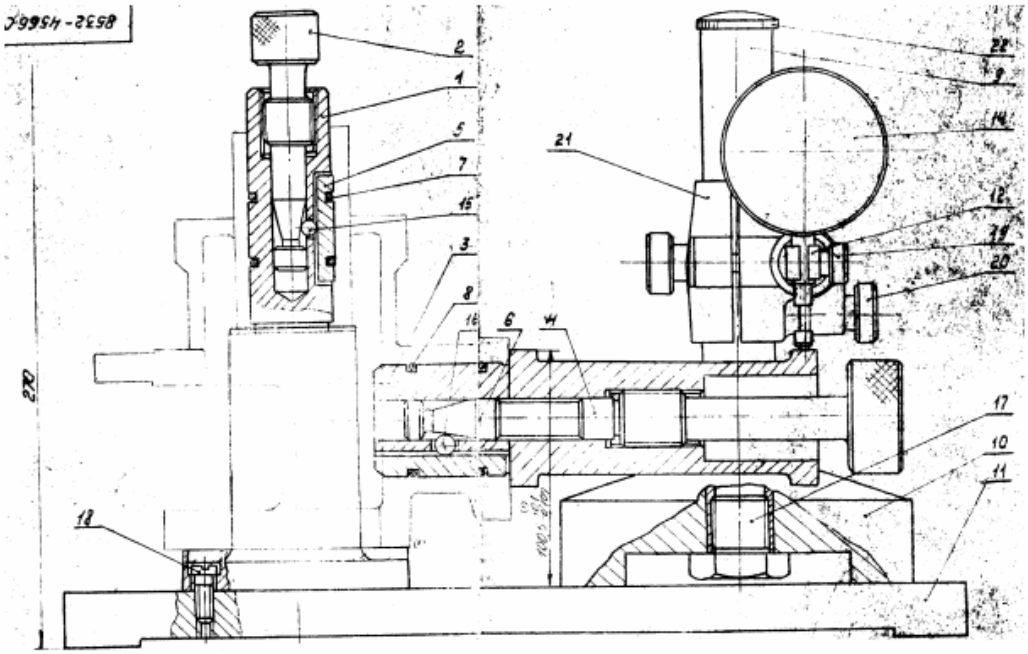


Рис.1.79

В работе, используя ресурсы MCAD Cimatron, были созданы модели всех необходимых деталей данного приспособления, а затем скомпонованы в единую сборку (рис. 1.80)

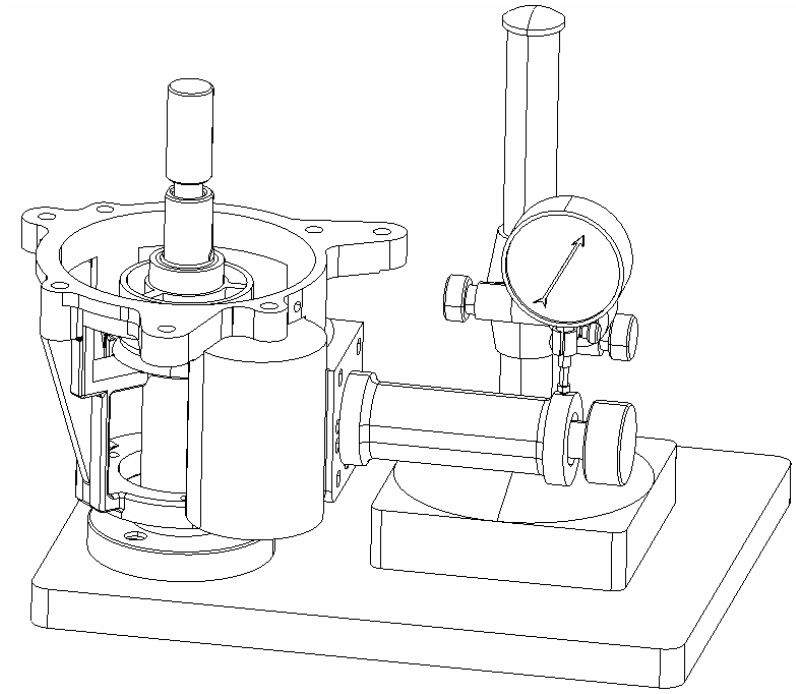


Рис. 1.80

Принцип работы приспособления для контроля перпендикулярности осей отверстий подшипника скольжения и поршневого цилиндра состоит в следующем. Отверстием, служащим под подшипник скольжения, корпус насаживается на стойку 1, после этого винт 2 вворачивается в стойку и своей конусной частью отодвигает шарик 3 в радиальном направлении. Шарик 3 в свою очередь через планку 4 раздвигает распорные кольца 5, которые таким образом базируют корпус на стойке по внутренней поверхности цилиндрического отверстия подшипника скольжения.

Точно по такому же принципу по отверстию поршневого цилиндра базируется палец 6. Затем пододвигается стойка с индикатором и замеряется положение стрелки. Далее винт 7 ослабляется, палец 6 поворачивается на 180 градусов, вновь базируется и снова замеряется положение стрелки.

При превышении параметра неперпендикулярности, биение пальца 6 при его повороте на 180 градусов будет выше заданной нормы, и это зафиксирует отклонение стрелки индикатора, по которой можно будет судить о пригодности детали. Отклонение от перпендикулярности не должно превышать 0,03 мм. на длине 100 мм. Приспособление в разобранном виде показано на рис. 1.81.

1.17 Методика создания сборки в Cimatron

Исходной информацией для моделирования является чертёж приспособления, выполненный в AutoCAD 2002 (рис. 1.82 а). Спецификация приведена в Приложении В.

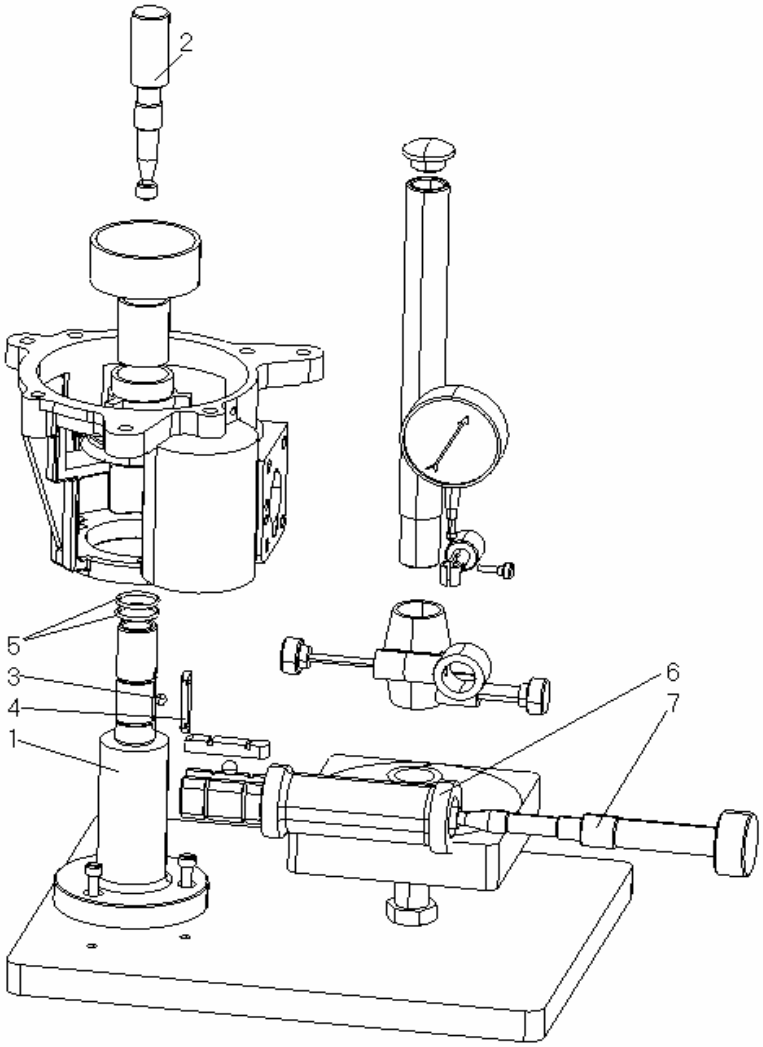


Рис. 1.81

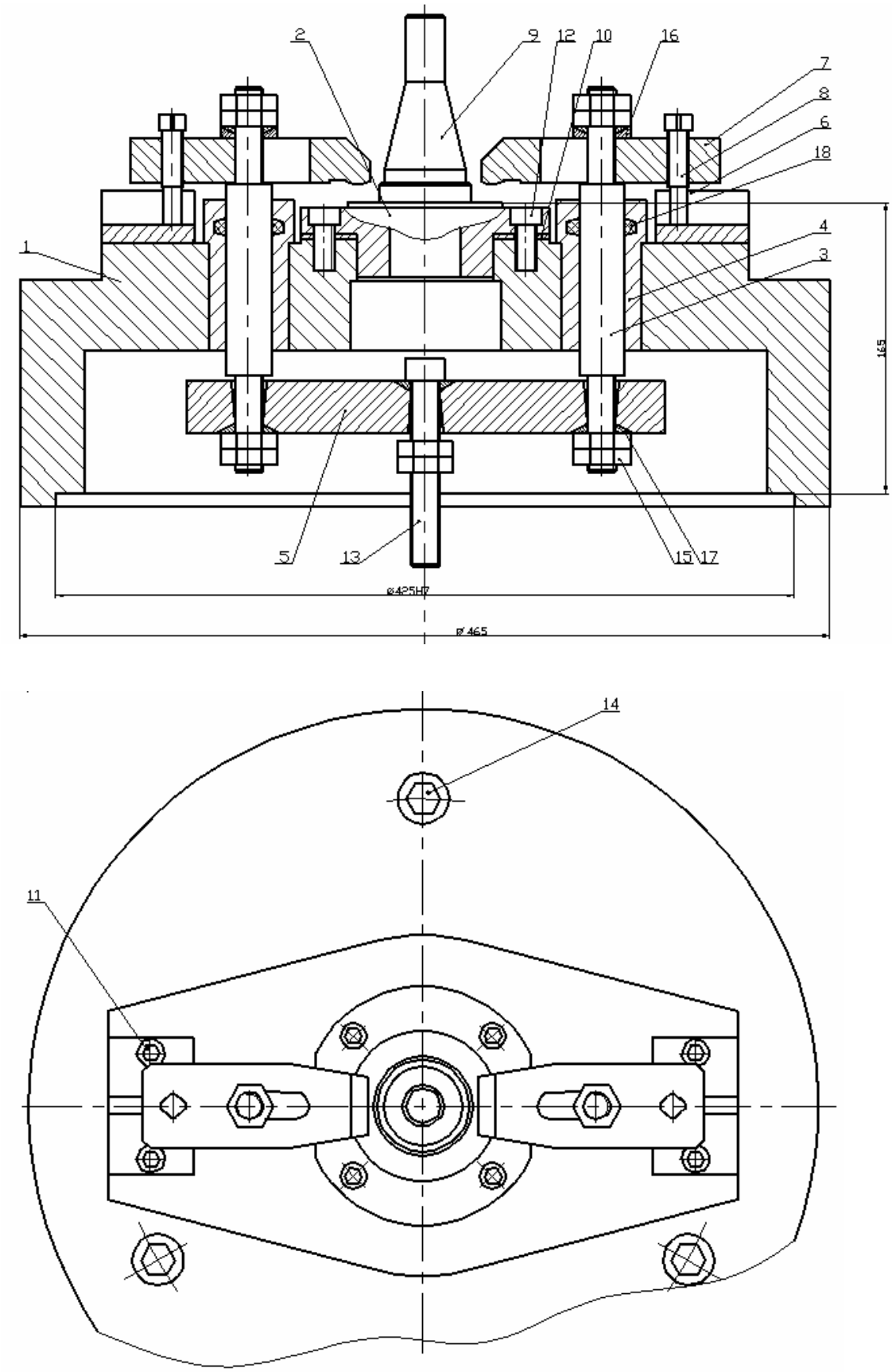


Рис.1.82 а

Используя описанные в разделе 1.14 приёмы работы с CAD/CAM Cimatron, подготовим модели деталей приспособления, которое служит для закрепления корпуса компрессора во время его обработки на токарном полуавтомате (рис.1.82 б).

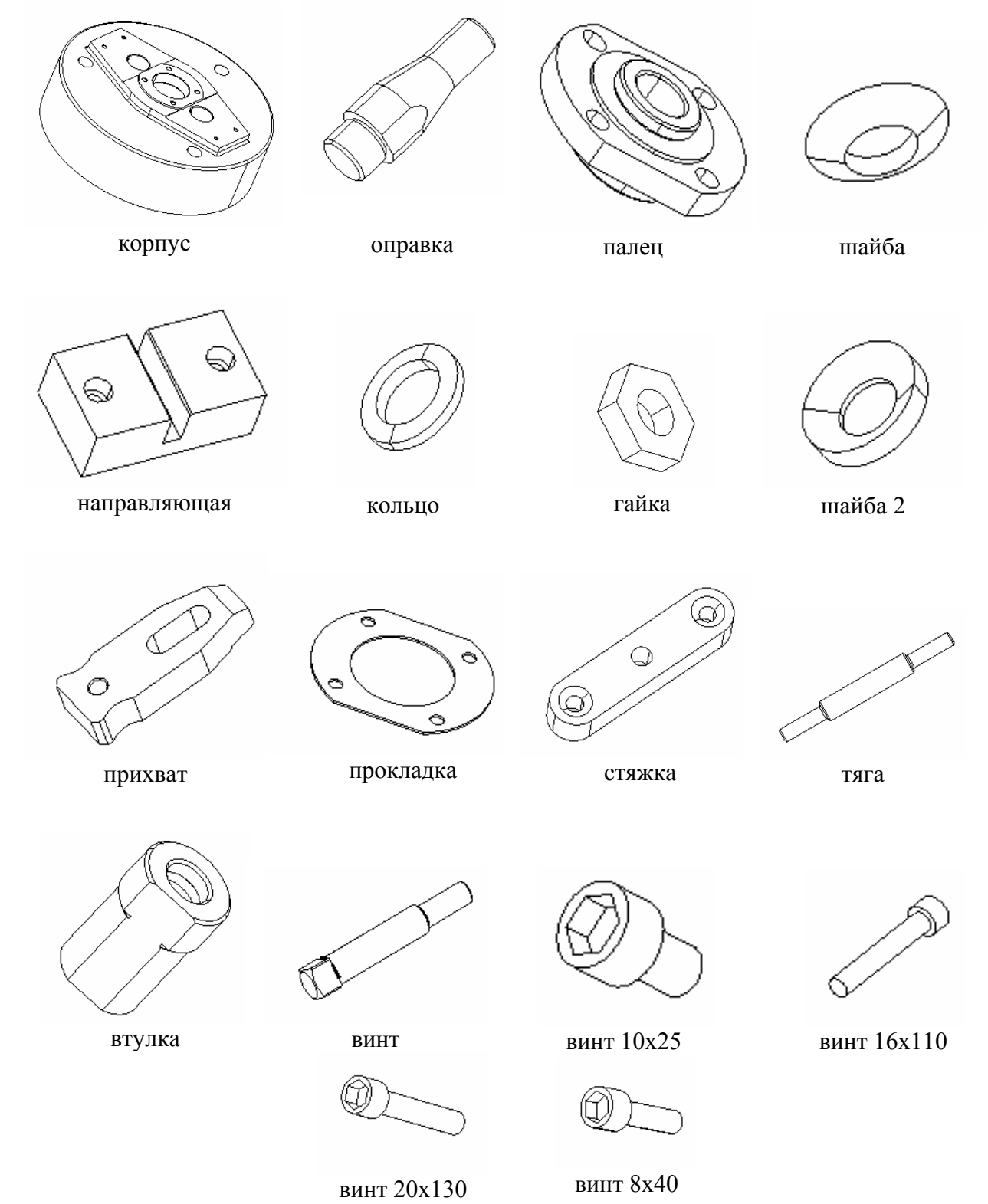


Рис. 1.82 б

Перед началом работы в системе Cimatron появляется диалоговое меню с двумя пунктами, предлагающими выбрать среду проектирования: моделирование (PART) или сборка (ASSEMBLY). Во всех предыдущих случаях, когда нам требовалось создать модель какой-либо детали, мы выбирали пункт моделирования, то есть PART, теперь же, когда требуется создать сборочный узел, следует указать на среду ASSEMBLY (Рис.1.83).

Рис.1.83

Заметим, что Cimatron позволяет создавать сборки двумя способами.

Первый так называемый способ сборки снизу вверх, то есть, объединяя отдельные модели деталей.

Второй способ заключается в том, что созданная ранее целиковая модель сборки разделяется на отдельные детали. Такой способ носит условное название сборки сверху вниз [27].

Воспользуемся первым способом сборки снизу вверх, как более логичным.

Из теоретической механики известно, что тело в пространстве имеет 6 степеней свободы: перемещение и поворот относительно каждой из трёх осей координат. Следовательно, привязать деталь к модели сборочной единицы, можно лишив её всех степеней свободы. В CAD/CAM Cimatron это реализуется совмещением поверхностей, осей и точек деталей.

При создании новой сборки, первая деталь является базовой, и её ориентация устанавливается системой автоматически.

В нашем случае в качестве базовой детали выберем корпус приспособления. Итак, загружаем систему в режиме сборки (ASSEMBLY). Затем выберем функцию ASSEMBLE и укажем базовую деталь по имени файла: ASSEMBLE>>BY NAME. Появится базовая деталь и, как это было сказано выше, ориентируется автоматически. Сразу после этого система предложит указать имя второй присоединяемой детали. Пусть второй деталью будет прокладка (рис.1.80). На экране появится приглашение IND. LOCATION POINT, то есть укажите точку размещения детали. Укажем эту точку, и на экране появится присоединяемая деталь (рис.1.81). Система предложит несколько способов привязки среди которых:

- ALIGN PLANES – привязать плоскости.
- ALIGN AXIS – привязать оси.
- ALIGN POINTS – привязать точки.
- ALIGN UCS – привязать СКД.

Сперва воспользуемся способом привязки осей - ALIGN AXIS. Заметим, что на вопрос системы о выборе совмещаемых осей следует выбрать отверстия которым принадлежат оси, и выбор оси произойдёт автоматически. На рис.1.84 показаны присоединяемые детали с отмеченными осями совмещаемых отверстий. В результате выполненной операции оси отверстий двух деталей будут совмещены рис.1.85.

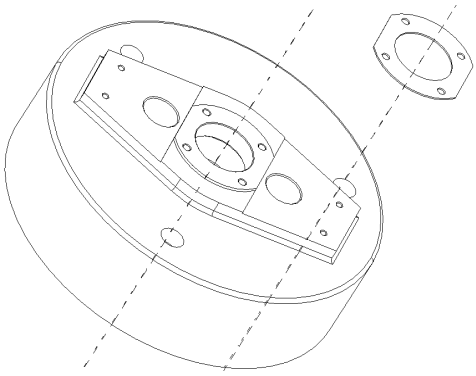


Рис. 1.84

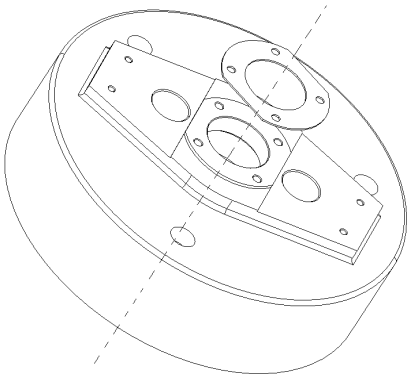


Рис.1.85

Как видно из рис.1.85, детали теперь находятся на удалении друг от друга, поэтому воспользуемся способом привязки ALIGN PLANES – на экране появится запрос PICK PLANE TO ALIGN т.е. укажите плоскость присоединяемой детали. Затем система попросит указать плоскость, к которой необходимо привязать плоскость (PICK ALIGN PLANE). Укажем плоскости. Нажимаем NEXT. В результате совмещения плоскостей детали соединяются, но не должным образом, а именно прокладка имеет некоторый поворот относительно корпуса (рис.1.86). Для решения такой проблемы система даёт возможность повернуть присоединяемую деталь путём совмещения точек двух деталей. С этой целью, воспользуемся привязкой точек, выбрав пункт ALIGN POINTS. В качестве таких точек выберем точки центров отверстий присоединяемых деталей, как показано на рис.1.87. Далее система покажет предполагаемое положение деталей и предложит подтвердить окончание сборки нажатием ENTER. Подтверждаем сбоку, в результате получим сборку из двух деталей (рис.1.88).

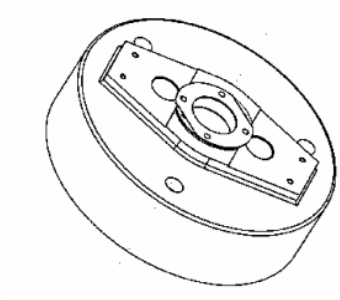


Рис.1.86

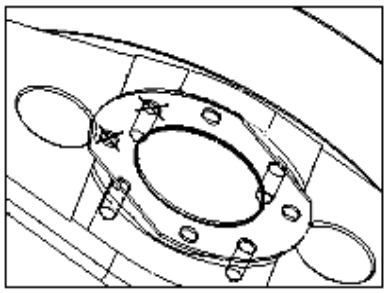


Рис.1.87

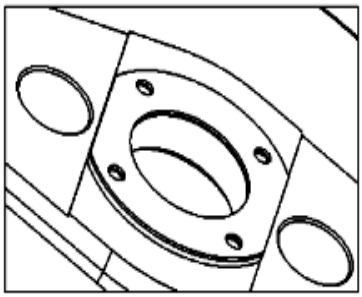


Рис.1.88

Снова воспользуемся функцией ASSEMBLE>>BY NAME и укажем имя файла пальца. Процесс присоединения этой детали точно такой же, т.к. присоединяемая поверхность совпадает с поверхностью прокладки. В результате получим сбоку из трёх деталей (рис.1.89).

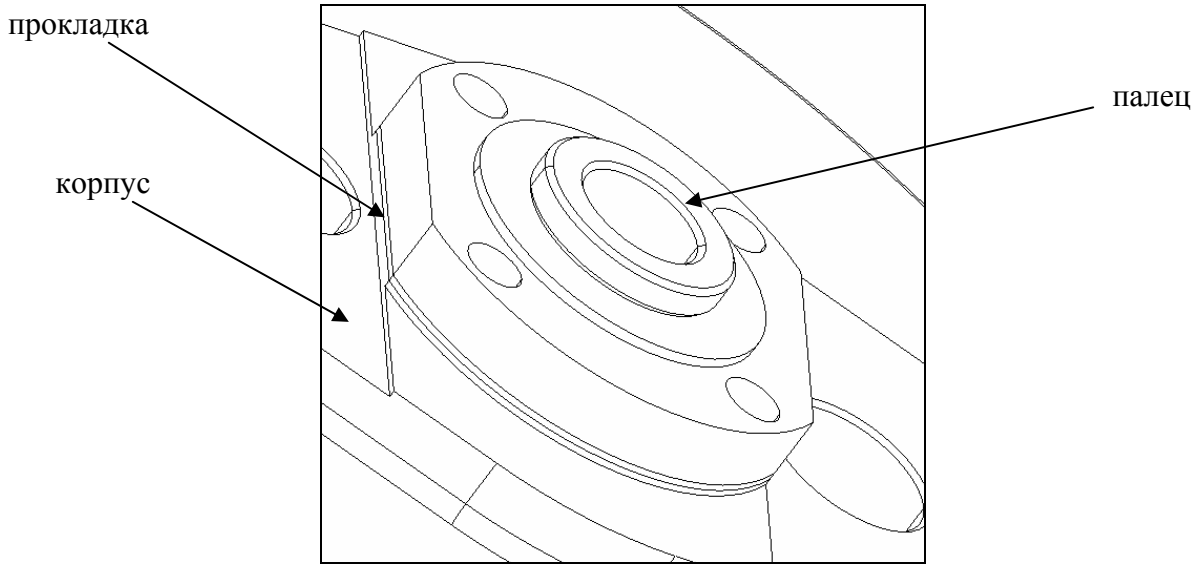


Рис.1.89

Рассмотрим процесс присоединения цилиндрической оправки к пальцу.

Снова воспользуемся последовательностью ASSEMBLE>>BY NAME, укажем имя файла оправки. В качестве типа привязки зададим ALIGN PLANES и укажем сопрягаемые плоскости, как показано на рис.1.90.

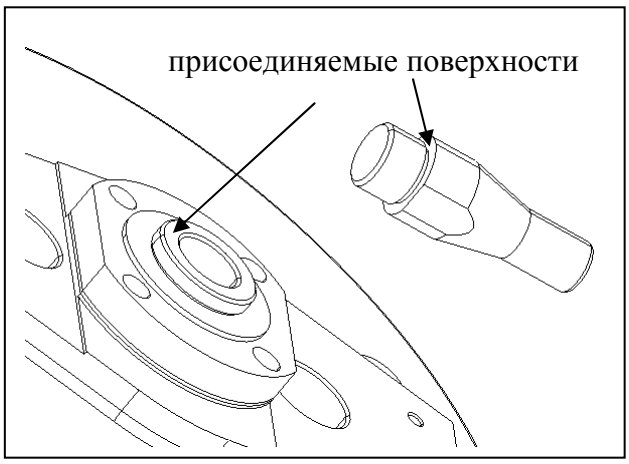


Рис. 1.90

Затем совместим оси и зададим поворот относительно осей, используя привязки точек. В результате получим новую сборочную единицу (рис. 1.91)

Аналогичным образом, применяя привязки плоскостей, осей и точек, присоединим все остальные детали приспособления, включая саму обрабатываемую деталь. В результате получим сборочную единицу, показанную на рис. 1.92.

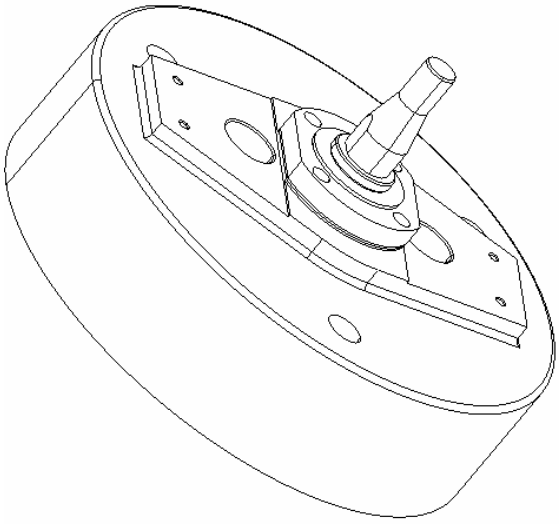


Рис.1.91

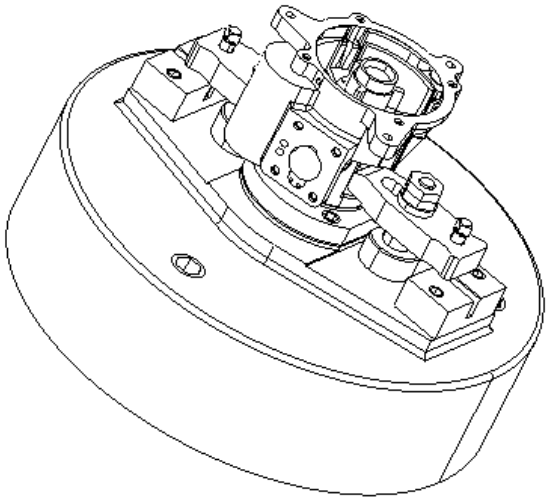


Рис. 1.92

В модуле ASSEMBLY CAD/CAM Cimatron для контроля правильности сборки и для наглядности существует функция, которая позволяет разорвать сопряжённые детали и посмотреть на порядок соединения деталей. Эта Функция находится в меню UTILITY>>EXPLODE. На рис. 1.93 хорошо виден результат выполнения данной функции. Кроме того, при использовании данной функции система позволяет менять расстояние, на которое разносятся детали. На рис. 1.94 показан результат выполнения данной функции с изменённым расстоянием.

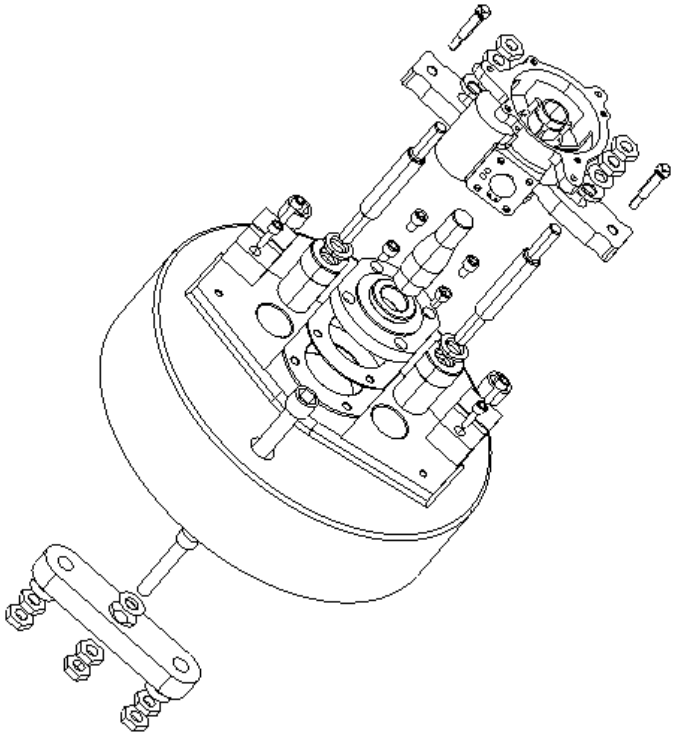


Рис.1.93

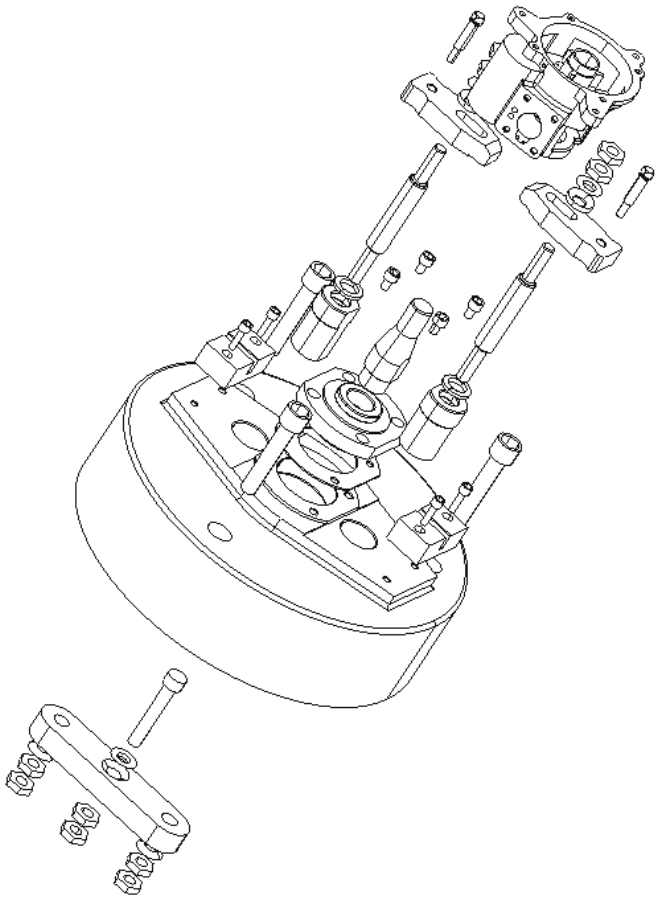


Рис.1.94

1.18 Использование CAM-модуля Cimatron

Главной целью трёхмерного моделирования всех CAD-систем является последующая передача данных о детали и способе её обработки на электронный блок станка с ЧПУ. В этом смысле основным преимуществом системы Cimatron является интегрированный CAM-модуль. В системе Cimatron можно программировать различные виды обработки. К ним относятся: фрезерование (2.5-,3-,4- и 5-координатное), электорэрозионная обработка (2- и 4-координатная), токарная обработка и листопробивка.

Рассмотрим использование CAM – модуля Cimatron на примере обработки детали «направляющая» из станочного приспособления. Принципы построения траектории для всех видов обработки идентичны. Поэтому подробно мы остановимся только на одном из видов – фрезерной обработке. Это наиболее мощное и широко используемое средство для обработки деталей сложной формы.

Для перехода в режим CAM – модуля следует из меню приложений **Modeling** выбрать пункт **NC** (рис. 1.96). При подсказке системы **ENTIRE MODEL** выбираем YES. Вы приняты немедленно в среду NC, и на экране отображается управляющая программа для задания траектории инструмента (рис. 1.97).

Рис.1.96

SELECT TP.AND EXIT						
NC FILE SETUP	RENAME	EXECUTE		CREATE >	EXIT	
TMPLT.MODIFY	TMPL.SAVE ->	TMPLT.APPLY	REPORT >	APROX.DEFINE	APROX.IGNOR.>	
MOVE	COPY	DELETE	TOGGLE BLANK	BLANK >	TOOL:DISP. >	
	REFRESH TP		COMPRESS TP >	Chk.Crit.Geom	POST	
		TOOLS >		SIMULATION >	SUBSTITUTES >	Pg Up
TP MODE	TO PROC MODE	UCS = MODEL		SINGLE SEL. >	SHOW (0)=20	Pg Dn

Рис. 1.97

Под траекторией (TOOLPATH) понимается технологический процесс, содержащий всю необходимую геометрическую и технологическую информацию для обработки детали на станке с ЧПУ. Траектория создаётся и сохраняется непосредственно в файле детали. С помощью постпроцессора она может быть преобразована в управляющую программу для конкретного станка.

Траектория состоит из последовательности процедур. Процедура – это технологическая операция по обработке заданных поверхностей (участков) детали одним инструментом в соответствии с определённой схемой обработки.

Для начала работы необходимо выбрать Машинную Систему Координат: **MACSYS** - задание системы координат и начала координат для станка, на котором будет производиться обработка. Для этого из правой колонки меню выбираем пункт **MACSYS**. По умолчанию система предлагает систему координат, в которой строилась деталь. Для обработки создадим новую Пользовательскую Систему Координат (ПСК). Для этого на вопрос **SELECT MACSYS & EXIT** выберем пункт с прочерком, что означает НОВАЯ ПСК. На сообщение системы **CREATING A NEW MACSYS** снова жмём на пункт с прочерком и указываем название новой ПСК. В нашем случае – TAR. В качестве способа привязки новой ПСК укажем способ **3-PTS**, то есть по трём точкам, и привяжем её к нижнему углу модели (рис. 1.98).

Рис. 1.99

Далее, для задания типа инструмента выберем пункт **TOOLS** из меню управляющей программы (рис. 1.97). Затем, для задания типа инструмента выберем **TOOL TYPE** (рис. 1.99) и укажем **MILL** (фреза). Чтобы создать инструмент укажем пункт **CREATE** (создать). Переходим в диалог создания нового инструмента. В поле **NAME** указываем имя новой фрезы, например **TARMILL**. Задаём геометрические параметры фрезы, державки и их цвет для отображения на экране. В результате окно диалога должно выглядеть, как показано на рис. 1.100.

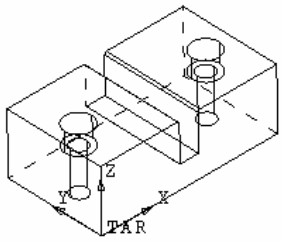


Рис. 1.98

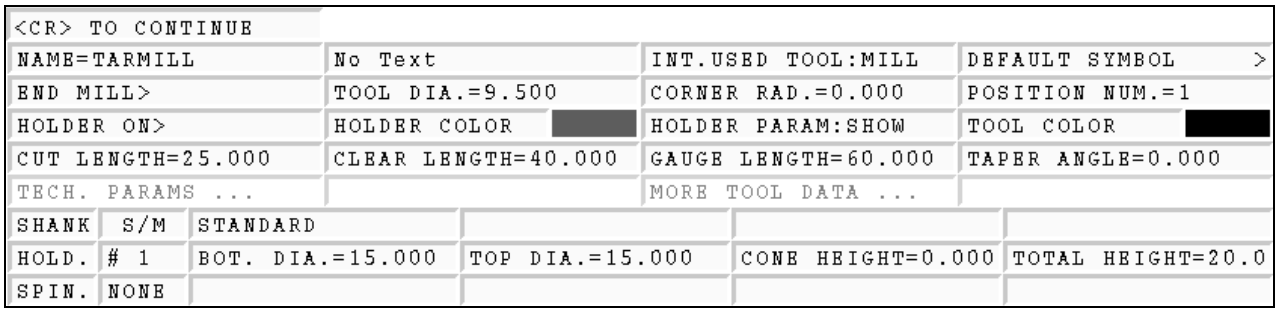


Рис. 1.100

Соглашаемся со всеми произведёнными изменениями, и выходим из диалога, нажав ENTER. Снова попадаем в меню управляющей программы (рис. 1.97). Для задания типа обработки из пункта **CREATE** выберем 2.5-координатную обработку указав на пункт **MILL 2.5 AXES**. Попадаем в меню новой программы для 2.5 – координатной обработки. Здесь указываем координаты стартовой точки инструмента в пункте **TOOL START POINT**, изменив только значение высоты инструмента Z=35 мм. Соглашаемся с изменениями, выходим из диалога и снова оказываемся в меню управляющей программы.

Таким образом, на данном этапе мы создали машинную систему координат, инструмент и указали тип обработки. Переходим непосредственно к обработке. Сперва следует указать системе заготовку, чтобы Cimatron «знал», что представляет собой стартовый материал. Для этого из меню **CREATE** выберем пункт **STOCK** (заготовка) (рис. 1.101). Затем в качестве способа задания заготовки выберем пункт **BY BOX (min-max)** и укажем два противоположных угла параллелепипеда детали. Соглашаемся с выбором, затем на вопрос **OK TO EXECUTE** (выполнить) отвечаем положительно, и Cimatron строит заготовку, отображая на верхней грани детали триангуляционную сетку (рис. 1.102)

Рис. 1.101

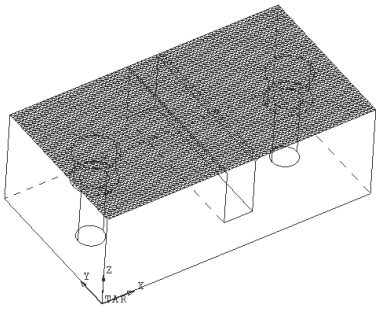


Рис. 1.102

Далее начинаем строить контур, для этого из меню **CREATE** выберем пункт **PROFILE** (рис. 1.101). На вопрос системы о типе контура выберем открытый контур, указав пункт **OPEN CONTOUR**. Далее в качестве открытого контура укажем на ребро в нижней части обрабатываемого паза, обозначим направление обхода контура, выбрав одну из стрелок (рис. 1.103). В верхнем меню

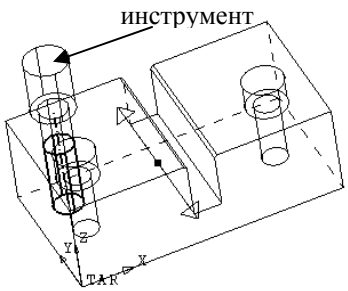


Рис. 1.103

указываем параметры обработки: **MILLING SIDE – RIGHT** то есть сторона фрезерования – справа, выберем положение инструмента при обработке касательно к контуру, указав пункт **TANGENT**. Отстояние (**OFFSET**) инструмента от контура = 0, угол наклона обрабатываемой поверхности **DRAFT ANGLE** = 0. Принимаем изменения и выходим из диалога построения контура. Теперь система предлагает более точно указать параметры обработки, такие как верхнее (Z – up) и нижнее (Z - down) положение инструмента, толщину срезаемого слоя за один проход (down step), величину отвода инструмента от поверхности при холостом ходе с каждой стороны и т.д. В конечном итоге данный диалог должен выглядеть следующим образом (рис. 1.104).

<CR> TO CONTINUE			
----- PROFILE =2	No Text	MACHINING PARAMS ...	SERVICE ...
TEMPLATE:APPLY -->	TEMPLATE:SAVE	USE OPTIMIZER : ON >	OPTIMIZER ...
ENTER Z VALUES >	Z-UP=32.000	Z-DOWN=12.000	DOWN STEP=3.000
		STOCK WIDTH=0.000	
SINGLE PROFILE	CONTOUR TOL.=0.100		TRIM LOOPS:LOCAL >
BIDIR >	SPLINE: LINEAR APROX.>		
CONT.APP.NORM. >	CONT.APP.NOR.=0.000	APP.EXTENSION=0.000	DZ/FEED START=1.000
CONT. NORMAL RET. >	CONT.RET.NOR.=0.000	RET.EXTENSION=0.000	
GEN. OFFSET=0.000	ROUND CORNER >		
	--START CHECK:NONE	--END CHECK:NONE	--EDIT CONTOUR

Рис. 1.104

В меню **MACHINING PARAMETERS** можно установить требуемые режимы резания. После того, как вся работа по настройке контура выполнена. Выходим из настроек и на вопрос системы **OK TO EXECUTE** отвечаем положительно. После чего система строит путь инструмента (рис. 1.105).

Итак, программирование первой процедуры, а именно фрезерования паза закончено. Переходим к программированию фрезерования фасок на верхних гранях паза. Как было отмечено выше, весь процесс программирования обработки фасок повторяет практически полностью фрезерование паза. Исключение лишь составляет тот факт, что для фрезерования фаски необходим инструмент с углом заточки при вершине в 45 градусов и, в отличие от предыдущего перехода проход инструмента будет один. Так как нам снова требуется фреза, то тип инструмента можно не менять. Повторяем процесс создания фрезы. Из меню программы (рис. 1.97) выбираем **TOOLS>>CREATE**, заполняем параметры нового инструмента и заканчиваем процесс создания, нажав ENTER. Меню с параметрами новой фрезы должны выглядеть как на рис. 1.106.

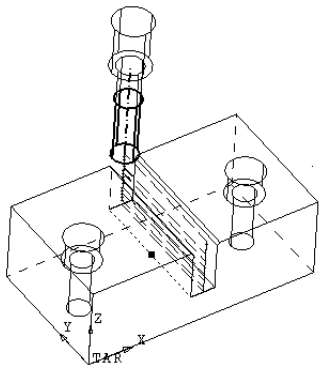


Рис. 1.105

<CR> TO CONTINUE					
NAME=TARMILL2		No Text		INT.USED TOOL:MILL	DEFAULT SYMBOL >
BALL TOOL>		TOOL DIA.=0.000			POSITION NUM.=2
HOLDER ON>		HOLDER COLOR		HOLDER PARAM:SHOW	TOOL COLOR
CUT LENGTH=6.000		CLEAR LENGTH=20.000		GAUGE LENGTH=30.000	TAPER ANGLE=45.000
TECH. PARAMS ...				MORE TOOL DATA ...	
SHANK	S/M	STANDARD			
HOLD.	# 1	BOT. DIA.=14.000	TOP DIA.=15.000	CONE HEIGHT=3.000	TOTAL HEIGHT=10.0
SPIN.	NONE				

Рис. 1.106

Чтобы инструмент и его путь от предыдущего перехода не мешали дальнейшей работе, их можно временно удалить, воспользовавшись командой **BLANK** из меню управляющей программы.

Итак, снова воспользуемся последовательностью **CREATE>>PROFILE** и создаём новый путь инструмента для обработки фаски. Окно диалога настройки пути инструмента будет выглядеть так (рис. 1.107).

<CR> TO CONTINUE			
----- PROFILE =3	No Text	MACHINING PARAMS ...	SERVICE ...
TEMPLATE:APPLY -->	TEMPLATE:SAVE	USE OPTIMIZER : ON >	OPTIMIZER ...
ENTER Z VALUES >	Z-UP=32.000	Z-DOWN=26.250	DOWN STEP=5.750
Z-REF.~32.000		STOCK WIDTH=0.000	
SINGLE PROFILE	CONTOUR TOL.=0.100		TRIM LOOPS:LOCAL >
BIDIR >	SPLINE: LINEAR APROX.>		
CONT.APP.NORM. >	CONT.APP.NOR.=0.000	APP.EXTENSION=0.000	DZ/FEED START=1.000
CONT. NORMAL RET. >	CONT.RET.NOR.=0.000	RET.EXTENSION=0.000	
GEN. OFFSET=-1.000	ROUND CORNER >		
	--START CHECK:NONE	--END CHECK:NONE	--EDIT CONTOUR

Рис. 1.107

Таким образом, было разобрано программирование фрезерных переходов. Но на детали есть ещё два конструктивных элемента, а именно два сквозных отверстия и два кольцевых под головки болтов (рис.1.108).

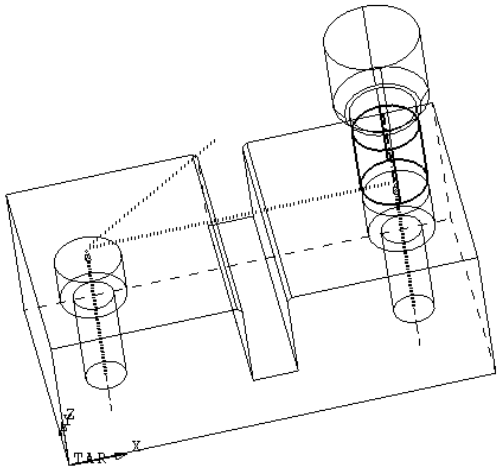
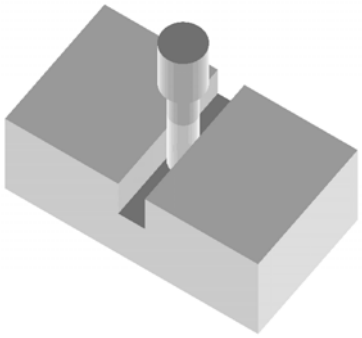


Рис. 1.108

Рассмотрим процесс создания сверлильных переходов. Как уже неоднократно было замечено, принципы построения траектории одинаковы для всех типов обработки, не является исключением и сверление. Заметим лишь, что для сверления сквозного отверстия следует изменить тип инструмента в пункте **TOLLS>>TOOL TYPE** на **DRILL** (сверло). А глухое кольцевое отверстие – получим концевой фрезой. Для создания траектории инструмента воспользуемся последовательностью **CREATE>>DRILL**, а затем используя объектные привязки укажем центры отверстий, которые следует сверлить. Cimatron снова построит путь инструмента (рис.1.108), и теперь можно сказать, что программирование всех четырёх процедур (три фрезерования и одно сверление) закончено.

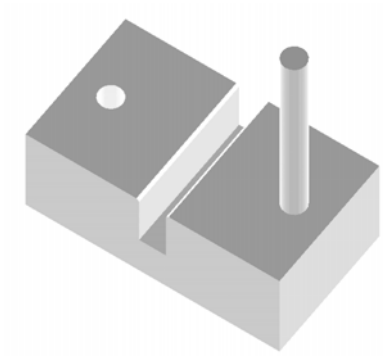
Однако этим не исчерпываются возможности CAM – модуля Cimatron. Как было сказано выше, используя постпроцессор конкретного станка, Cimatron позволяет преобразовать траекторию в управляющую программу. Заметим, что университетский Cimatron содержит только демонстрационный постпроцессор, но позволяет инженерам предприятия разработать собственный под нужды производства в соответствие с имеющимся оборудованием. Кроме того, система позволяет проконтролировать написанную программу путём просмотры симуляции обработки. Для активации каждой из этих возможностей следует в меню управляющей программы отметить процедуры, нажать **POST** для генерации управляющей программы или выбрать из меню **SIMULATION** пункт **SIMULATE** для просмотра симуляции, а затем нажать EXIT (среднюю кнопку мыши).

Эскизы симуляции и управляющая программа показаны на рис. 1.109

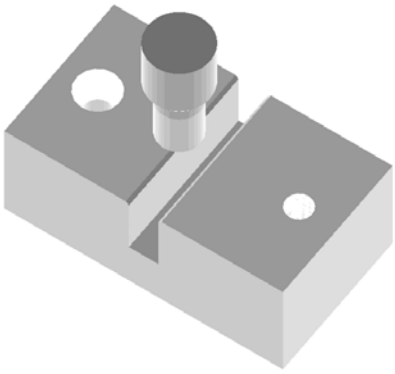


фрезерование паза

фрезерования фасок



сверление сквозных отверстий



фрезерование глухих отверстий

```
%
O0100
T01
T02
G90 G80 G00 G18 G40 M23
G43 H01 Z35. S1000 M03
G00 X45. Y0.0 Z35. M09
Z33.
G01 Z29. F105
Y50. F350
Z26. F105
Y0.0 F350
Z23. F105
Y50. F350
Z20. F105
Y0.0 F350
Z18. F105
Y50. F350
Z14. F105
Y0.0 F350
Z12. F105
Y50. F350
G00 Z35.
T02 M98 P8000
T03
G90 G80 G00 G18 G40 M23
G43 H02 Z35. S1000 M03
Y0.0 M09
Z33.
G01 Z26.25 F32
Y50. F105
G00 Z35.
T03 M98 P8000
T04
G90 G80 G00 G18 G40 M23
G43 H03 Z35. S1000 M03
G98 G81 X12.5 Y25. Z-10. R0.0 F350
M09
X88.5
G80 Z35.
T04 M98 P8000
T01
G90 G80 G00 G18 G40 M23
G43 H04 Z35. S1000 M03
G98 G81 X12.5 Y25. Z21.9 R22. F105
M09
X88.5
G80 Z35.
T01 M98 P8000
M30
%
```

Рис. 1.109

Выводы по исследовательской части

Таким образом, на основании проведённой работы можно сделать следующие выводы.

1. Самостоятельно изучены дополнительные литературные источники, в том числе ресурсы Internet по видам и областям применения CAD/CAM-систем.
2. Рассмотрены основные характеристики и методики функционирования различных отечественных и импортных CAD/CAM.
3. В ходе преддипломной практики изучен опыт применения современных CAD/CAM-систем на ОАО «ИФО».
4. Произведено сравнение двух передовых отечественных программных продуктов: Компас и T-Flex.
5. Дополнительно к учебному материалу по дисциплине АСТПП более глубоко изучена среда твёрдотельного моделирования MCAD Cimatron.
6. При помощи MCAD Cimatron на основании первичной бумажной конструкторской документации создана твёрдотельная модель сложной детали «корпус».
7. Самостоятельно изучены возможности параметрического моделирования в среде MCAD Cimatron и разработана параметрическая модель детали «прихват».
8. При помощи MCAD Cimatron разработаны необходимые для технологической подготовки производства детали станочного приспособления для обработки на токарном станке и измерительного приспособления для контроля перпендикулярности отверстий корпуса.
9. Углублённо изучены инструментальные возможности сборки в CAD/CAM Cimatron.
10. Разработана пошаговая методика компоновки сборочной модели станочного приспособления для обработки на токарном полуавтомате.
11. На основании электронной документации и HELP изучен CAM-модуль системы Cimatron.
12. Используя CAM-модуль системы Cimatron, созданы программы для фрезерной и осевой обработки детали «направляющая» на станке с ЧПУ.

Заключение по работе

В работе был рассмотрен опыт ярославского предприятия АО «ИФО» по использованию MCAD Cimatron и некоторых других компьютерных систем для повышения эффективности компьютерно-интегрированного проектирования.

Проведён обзор западных и отечественных систем автоматизированной подготовки производства, а также рассмотрены их возможности и основные функции.

Изучена среда и инструментальные средства MCAD Cimatron, имитирующие работу конструктора при построении 3D-моделей и компоновки сборочных единиц, а также подготовки управляющих программ для обработки на станках с ЧПУ на базе траекторий, построенных технологом на этих моделях.

Предпринята попытка компьютерно-интегрированной подготовки производства для детали «корпус» номенклатуры другого ярославского завода. Использование MCAD Cimatron заключалось в создании объёмной, твёрдотельной модели детали «корпус», моделирования всех деталей, входящих в сборочные единицы и экранной сборки станочного и контрольного приспособлений. Также были продемонстрированы параметрическое возможности MCAD Cimatron, и спроектирована параметрическая модель детали «прихват». Кроме того, была изучена среда и инструментальные средства CAM-модуля и рассмотрен метод его использования на примере создания управляющей программы для обработки на станке с ЧПУ детали «направляющая». Правильность созданной управляющей программы была проверена средствами симуляции CAM-модуля Cimatron.

Расчёты межоперационных размеров и припусков на обработку были проведены в разработанной в ЯГТУ компьютерной программе KON7, а расчёты режимов резания в программе KONCUT также разработанной в ЯГТУ.

Для оформления операционных карт в работе были использованы их шаблоны созданные в приложении Microsoft Excel, а для оформления чертежей – среда AutoCAD2002.

Данный дипломный проект является одним из первых проектов, в котором продемонстрировано взаимодействие конструкторских и технологических служб предприятия на базе использования единой программной среды MCAD Cimatron.

В работе также приведены расчёты экономических показателей в случае внедрения данной САПР на другом предприятии. Годовая экономическая эффективность составляет 624223,9 руб. при сроке окупаемости затрат в 0,5 лет.

Результаты работы получили положительный отзыв руководства предприятия АО «ИФО» (Приложение Ф).

Список использованных источников

1 http://cad.ru - сайт о CAD/CAM системах
2. http://www.ascon.ru - сайт фирмы АСКОН
3. http://www.bee-pitron.com - сайт фирмы БИ-ПИТРОН
4. http://www.gemma.ru - сайт фирмы ГЕММА
5. http://www.omegat.ru - сайт фирмы ОМЕГА
б http://www.solidworks.ra - сайт о CAD/CAM SolidWorks
7. http://www.topsystems.ru - сайт фирмы ТОП СИСТЕМЫ
8. Анурьев А.В. Справочник конструктора машиностроителя: В 3-х т. Т.1.-5-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1978.-728с.
9. Анурьев А.В. Справочник конструктора машиностроителя: В 3-х т. Т.2.-5-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1979.-559с.
10. Анурьев А.В. Справочник конструктора машиностроителя: В 3-х т. Т.З.-5-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1980.-557.
П.Барташёв Л.В. Технико-экономические расчёты при проектировании и производстве машин.-М.: Машиностроение, 1973.-384 с. 12. Бирман Г. Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных проектов/ Пер. с англ. под ред. Л.П. Белых.-М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997.-631с. 13.Вейц В.Л., Максаров В.В., Лонцих П.А. Динамика и моделирование процессов резания при механической обработке. Иркутск: РИО ИГИУВа, 2000.-189 с.
14. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Орлова Е.Р., Смоляк С.А. Оценка эффективности ин вестиционных проектов.-М.: Дело, 1998.-248с.
15. Гжиров Р. И. Краткий справочник конструктора. Ленинград, Машиностроение, 1983.
16.Горбацевич А.Ф., Шкред В. А. Курсовое-проектирование по технологии машиностроения: [Учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов].-4-е изд. перераб. и доп. Мн.: Выш. Школа, 1983.-256 с.
17.Гуляев А.П. Материаловедение. Учебник для высших техн-х уч-х заведений.-3-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1990.-528с.
18. Дипломное проектирование по технологии машиностроения : [Учеб. пособие для вузов / В. В. Бабук, П. А. Горезко, К. П. Забродин и др.] Под общ. ред. В. В. Бубука.-Мн.: Выш. школа, 1979.-464 с.
19.Долин П.А. Справочник по технике безопасности. —М.: Машиностроение, 1984.-824 с.
20.Заверский Е.И Митрофанов Н.Г. Сахновский А.Г. Справочник молодого наладчика токарных автоматов и полуавтоматов.-М.: Высш.Школа, 1979.-239с.
21.Зильбербург Л.И., Марьяновский С.М., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Cimatron - компьютерное проектирование и производство. Под общей радакцией Марьяновского С.М. СПб: КПЦ «МиР», 1998.-166 с.
22.Золотухина Г.А. Нормативные методы в экономических расчетах.-Л.: Машиностроение, 1975.-168 с.
23. Зуева Л.М. Экономическая оценка инвестиций: Учебное пособие. Воронеж, ВГАСА, 2000.-110С.
24.Ицкович Г.М. и др. Курсовое проектирование деталей машин.-М.: Машиностроение, 1965.-438 с.
25. Калачев О.Н. Документация по программным продуктам: "KON7 Расчет технологических размерных цепей"; "GRAKON7 Автоматизированное построение в среде AutoCAD 2000 размерной схемы технологического процесса механообработки". ЯГТУ: Ярославль, 2000.-94 с.

26.Калачёв О.Н. Компьютерно-интегрированное машиностроение и CAD/CAM Cimatron // Информационные технологии, №10, 1998.-с.43-47.
27. Калачёв О.Н. Применение CAD/CAM Cimatron для проектирования моделей сборочных единиц: Учебное пособие - Ярославль, 2001.-50 с.
28. Калачёв О.Н. Применение CAD/CAM Cimatron для создания моделей деталей: Учебное пособие -Яросл. гос. техн. ун-т. Ярославль, 2000.-48 с.
29.Калачёв О.Н. Разработка САПР на основе моделирования и анализа размерных изменений заготовки в ходе проектирования технологических процессов //Вестник ЯГТУ. Сб. науч. тр. Вып.З.-Ярославль:ЯГТУ, 2000.-С.68-73.
30.Калачёв О.Н., Синицын В.Т. Применение вычислительной техники в курсовом и дипломном проектировании по технологии машиностроения: Учеб. пособие / Яросл. политехи, ин-т.-2-е изд., перераб. и доп.—Ярославль, 1989.- 87 с.
31. Комиссаров В.И., Фильченок Ю.А., Юшкевич В.В. Размерная наладка гибкого автоматизированного производства, Владивосток, ДВПИ, 1987.
32.Краткий справочник нормировщика-машиностроителя.-Мн.: Беларусь, 1976.-287 с.
33. Лахтин Ю.М., Леонтьева B.IL Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений.-3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990.-528 с.
34. Лившиц В.Н., Лившиц С.В. Об одном подходе к оценке эффективности производственных инвестиций в России.//Оценка эффективности инвестиций. Сб. трудов.-М..ЦЭМИ РАН, 2000.
ЗЗ.Максаров В.В., Схиртладзе А.Г. Проектирование машиностроительных производств: Учеб. пособие.-СПб.:СЗТУ,2003.-232 с.
36. Методика анализа финансового состояния предприятия в условиях перехода к рынку. -Деньги и кредит, N 5, 1992.
37. Методика проектирования группового технологического процесса обработки корпусных деталей в ПЖ для специальностей 12.01, 21.02, -Ар.: АрТИ ДВГТУ, 1998.
38. Методические рекомендации по расчету эффективности инвестиционных проектов. Официальное издание. -М.: "Экономика", 2000.
39.Нефедов Н.А. Дипломное проектирование в машиностроительных техникумах.-М: Высшая школа, 1976.
40.Обработка металлов резанием. Справочник технолога/Под ред. Г.А. Монахова.-3-е изд.-М.Машиностроение, 1974. 598 с.
41.Общемашиностроительные нормы времени для технического нормирования на металлорежущих станках. Мелкосерийное и единичное производства -М.: Машиностроение, 1967.
42. Общетехнический справочник, под редакцией к. т. н. Скороходова Е. А. -М., Машиностроение, 1989.
43. Основы технологии важнейших отраслей промышленности. Учебное пособие для вузов. Под ред. И.В. Ченцова, В.В. Вашука, -Мн. 1989г.
44.Расчёты экономической эффективности новой техники: Справочник/Под ред. К.М. Великанова.-Л.Машиностроение, 1975.-430 с.
45.Режимы резания. Справочник под ред. Барановского Г.Э.-М.: Машиностроение, 1972.
46.Сагателян Г. Р., Руденко Н. Р., Назаров Н. Г. Анализ технологичности конструкций деталей приборов, изготовленных методами обработки материалов резанием.-М.: ЗАО "Информ-знание" MSC,. 1995.
47.Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов. -М.: Машиностроение, 1981.-180 с.

48. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. -4-е изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1985. 656 с.
49. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. -4-е изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1985. *496 с.*
50. Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Издание 3, переработанное. Том 2. Под редакцией А.Н.Малова. -М., Машиностроение, 1972г, 658с.
51. Справочник. Обработка металлов резанием. Под ред. Панова А.А.-М.: Машиностроение, 1988. 443с.
52. Тищенко О. Ф., Веселова Е. В., Нарыкова Н. И. "Оформление рабочих чертежей деталей и узлов". -М., МГТУ, 1986с.
53. Ткачук К.Н. и пр. Безопасность труда в промышленности.-К.: Техника, 1982. -231 с.
54. Хауз Рон. Использование AutoCAD 2000. Специальное издание: Пер. с англ.-М.: Издательский дом «Вильяме»,2001.-832 с.:ил.-Парал. тит. англ.
55. Четыркин Е.М. Методы финансовых и коммерческих расчетов,-2-е изд., испр. и доп. -М.: "Дело Лтд", 1995. - 320с.
56. Шатин В.П., Денисов П.С. Режущий и вспомогательный инструмент: Справочник. -М.: Машиностроение, 1968.-42 с.
57. Юдин Е.Я. и др. Охрана труда в машиностроении. -М. Машиностроение, 1983. -432 с.