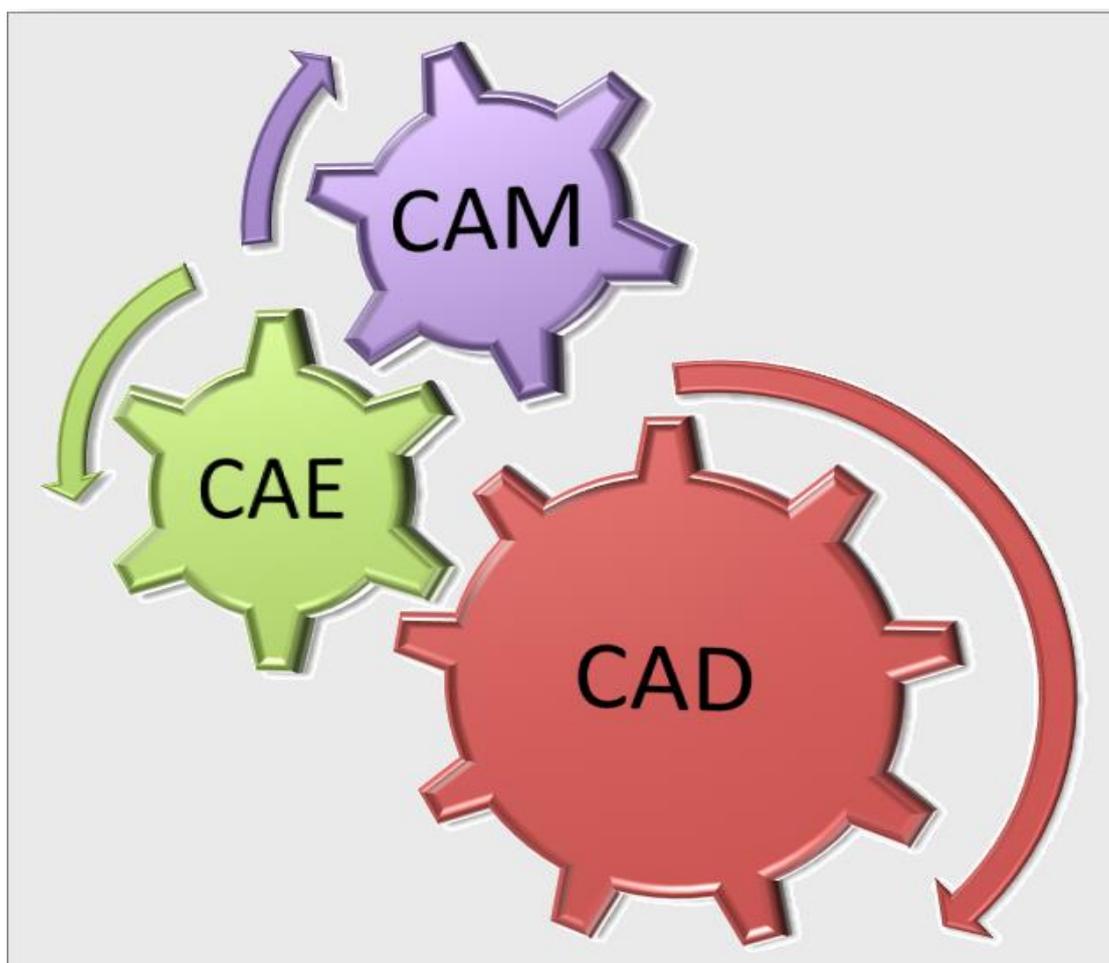


О.Х. Отакулов, Э.Т. Мамуров, С.М. Юсупов

Основы проектирования в системах CAD/CAM/CAE



Фергана-2018

**Министерство высшего и среднего специального
образования Республики Узбекистан
Ферганский политехнический институт**

О.Х. Отакулов, Э.Т. Мамуров, С.М. Юсупов

Основы проектирования в системах CAD/CAM/CAE

Допущено Ученым советом Ферганского политехнического
института в качестве учебного пособия для студентов
обучающихся по направлению 5320200- «Технология
машиностроения, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»

Протокол № _____ от «___» _____ 2018 г.

Фергана-2018

УДК 621.7

Основы проектирования в системах CAD/CAM/CAE.
Учебное пособие /О.Х. Отакулов, Э.Т. Мамуров, С.М. Юсупов. -
Фергана: Ферганский политехнический институт, 2018. - 175с.

В учебном пособии рассматриваются вопросы проектирования в системах CAD/CAM/CAE.

Издание соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта по направлению 5320200 - «Технология машиностроения, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и предназначается для использования в качестве дополнительной литературы предмета по выбору студентов «**Основы проектирования в системах CAD/CAM/CAE**».

Редактор: А.Э.Сотволдиев к.т.н., доцент

Рецензенты: А.А. Кулдашев к.т.н., доцент, Ферганский филиал ТУИТ, Р.К. Таджибаев канд. техн. наук, ООО СП «Евразия ТАПО-Диск»

Печатается по решению Ученого совета Ферганского политехнического института

© Оформление. Ферганский
политехнический институт, 2018

Введение

Ученое пособие «Основы проектирования в системах CAD/CAM/CAE» предназначено для обучения студентов основам проектирования в системах CAD/CAM/CAE. В учебном пособии изложены основные правила и принципы проектирования, структурные символы элементов. Данное учебное пособие содержит материал по проектированию деталей машин и инженерных расчетов, практические навыки, необходимые для создания программы по производству машин. Предлагаемые в учебном пособии «Основы проектирования в системах CAD/CAM/CAE» компьютерные программы используются в процессе преподавания. Некоторые из тем, на основе испытаний и оценки знаний студентов осуществляется с помощью компьютера.

Системы CAD/CAM/CAE использующие эффективное управление жизненным циклом продукции, обеспечивают производство конкурентоспособной продукции, повышают эффективность и автоматизацию производственных процессов. Сведения о компьютерной графике, представленные в учебном пособии могут, оказаться полезным тем, кто работает с ней в других областях инженерной деятельности. Пособие предназначено для студентов старших курсов. Дополнительных знаний о системах автоматизированного проектирования у читателя не предполагается. Количество математических терминов и доказательств сведено к минимуму.

ГЛАВА 1. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИХ МЕСТО СРЕДИ ДРУГИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

1.1. Этапы жизненного цикла изделия

Жизненный цикл промышленных изделий включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до утилизации по окончании срока его использования. Основные этапы жизненного цикла изделия представлены на рис. 1.1.

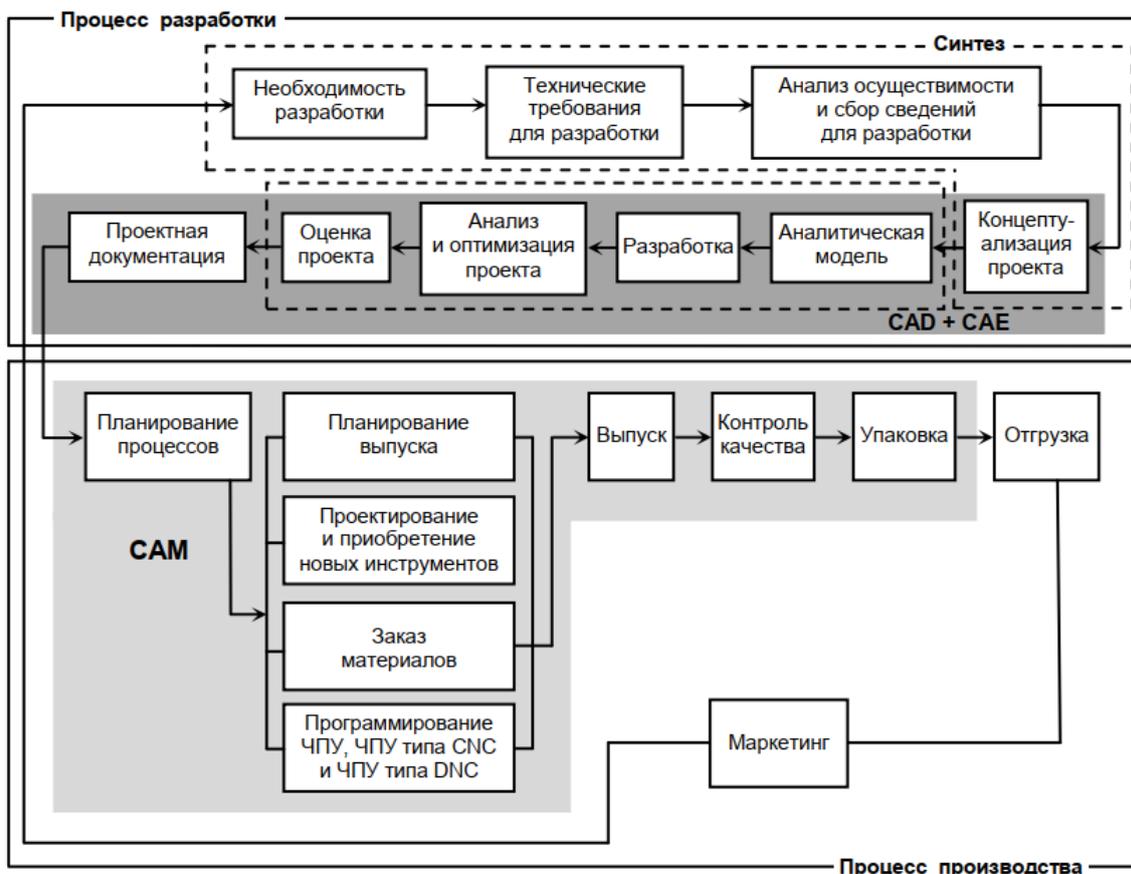


Рис. 1.1. Жизненный цикл изделия

К ним относятся этапы проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, реализации продукции, эксплуатации и, наконец, утилизации.

На всех этапах жизненного цикла изделий имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью. На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение ТЗ (технологического задания) при заданной степени надёжности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для

достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики. Понятие эффективности охватывает не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требования удобства эксплуатации имеют для сложной техники, например, в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные промышленные изделия, оказывается невозможным без широкого использования АИС. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АИС.

Основные типы АИС с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий показаны на рис. 1.2.

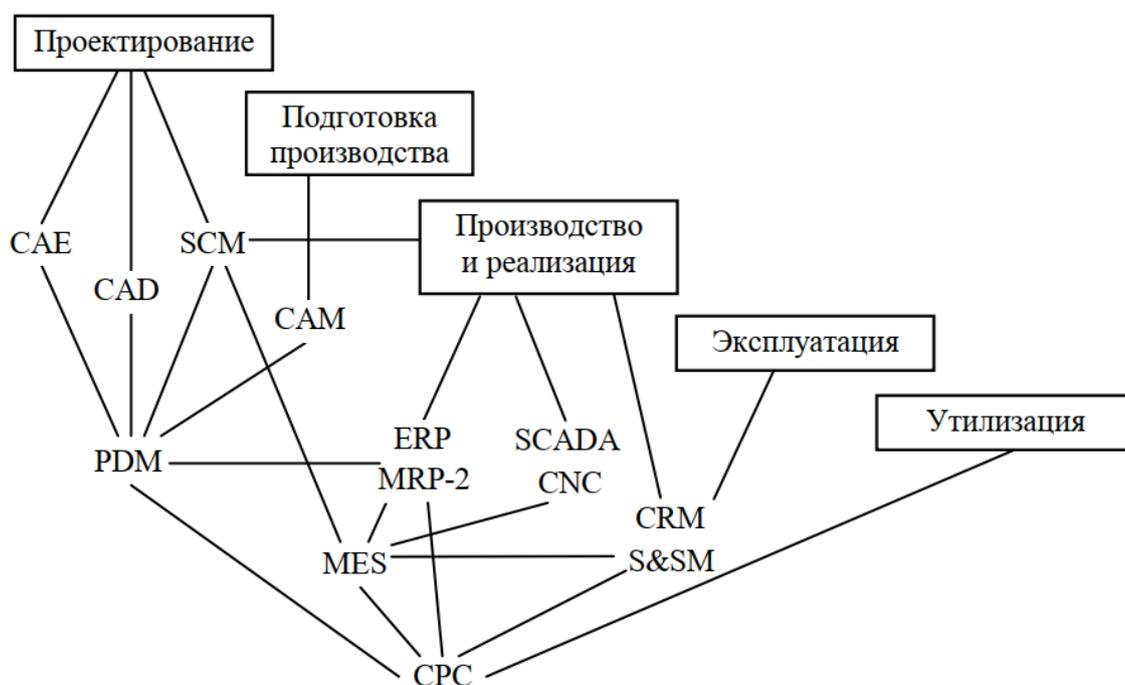


Рис.1.2. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и используемые АС

Автоматизация проектирования осуществляется САПР. Принято выделять в САПР машиностроительных отраслей промышленности системы функционального, конструкторского и технологического проектирования.

Первые из них называют *системами расчётов и инженерного анализа или системами CAE (Computer Aided Engineering)*.

Системы конструкторского проектирования называют системами CAD (Computer Aided Design).

Проектирование технологических процессов составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в системах САМ

(Computer Aided Manufacturing).

Функции координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием возложены на *систему управления проектными данными* PDM (Product Data Management).

Уже на стадии проектирования требуются услуги *системы управления цепочками поставок* (SCM - Supply Chain Management), иногда называемой системой Component Supplier Management (CSM). На этапе производства эта система управляет поставками необходимых материалов и комплектующих.

Информационная поддержка этапа производства продукции осуществляется *автоматизированными системами управления предприятием* (АСУП) и *автоматизированными системами управления технологическими процессами* (АСУТП).

К АСУП относятся системы планирования и управления предприятием ERP (Enterprise Resource Planning), планирования производства и требований к материалам MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning), производственная исполнительная система MES (Manufacturing Execution Systems), а также SCM и система управления взаимоотношениями с заказчиками CRM (Customer Requirement Management).

Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учётом основных фондов и т. п. Системы MRP-2 ориентированы, главным образом, на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством, а системы MES - на решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые изделия. Эти функции осуществляет система CRM. Маркетинговые задачи иногда возлагаются на систему S&SM (Sales and Service Management), которая, кроме того, используется для решения проблем обслуживания изделий. На этапе эксплуатации применяют также специализированные компьютерные системы, занятые вопросами ремонта, контроля, диагностики эксплуатируемых систем.

АСУТП контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание технологических процессов. Именно их чаще всего называют системами промышленной автоматизации.

Для выполнения диспетчерских функций (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и разработки ПО для встроенного оборудования в состав АСУТП вводят систему SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Непосредственное программное управление технологическим оборудованием осуществляют с помощью системы CNC (Computer Numerical Control) на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), которые встроены в технологическое оборудование.

В последнее время усилия многих компаний, производящих программно-аппаратные средства АС, направлены на создание систем электронного бизнеса (E-Commerce). Задачи, решаемые системами E-Commerce, сводятся не только к организации на сайтах Internet витрин товаров и услуг. Они объединяют в едином информационном пространстве запросы заказчиков и данные о возможностях множества организаций, специализирующихся на предоставлении различных услуг и выполнении тех или иных процедур и операций по проектированию, изготовлению, поставкам заказанных изделий. Такие системы E-Commerce называют *системами управления данными в интегрированном информационном пространстве* CPC (Collaborative Product Commerce) или PLM. Проектирование непосредственно под заказ позволяет добиться наилучших параметров создаваемой продукции, а оптимальный выбор исполнителей и цепочек поставок ведёт к минимизации времени и стоимости выполнения заказа. Характерная особенность CPC - обеспечение взаимодействия многих предприятий, т.е. технология CPC является основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие АИС разных предприятий.

1.2. Структура САПР

САПР состоит из подсистем, которые делят на проектирующие и обслуживающие.

Проектирующие подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры (подсистемы геометрического трёхмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации и т. д.).

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, подсистемы

разработки и сопровождения программного обеспечения CASE (Computer Aided Software Engineering), обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Имеется несколько видов обеспечения САПР. Принято выделять *семь видов обеспечения САПР* [3]:

- *техническое* (ТО), включающее различные аппаратные средства (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое коммутационное оборудование, линии связи, измерительные средства);
- *математическое* (МО), объединяющее математические методы, модели и алгоритмы для выполнения проектирования;
- *программное*, представляемое компьютерными программами САПР;
- *информационное*, состоящее из базы данных, СУБД, а также включающее другие данные, используемые при проектировании; отметим, что вся совокупность используемых при проектировании данных называется *информационным фондом САПР*, а база данных вместе с СУБД носит название *банка данных*;
- *лингвистическое*, выражаемое языками общения между проектировщиками и ЭВМ, языками программирования и языками обмена данными между техническими средствами САПР;
- *методическое*, включающее различные методики проектирования, иногда к нему относят также математическое обеспечение;
- *организационное*, представляемое штатными расписаниями, должностными инструкциями и другими документами, регламентирующими работу проектного предприятия.

1.3. Классификация САПР

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по приложению, целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы - ядра САПР [3, 4].

По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР.

1. САПР для применения в отраслях общего машиностроения. Их часто называют машиностроительными САПР или системами MCAD (Mechanical CAD).
2. САПР для радиоэлектроники: системы ECAD (Electronic CAD) или EDA (Electronic Design Automation).
3. САПР в области архитектуры и строительства.

Кроме того, известно большое число специализированных САПР, или

выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь. Примерами таких систем являются САПР летательных аппаратов; САПР электрических машин и т. п.

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, обеспечивающие разные аспекты проектирования. Так, в составе МСАД появляются САЕ/CAD/CAM-системы.

По масштабам различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР, например: комплекс анализа прочности механических изделий в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ) или комплекс анализа электронных схем; системы ПМК; системы с уникальными архитектурами не только программного (software), но и технического (hardware) обеспечений.

По характеру базовой подсистемы различают следующие разновидности САПР.

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер. В настоящее время широко используют унифицированные графические ядра, применяемые более чем в одной САПР (ядра Parasolid фирмы EDS Unigraphics и ACIS фирмы Intergraph).
2. САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчётах перерабатывается большой объём данных (технико-экономических приложения, например, при проектировании бизнес-планов).
3. САПР на базе конкретного прикладного пакета, например, имитационного моделирования производственных процессов, расчёта прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т.п. Часто такие САПР относятся к системам САЕ. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.
4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов, например, САЕ/CAD/CAM- системы в машиностроении.

В *комплексных АИС* помимо функций собственно САПР реализуются средства для автоматизации функций управления проектированием, документооборота, планирования производства, учёта и т.п.

Проблемы интеграции лежат в основе технологии «Юпитер», пропагандируемой фирмой Intergraph. Пример сращивания некоторых подсистем САПР и АСУ - программный продукт TechnODOCS (российская фирма «Весть»).

Подобная интеграция является неотъемлемой чертой CALS-технологий. Одна из наиболее известных реализаций CALS-технологии - EPD (Electronic Product Definition) разработана фирмой Computer vision и ориентирована на поддержку процессов проектирования и эксплуатации изделий машиностроения.

Технологию EPD реализуют:

- CAD-САПР;
 - САМ-АСТПП;
 - САЕ-система моделирования и расчётов;
 - CAPE (Concurrent Art-to-Product Environment) - система поддержки параллельного проектирования (concurrent engineering);
 - PDM-система управления проектными данными, представляющая собой специализированную СУБД (DBMS - Data Base Management System);
 - 3DViewer-система трёхмерной визуализации;
 - CADD-система документирования;
 - CASE-система разработки и сопровождения программного обеспечения;
 - методики обследования и анализа функционирования предприятий.
- Основу EPD составляют системы CAD и PDM.

1.4. Функции и проектные процедуры, реализуемые в САПР

В состав развитых машиностроительных САПР входят в качестве составляющих системы CAD, САМ и САЕ.

Функции САД-систем в машиностроении подразделяют на *функции двумерного и трёхмерного проектирования*. К функциям 2D относят черчение, оформление конструкторской документации; к функциям 3D - получение трёхмерных геометрических моделей, метрические расчёты, реалистичную визуализацию, взаимное преобразование 2D- и 3D-моделей. В ряде систем предусмотрено также выполнение процедур, называемых *процедурами позиционирования*, к ним относят компоновку и размещение оборудования, проведение соединительных трасс.

Среди САД-систем различают *системы нижнего, среднего и верхнего уровней*. Первые из них иногда называют «лёгкими» системами, они ориентированы преимущественно на 2D-графику, сравнительно дешёвы,

основной аппаратной платформой для их использования являются персональные ЭВМ. Системы верхнего уровня, называемые также «тяжёлыми», дороги, более универсальны, ориентированы на геометрическое твердотельное и поверхностное 3D-моделирование, оформление чертёжной документации в них обычно осуществляется с помощью предварительной разработки трёхмерных геометрических моделей. Системы среднего уровня по своим возможностям занимают промежуточное положение между «лёгкими» и «тяжёлыми» системами.

К важным характеристикам САД-систем относятся *параметризация и ассоциативность*. *Параметризация* подразумевает использование геометрических моделей в параметрической форме, т. е. при представлении части или всех параметров объекта не константами, а переменными. Параметрическая модель, находящаяся в базе данных, легко адаптируется к разным конкретным реализациям и потому может использоваться во многих конкретных проектах. При этом появляется возможность включения параметрической модели детали в модель сборочного узла с автоматическим определением размеров детали, диктуемых пространственными ограничениями. Эти ограничения в виде математических зависимостей между частью параметров сборки отражают *ассоциативность* моделей.

Параметризация и ассоциативность играют важную роль при проектировании конструкций узлов и блоков, состоящих из большого числа деталей. Действительно, изменение размеров одних деталей оказывает влияние на размеры и расположение других. Благодаря параметризации и ассоциативности изменения, сделанные конструктором в одной части сборки, автоматически переносятся в другие части, вызывая изменения соответствующих геометрических параметров в этих частях.

Основные функции САМ - систем: разработка технологических процессов, синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ, моделирование процессов обработки, в том числе построение траекторий относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки, генерация постпроцессоров для конкретных типов оборудования с ЧПУ, расчёт норм времени обработки.

Функции САЕ-систем довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений. *В состав машиностроительных САЕ - систем прежде всего включают программы для выполнения следующих процедур*:

- моделирование полей физических величин, в том числе анализ прочности, который чаще всего выполняется в соответствии с МКЭ;
- расчёт состояний моделируемых объектов и переходных процессов в

них средствами макро уровня;

- имитационное моделирование сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.

Основными частями программ анализа с помощью МКЭ являются библиотеки конечных элементов, препроцессор, решатель и постпроцессор.

Библиотеки конечных элементов содержат их модели - матрицы жёсткости. Очевидно, что модели конечных элементов будут различными для разных задач (анализ упругих или пластических деформаций, моделирование полей температур, электрических потенциалов и т.п.), разных форм конечных элементов (например, в двумерном случае - треугольные или четырёхугольные элементы), разных наборов координатных функций.

Исходные данные для *препроцессора* - геометрическая модель объекта, чаще всего получаемая из подсистемы конструирования. Основная функция препроцессора - представление исследуемой среды (детали) в сеточном виде, т.е. в виде множества конечных элементов.

Решатель - программа, которая ассемблирует (собирает) модели отдельных конечных элементов в общую систему алгебраических уравнений и решает эту систему одним из методов разреженных матриц.

Постпроцессор служит для визуализации результатов решения в удобной для пользователя форме. В машиностроительных САПР - это графическая форма. Пользователь может видеть исходную (до нагружения) и деформированную формы детали, поля напряжений, температур, потенциалов и т.п. в виде цветных изображений, в которых палитра цветов или интенсивность свечения характеризуют значения фазовой переменной.

В САПР крупных предприятий обычно используют программы разных уровней. Связано это с тем, что более 80% всех процедур конструирования можно выполнить на CAD-системах нижнего и среднего уровней, кроме того, «тяжёлые» системы дороги. Поэтому предприятие приобретает лишь ограниченное число экземпляров (лицензий) программы верхнего уровня, а большинство клиентских рабочих мест обеспечивается экземплярами программ нижнего или среднего уровней. При этом возникает проблема обмена информацией между разнотипными CAD-системами. Она решается путём использования языков и форматов, принятых в CALS-технологиях, хотя для неискажённой передачи геометрических данных с помощью промежуточных унифицированных языков приходится преодолевать определённые трудности.

1.5. Примеры программ

К числу мировых лидеров в области CAD/CAM/CAE - систем верхнего уровня относятся системы Unigraphics (компания EDS), CATIA (Dessault

Systemes), Pro/Engineer (PTC).

Система Unigraphics - универсальная система геометрического моделирования и конструкторско-технологического проектирования, в том числе разработки больших сборок, прочностных расчётов и подготовки конструкторской документации. Система многомодульная.

В конструкторской части (подсистема CAD) имеются средства для твердотельного конструирования, геометрического моделирования на основе сплайновых моделей поверхностей, создания чертежей по 3D-модели, проектирования сборок (в том числе с сотнями и тысячами компонентов) с учётом ассоциативности, анализа допусков и др.

В технологической части (подсистема CAM) предусмотрены разработка управляющих программ для токарной и электроэрозионной обработки, синтез и анализ траекторий инструмента при фрезерной трёх- и пятикоординатной обработке, при проектировании пресс-форм, штампов и др.

Для инженерного анализа (подсистема CAE) в систему включены модули прочностного анализа с использованием МКЭ с соответствующими пре- и постпроцессорами, кинематического и динамического анализа механизмов с определением сил, скоростей и ускорений, анализа литьевых процессов пластических масс.

Другая система верхнего уровня САЛА позволяет заказчику генерировать собственный вариант САПР сквозного проектирования - от создания концепции изделия до технологической поддержки производства и планирования производственных ресурсов.

В системе реализовано поверхностное, твердотельное 3D-моделирование и оптимизация характеристик изделий. Возможны фотореалистичная визуализация, восстановление математической модели из материального макета. Система масштабируема. Предлагаются типовые конфигурации, в том числе варианты для полнофункционального сквозного проектирования сложных изделий и проектирования комплектующих на небольших и средних предприятиях.

Аналогичные возможности реализованы и в других «тяжёлых» САПР.

Значительно дешевле обходится приобретение САПР среднего уровня. В России получили распространение системы компаний Autodesk, SolidWorks Corporation, Beantly, Топ Системы, АСКОН, Интермех, Вее-Pitron и некоторых других. Все эти системы имеют подсистемы: конструкторско-чертёжную 2D, твердотельного 3D-моделирования, технологического проектирования, управления проектными данными, ряд подсистем инженерного анализа и расчёта отдельных видов машиностроительных

изделий, а также библиотеки типовых конструктивных решений.

Широкое распространение в России и за рубежом получило ПО машиностроительных САПР компании Autodesk.

Линия современных программных систем конструкторского проектирования фирмы Autodesk включает ряд систем, среди которых наиболее развитыми следует считать системы AutoCAD Mechanical Desktop и Inventor.

Система Inventor предназначена для твердотельного параметрического проектирования, ориентирована на разработку больших сборок с сотнями и тысячами деталей, имеет развитую библиотеку стандартных элементов. В основе системы также лежит графическое ядро ACIS. Построение 3D-моделей возможно выдавливанием, вращением, по сечениям, по траекториям. Из 3D-модели можно получить 2D-чертежи и спецификации материалов. Поддерживается коллективная работа над проектом, в том числе в пределах одной и той же сборки. Предусмотрена автоматическая проверка кинематики, размеров детали с учётом положения соседних деталей в сборке. Значительные удобства работы конструкторов обусловлены тем, что ассоциативные связи задаются не путём описания операций с параметрами и уравнений, а непосредственно определением формы и положения компонентов.

В число продуктов Autodesk входит ряд других программ автоматизированного проектирования, в том числе Autodesk Data Exchange - набор конверторов для взаимного преобразования данных из форматов DXF и SAT (формат ядра ACIS) в такие форматы, как STEP, IGES, VDA-FS.

Система твердотельного параметрического моделирования механических конструкций SolidWorks (компания SolidWorks Corporation) построена на графическом ядре Parasolid, разработанном в Unigraphics Solution. Синтез конструкции начинается с построения опорного тела с помощью операций типа выдавливания, протягивания или вращения контура с последующим добавлением и (или) вычитанием тех или иных тел.

Используется технология граничного моделирования (B-representation) с аналитическим или сплайновым описанием поверхностей. При проектировании сборок можно задавать различные условия взаимного расположения деталей, автоматически контролировать зазоры и отсутствие взаимопересечения деталей. Предусмотрены IGES, DXF, DWG-интерфейсы с другими системами.

Среди САПР среднего уровня, наряду с продуктами зарубежных фирм, неплохо зарекомендовали себя системы отечественных разработчиков - это, прежде всего, системы Компас (компания Аскон) и T-FlexCAD (Топ Системы).

В системе *Компас* для трёхмерного твердотельного моделирования используется оригинальное графическое ядро. Синтез конструкций выполняется с помощью булевых операций над объёмными примитивами, модели деталей формируются путём выдавливания или вращения контуров, построением по заданным сечениям. Возможно задание зависимостей между параметрами конструкции, расчёт масс-инерционных характеристик. Разработка проектно-конструкторской документации, в том числе различных спецификаций, выполняется подсистемой *Компас-График*. Имеются библиотеки с данными о типовых деталях и графическими изображениями, а также программы специального назначения (проектирование тел вращения, пружин, металлоконструкций, трубопроводной арматуры, штамповой оснастки, выбора подшипников качения, раскроя листового материала и др.). Проектирование технологических процессов выполняется с помощью подсистемы *Компас-Автопроект*; программирование объёмной обработки на станках с ЧПУ - с помощью подсистемы *ГЕММА-3*.

Ряд необходимых функций управления проектными данными возложено на подсистему *Компас-Менеджер*.

Подсистема трёхмерного твердотельного моделирования *T-Flex CAD 3D* в САПР *T-Flex CAD* построена на базе ядра *Parasolid*. Реализована двунаправленная ассоциативность, т. е. изменение параметров чертежа автоматически вызывает изменение параметров модели и наоборот. При проектировании сборок изменение размеров или положения одной детали ведёт к корректировке положения других. Модель 3D может быть получена непосредственно по имеющемуся чертежу, или с помощью булевых операций, или путём выталкивания, протягивания, вращения профиля, лфтинга и т. п. Предусмотрен расчёт магеинерционных параметров. В то же время можно по видам и разрезам трёхмерной модели получить чертёж, для чего используется подсистема *T-Flex CAD 3D SE*.

Для параметрического проектирования и оформления конструкторско-технологической документации служит подсистема *T-Flex CAD 2D*, для управления проектами и документооборотом - подсистема *T-Flex DOCs*. В подсистеме технологического проектирования

T-Flex/ТехноПро выполняются синтез технологических процессов, расчёт технологических размеров, выбор режущего и вспомогательного инструмента, формирование технологической документации, в том числе операционных и маршрутных технологических карт, ведомостей оснастки и материалов, карт контроля.

Подготовка программ для станков с ЧПУ осуществляется в подсистеме *T-Flex ЧПУ*.

Кроме названных основных подсистем в состав T-Flex CAD включён ряд программ для инженерных расчётов деталей, проектирования штампов и пресс-форм.

В состав машиностроительных CAE-систем прежде всего включают программы для следующих процедур:

- моделирование полей физических величин, в том числе анализ прочности (Nastran, Ansys и др.);
- расчёт состояний и переходных процессов на макроуровне (Adams и LS-Dyna);
- имитационное моделирование сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

2.1. CALS-технологии

Возникновение концепции CALS и её эволюция. Впервые работы по созданию интегрированных систем, поддерживающих жизненный цикл продукции, были начаты в 1980-х гг. в оборонном комплексе США. Предполагалось, что реализация новой концепции, получившей обозначение CALS (Computer Aided Logistic Support) - компьютерная поддержка процесса поставок), позволит сократить затраты на организацию информационного взаимодействия государственных учреждений с частными фирмами в процессах разработки, поставок и эксплуатации военной техники.

Поскольку под логистикой обычно понимают дисциплину, посвящённую вопросам снабжения и управления запасами, а функции CALS намного шире и связаны со всеми этапами жизненного цикла промышленных изделий, применяют и более соответствующую предмету расшифровку аббревиатуры CALS - Continuous Acquisition and Life Cycle Support - непрерывные поставки и информационная поддержка жизненного цикла продукции.

Первая часть - Continuous Acquisition (непрерывные поставки) означает непрерывность информационного взаимодействия с заказчиком в ходе формирования заказа, процесса поставки и т.д. Вторая часть - Life Cycle Support (поддержка жизненного цикла изделия) - означает системность подхода к информационной поддержке всех процессов жизненного цикла изделия, в том числе, процессов эксплуатации, обслуживания, ремонта и утилизации и т.д. Русскоязычное наименование этой концепции и стратегии - ИПИ (Информационная Поддержка жизненного цикла Изделий) или КСПИ (компьютерное сопровождение и поддержка изделий).

Поскольку термин CALS всегда носил военный оттенок, в гражданской сфере широкое распространение получили термины Product Life Cycle Support (PLCS) или Product Life Management (PLM) «поддержка жизненного цикла изделия» или «управление жизненным циклом изделия».

Стандарты CALS - технологий. Внедрение CALS-технологии - сложная, многоплановая и комплексная проблема, в которой одно из ключевых мест принадлежит стандартизации.

Нормативная база в области CALS-технологий должна, в частности, обеспечивать:

- регламентацию непрерывной компьютеризированной поддержки жизненного цикла создания и экспорта сложной наукоёмкой продукции с

учётом требований международных и зарубежных стандартов;

- формирование стандартизованного комплекса технологий работы с данными, включая данные о самом продукте, процессах его создания и среде;
- создание, внедрение и эксплуатацию типовых программно-аппаратных средств;
- интеграцию информационных систем различных уровней и видов, систем САПР и АСУП на основе применения технологии открытых систем и методов функциональной стандартизации.

За рубежом работы проводятся в рамках ИСО ТК 184. В США и других странах НАТО разработанные нормативные документы включают международные стандарты (ИСО), федеральные стандарты США (FIPS), военные стандарты США (МГБ), стандарты стран НАТО.

В России работы по внедрению и стандартизации CALS - технологий находятся на начальном этапе. В настоящее время уже утверждены первые стандарты в области CALS. Создан и уже действует Технический комитет № 431 при Госстандарте России, основной задачей которого является разработка стандартов в области CALS.

Структура интегрированной информационной среды. Принципы и технологии CALS находят всё более широкое применение в промышленности России, и в первую очередь на предприятиях оборонного комплекса, поставляющих свою продукцию на внешний рынок. Ядро ИПИ - технологии составляет интегрированная информационная среда (ИИС).

ИИС представляет собой хранилище данных, существующее в сетевой компьютерной системе, охватывающей все службы и подразделения предприятия, связанные с процессами жизненного цикла (ЖЦ) изделий. В ИИС действует единая система правил представления, хранения и обмена информацией. В соответствии с этими правилами в ИИС протекают информационные процессы, сопровождающие и поддерживающие ЖЦ изделия на всех его этапах.

Как минимум, ИИС должна включать в свой состав две базы данных: общую базу данных об изделии (изделиях) (ОБДИ) и общую базу данных о предприятии (ОБДП).

С ОБДИ связаны все процессы на всех стадиях ЖЦ. ОБДИ обеспечивает информационное обслуживание и поддержку деятельности:

- заказчиков (владельцев) изделия;
- разработчиков (конструкторов), технологов, управленческого и производственного персонала предприятия - изготовителя;
- эксплуатационного и ремонтного персонала заказчика и специализированных служб.

ОБДП имеет информационные связи с процессами технологической и организационно - экономической подготовки производства и собственно производством (включая процессы отгрузки и транспортировки готовой продукции).

При реализации процессов, охватывающих ЖЦ продукции, в качестве исходных данных используется информация, содержащаяся в ИИС, а информационные объекты (ИО), порождаемые в ходе процессов, возвращаются в ИИС для хранения и последующего использования в других процессах.

Каждый ИО обладает набором характеристик, описывающих свойства реального физического объекта. Каждый ИО идентифицируется уникальным кодом и может быть извлечён из ОБД для выполнения действий с ним. Кроме ИО, относящихся (прямо или косвенно) к изделиям, в ИИС содержится информация о предприятии: о производственной управленческой структуре, о технологическом и вспомогательном оборудовании, о персонале, финансах и т.д. Вся совокупность этих данных образует ОБДП, которая, в свою очередь, состоит из нескольких разделов, например, «Экономика и финансы», «Внешние связи предприятия», «Производство и технология», «Система качества» и др.

При необходимости из ИИС могут быть извлечены разнообразные документы, необходимые для функционирования предприятия.

Концепция внедрения CALS технологий. Анализ информационных материалов, опубликованных в традиционной печати и в сети Интернет, позволил выявить ряд основных аспектов, определяющих эффективность применения CALS технологий. К их числу относятся:

- компьютерная автоматизация, позволяющая повысить производительность основных процессов и операций создания информации;
- информационная интеграция процессов, обеспечивающая совместное и многократное использование одних и тех же данных. Интеграция достигается минимизацией числа и сложности вспомогательных процессов и операций, связанных с поиском, преобразованием и передачей информации. Одним из инструментов интеграции является стандартизация способов и технологий представления данных с тем, чтобы результаты предшествующего процесса могли быть использованы для последующих процессов с минимальными преобразованиями;
- переход к безбумажной организации процессов и применение новых моделей их организации.

Из этих аспектов можно выделить конкретные факторы, непосредственно влияющие на экономические показатели производства,

применяющего CALS-технологии:

- сокращение затрат и трудоёмкости процессов технической подготовки и освоения производства новых изделий;
- сокращение календарных сроков вывода новых конкурентоспособных изделий на рынок;
- сокращение доли брака и затрат, связанных с внесением изменений в конструкцию;
- увеличение объёмов продаж изделий, снабжённых электронной технической документацией (в частности, эксплуатационной), в соответствии с требованиями международных стандартов;
- сокращение затрат на эксплуатацию, обслуживание и ремонты изделий, которые для сложной наукоёмкой продукции подчас равны или превышают затраты на её закупку.

Приведём некоторые количественные оценки эффективности внедрения CALS в промышленности США:

- прямое сокращение затрат на проектирование - 10 ... 30%
- сокращение времени вывода новых изделий на рынок - 25...75%;
- сокращение доли брака и объёма конструктивных изменений - 23...73%;
- сокращение затрат на подготовку технической документации - до 40%;
- сокращение затрат на разработку эксплуатационной документации - до 30%;
- сокращение времени разработки изделий - 40 ... 60%.

По данным зарубежных источников инвестиции правительства США в сферу CALS-технологий составляют - \$1 млрд. в год. Правительство Финляндии затратило на национальную программу в этой области свыше \$20 млн. и примерно такую же сумму (около \$25 млн.) вложили в неё частные компании. Средние затраты на один проект, посвящённый решению локальной задачи в области CALS-технологий (например, разработка стандарта или программы), составляют \$1,2...1,5 млн. при среднем сроке выполнения от 2 до 4 лет.

Эти цифры свидетельствуют о том, какое значение придают на Западе проблематике, связанной с CALS-технологиями.

Всю деятельность, связанную с CALS-технологиями, можно разделить на четыре сферы:

- 1) внедрение CALS-технологий на предприятиях;
- 2) использование CALS-технологий при разработке и производстве продукции;
- 3) разработка программных средств, реализующих CALS-техно-

логии;

4) управление качеством продукции на основе CALS-технологий.

Исходя из выделенных сфер деятельности, можно выделить восемь групп специалистов, подготовка, переподготовка и аттестация которых необходима для нормального внедрения CALS-технологий на отечественных предприятиях. Связь между сферами деятельности и требуемыми для каждой конкретной сферы специалистами показана на рис. 2.1.

Разработка программных средств, реализующих CALS-технологии, предполагает создание специализированного программного обеспечения (ПО), реализующего концепцию представления всей информации об изделии в электронном виде. Сюда относятся все программные продукты, используемые при разработке, производстве и эксплуатации продукции: САПР различного уровня, системы управления данными об изделии (PDM-системы), программы инженерных расчётов, системы подготовки эксплуатационной документации и т.д.

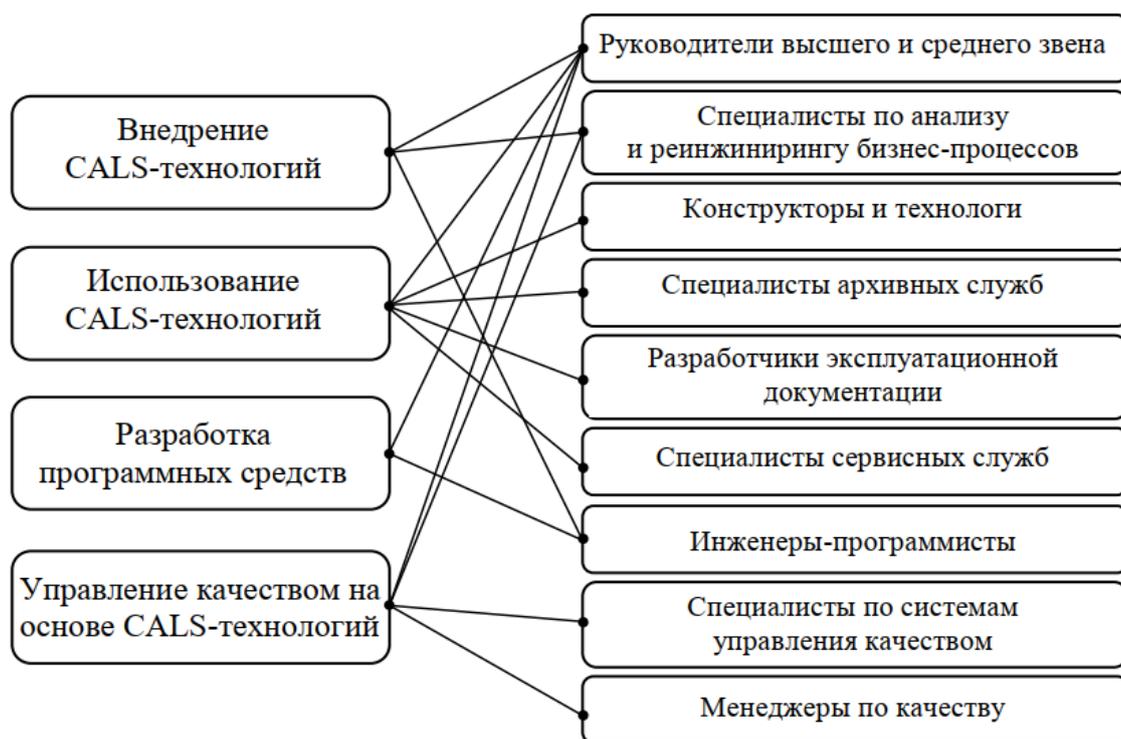


Рис. 2.1. Связь между сферами деятельности и требуемыми специалистами

В настоящее время отечественные разработки в области CALS-технологий применяются для решения следующего комплекса работ:

- разработка и промышленная апробация программно-методических средств, предназначенных для хранения и управления данными о продукции в соответствии с требованиями стандартов CALS;
- разработка и внедрение программных средств подготовки электронной эксплуатационной документации на изделие;

- разработка методики формализованного описания и анализа процессов, протекающих в ходе жизненного цикла изделия, и создание системы обеспечения качества продукции в соответствии с требованиями стандартов ИСО серии 9000;
- разработка нормативной базы применения CALS-технологий (стандартов, руководящих документов, методических рекомендаций).

Автоматизированные информационные системы - основа CALS-технологий. Компьютерные системы автоматизации проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, конструкторской и технологической подготовки производства часто ещё называют *автоматизированными информационными системами (АИС)*.

Рассмотрим далее весь комплекс вопросов, связанный с классификацией и структурой АИС, их аппаратным и программным обеспечением, а также возможными областями использования в машиностроительных производствах.

Классификация и структура АИС. В качестве признаков классификации АИС используются: область применения, охватываемая территория, организация информационных процессов, направление деятельности, назначения, структура и др.

В зависимости от организации информационных процессов, АИС делятся на два больших класса: *управляющие и информационные* (автоматизированные системы научных исследований (АСНИ), САПР, экспертные системы (ЭС) и др.).

Назначение и структура построения АИС характеризуются наличием соответствующих подсистем (рис.2.2). Этот класс АИС является исторически одним из первых на производстве.

По целевому назначению АИС классифицируются на:

- *бухгалтерские* (accounting information system - AIS);
 - *административные* (management information system - MIS);
- осуществляют сбор и обработку всех данных, необходимых для планирования, обслуживания, проверки, оценки и управления деятельностью организации;

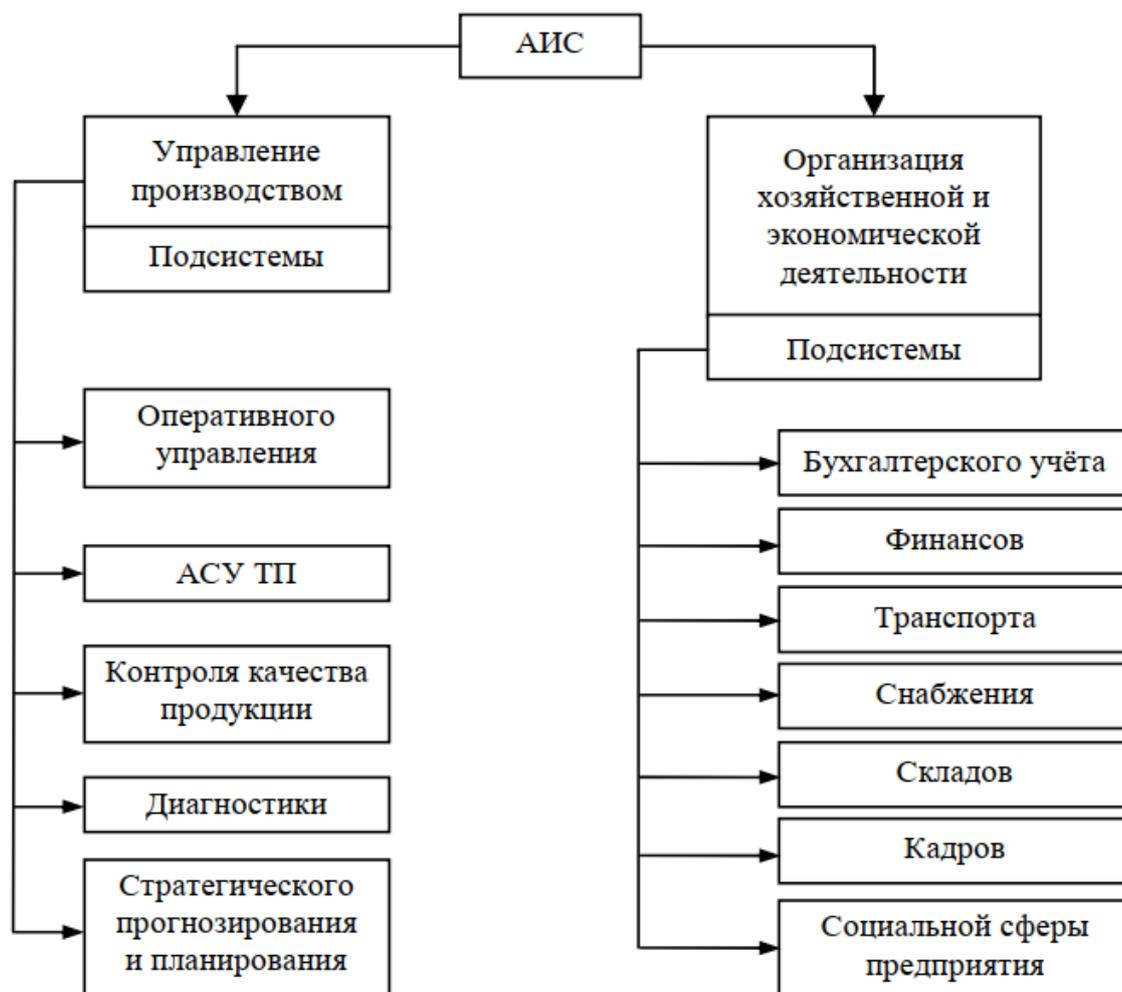


Рис. 2.2. Классификация АИС на предприятии

- *информационные системы руководителей* (ИСР, или executive information system - EIS) принимают данные из многих источников, объединяют и делают их доступными в удобном диалоговом формате;
- *склады данных* (data warehouses) - это база данных, хранящая всю информацию, касающуюся деятельности компании. Все прикладные программы компании могут обращаться к ней с различными запросами;
- *системы автоматизированного проектирования* (САПР, или CAD/CAE - computer assisted design/engineering);
- *автоматизированные системы управления производством* (АСУП, или САМ - computer assisted manufacturing) представляют из себя комплекс аппаратных и программных средств, участвующих в производстве. К ним относятся станки с ЧПУ, робототехнические комплексы и т.д. Совместно с САПР, такие системы в некоторых случаях дают возможность стереть грань между разработкой и производством и выпускать продукты с коротким жизненным циклом;
- *системы поддержки решений* (СПР, или decision support systems - DSS) позволяют пользователю изучать альтернативы, задавать вопросы типа «что

будет, если», оперировать изменяющимися условиями и принимать решения в непредвиденных ситуациях. Кроме базы данных, такие системы содержат базу моделей и имеют диалоговые средства, позволяющие применять эти модели, как бы «проигрывая» имеющиеся данные на модели с целью узнать, какие последствия вызовет то или иное решение. Чтобы облегчить применение моделей, СПР очень часто посвящаются узкой предметной области. Для работы с СПР достаточно владеть графическим интерфейсом и знать область применения;

- *экспертные системы* (ЭС, или expert system - ES) содержат знания и опыт одного или более специалистов в определённой предметной области. ЭС, кроме базы данных, содержит базу знаний (фактов и правил логического вывода), которая моделирует познания эксперта в какой-то предметной области. Подсистема логического вывода призвана отвечать на вопросы пользователей, а подсистема объяснений предназначена для ответа на вопросы, как был получен тот или иной вывод. Чаще всего такие системы применяются для того, чтобы «расширить» сферу деятельности ведущих специалистов фирмы или «привлечь» эксперта со стороны;

- *системы конечного пользователя* (СКП, или end user system - EUS) разрабатываются пользователями, чтобы удовлетворить свои собственные нужды в поиске информации, личной производительности и разработке приложений.

По структуре АИС можно разделить на две части: функциональную и обеспечивающую.

Функциональная часть обеспечивает реализацию определённых функций управления.

К функциональным подсистемам относятся: техническая подготовка производства; подготовка оперативного управления; подготовка материального снабжения; подготовка сбыта и реализации готовой продукции; подготовка управления кадрами; подготовка управления бухгалтером, отдел кадров.

Обеспечивающие подсистемы делятся на:

- *программное обеспечение;*
- *информационное обеспечение* (совокупность массивов информации, которые записаны на машинные носители, систем кодирования информации первичных и вторичных документов, схем, описаний, технологий обработки данных, инструкций, которые обеспечивают отображение производства и позволяют принимать управленческое решение);
- *техническое обеспечение* (совокупность технических средств по сбору, регистрации, передачи, обработки информации и технической документации,

позволяющие эксплуатировать эти технические средства);

- *организационное обеспечение* (совокупность технических документов, регламентирующих функционирование системы в целом, а также поведение человека в рамках этой системы);
- *математическое обеспечение*;
- *лингвистическое обеспечение* (использование словарей, определений, позволяющее идентифицировать различные элементы системы).

2.2. STEP-технологии

STEP (*Standard for Exchange of Product data*) — это совокупность стандартов (под номером ISO 10303), определяющих средства описания (моделирования) промышленных изделий на всех стадиях жизненного цикла. Совокупность стандартов STEP лежит в основе CALS-технологий.

Единообразная форма описаний данных о промышленной продукции обеспечивается введением в STEP языка Express, инвариантного к приложениям. Стандарты STEP не отрицают, а развивают методику информационного моделирования IDEF1X и предполагают возможность совместного использования с методикой функционального проектирования IDEF0 и рядом других международных стандартов (например, со стандартами ISOP-LIB, Mandate, SGML, CDIF и стандартом EIA 649).

Стандарт ISO 10303 состоит из ряда документов (томов).

Том ISO 10303-1 - вводный стандарт, описывающий структуру всей совокупности томов и основные принципы STEP. В следующих группах томов содержатся описания инвариантного к приложениям языка Express, даны методы его реализации, модели, ресурсы, как общие для приложений, так и некоторые специальные (например, геометрические и топологические модели, описание материалов, процедуры черчения, конечно-элементного анализа и т. п.), прикладные протоколы, отражающие специфику моделей в конкретных предметных областях, методы тестирования моделей и объектов.

Удовлетворению требований создания открытых систем в STEP уделяется основное внимание - специальный раздел посвящен правилам написания файлов обмена данными между разными системами, созданными в рамках STEP-технологии.

Развитие линии стандартов STEP находит выражение в разработке новых стандартов PartsLibrary (ISO 13584), Parametrics (ISO 14959), Mandate (ISO 15531).

Стандарты Parts Library (P-LIB) содержат обзор и основные принципы представления данных о стандартных компонентах

промышленных изделий. В этих стандартах представлены в виде библиотек данные о семействах таких типовых широко используемых компонентов изделий, как болты, подшипники, электронные компоненты и т.п., с целью использования этих данных в системах автоматизированного проектирования. В P-LIB содержатся также правила использования, интерфейса и модификации библиотечных описаний. Цель стандарта - обеспечить инвариантный для приложений механизм оперирования частями библиотеки.

Благодаря ISO 13584 различные прикладные САПР могут разделять данные из обобщенных баз, беспрепятственно обмениваться данными о типовых компонентах.

Стандарты P-LIB состоят из нескольких частей.

Часть 1 - обзор и основные положения серии стандартов.

Номера с 10 по 19 отведены для частей, содержащих концептуальные положения.

Номера с 20 по 29 выделены для описания логических ресурсов. Здесь разработаны части: 20 - общие ресурсы; 24

-логическая модель поставляемой библиотеки (Logical model of supplier library); 26 - определение поставщиков (Supplier Identification).

Номера 30-39 используются для описания ресурсов внедрения. Здесь разработана часть 31 - интерфейс геометрического программирования (Geometric Programming Interface).

Протоколам обмена посвящены части, начинающиеся с номера 101. Часть под номером 101 содержит протокол обмена геометрической параметризованной информацией; часть под номером 102 - протокол обмена согласованными с STEP данными.

Стандарты Parametrics введены сравнительно недавно (1996 г.) в связи с тем, что стандарты STEP в недостаточной мере учитывали особенности современных САПР в части представления параметризованных моделей изделий и обмена параметризованными данными.

Рабочая группа ISO по Parametrics решает как краткосрочные, так и перспективные задачи. Первые из них касаются удовлетворения потребностей геометрического проектирования и машинной графики в сегодняшних САПР, в которых широко используются параметризованные модели. Вторые касаются попыток распространения идей параметризации на более ранние этапы проектирования и на более широкий круг моделей и процедур проектирования, имеющих не только геометрический характер.

Стандарты Mandate посвящены представлению данных, относящихся к функционированию предприятий, управлению территориально

распределенными производственными системами, обмену данными о производстве с внешней для предприятия средой.

Часть стандарта, обозначаемая ISO 15531-21, содержит обзор и основные принципы представления данных о промышленной продукции. Содержание этой части характеризуется следующими ключевыми словами: системы промышленной автоматизации и интеграция, промышленные данные, обмен данными об управлении производством, обмен данными с внешней средой.

Том ISO 15531-31 посвящен обзору и основным принципам использования данных о производственных ресурсах. Излагаются модель, форма и атрибуты представления данных о производственных ресурсах, об управлении их использованием.

Том ISO 15531-41 содержит обзор и основные принципы управления потоками производственных данных.

Семейство стандартов SGML (ISO 8879) предназначено для унификации представления текстовой информации в АС. В цикле проектирования промышленной продукции стандарты SGML обслуживают стадию, на которой выполняется документирование результатов. Стандартная форма документов способствует их правильной передаче, интерпретации и многократному использованию многими системами и пользователями. Стандарты SGML разрабатывались, прежде всего применительно к текстовым документам, но их возможности шире, так они применимы для документирования гипермедийных данных.

Роль стандартов SGML конкретизируется следующими направлениями их использования.

1. Единообразное представление структуры данных, включая классификацию и идентификацию типов документов, поддержку различных типов символов и языковых ограничений.
2. Дополнение моделей промышленных изделий, задаваемых в настоящее время стандартами STEP, моделями документов.
3. Обмен данными между различными АС, электронными или традиционными средствами публикации и прежде всего между STEP и SGML средами. Для достижения этой цели SGML-формы должны быть согласованы с формой обменного файла STEP, описываемого в томе ISO 10303-21.

Использование возможностей SGML в STEP-ресурсах осуществляется с помощью информационной структуры SGML_STRING, включаемой в модели на языке Express. Эта структура содержит информацию о требуемом документальном оформлении данных и, следовательно, позволяет выполнять

в STEP-среде перечисленные выше функции SGML. Тем самым реализуется интеграция STEP- и SGML-стандартов.

Стандарт SGML устанавливает такие множества символов и правил для представления информации, которые позволяют правильно распознавать и идентифицировать эту информацию. Названные множества описывают в отдельной части документа, называемой декларацией DTD (Document Type Declaration), которую помещают в начале SGML-документа. В DTD указывают соответствие символов и их кодов, максимальные длины используемых идентификаторов, способ представления ограничителей для тегов (примером может служить символ “<” для тегов в HTML), другие возможные соглашения, синтаксис DTD, а также тип и версия документа. Следовательно, SGML можно назвать способом описания семейства конкретных языков разметки. В частности, подмножествами SGML являются языки разметки XML и HTML.

Стандарт EIA 649 посвящен управлению конфигурацией изделий. В нем установлены базовые принципы управления конфигурацией и правила управления внесением изменений в документацию. Рассматриваются такие вопросы, как идентификация документа, взаимосвязи конфигурации продукта и данных, контроль версий данных и доступа к данным и др. В стандарте вводятся уровни статуса данных, к которым относится документ на том или ином этапе своего жизненного цикла. Возможны уровни рабочих, выпущенных, представленных и утвержденных данных. На уровне рабочих данных с документом работает его составитель (разработчик). На уровне выпущенных данных документ доступен соответствующим подразделениям организации-изготовителя, здесь и далее любое изменение данных требует выполнения специальных согласительных процедур. Представленные данные уже доступны для просмотра заказчиком (потребителям). Статус утвержденных данных получают после одобрения заказчиком.

Структура стандартов STEP. Построение открытых распределенных АС для проектирования и управления в промышленности составляет основу современной CALS-технологии. Главная проблема их построения - обеспечение единообразного описания и интерпретации данных, независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки ее представления должны быть стандартизованными. Тогда становится реальной успешная работа над общим проектом разных коллективов, разделенных во времени и пространстве и использующих разные CAE/CAD/CAM-системы. Одна и та же проектная документация может быть использована многократно в разных

проектах, а одна и та же технологическая документация - в разных производственных условиях, что существенно сократит и удешевит общий цикл проектирования и производства. Упрощается эксплуатация систем.

Эти цели поставлены при разработке стандартов STEP. К их разработке под эгидой ISO привлечен ряд ведущих специалистов фирм в разных отраслях промышленности.

Основу STEP составляет язык Express. Это язык унифицированного представления данных и обмена данными в компьютерных средах. Язык инвариантен к приложениям. Хотя он разрабатывался с ориентацией прежде всего на описание жизненных циклов промышленной продукции, области его применения значительно шире.

В STEP используются также следующие основные понятия:

AAM-Application Activity Model; это функциональная модель IDEF0 для определенного приложения;

ARM-Application Requirements Model; это модель данных, представленная обычными средствами приложения;

AIM-Application Interpreted Model; это ARM модель, переведенная в STEP представление;

AP-Application Protocol; это STEP стандарт, отражающий специфику конкретного приложения;

SDAI-Standard Data Access Interface; программный интерфейс к источникам данных (репозиториям) прикладных систем (в том числе к библиотекам моделей CAD/CAM систем) с переводом моделей в STEP файлы, используется в STEP средах для организации обменов между приложениями через общую базу данных STEP.

STEP - это совокупность стандартов и состоит из ряда томов. Тома имеют свои номера *N* и обозначаются как "часть *N*" или ISO 10303-N. Приведем краткую характеристику следующих основных групп томов:

- том ISO 10303-1 - вводный стандарт, выполняющий роль аннотации всей совокупности томов. В этом стандарте вводится ряд терминов, используемых в других стандартах, например, таких как продукт (product), приложение (application), проектные данные (product data), модель (model), модели AAM, AИ, ARM, прикладной протокол (AP), интегрированный ресурс (integrated resource), элемент функциональности (unit off unctinality-UoF).

- части 11 - 14 - методы описания (Description methods),

- части 21 - 29 - методы реализации (Implementation methods),

- части 41 - 50 - интегрированные основные ресурсы (Integrated generic resources),

- части 101 - 108 - интегрированные прикладные ресурсы (Integrated application resources),
- части 201 - 236 - прикладные протоколы (Application protocols),
- части 501 - 520 - прикладные компоненты (Application interpreted constructs).

Списки из бранных томов под номерами 31 - 35 - «Основы тестирования продукции» (Conformance testing methodology and framework) и 301 - 332 - «Абстрактные тестовые наборы» (Abstract test suites) приведены в приложении.

Методы описания. Первая группа документов - тома, с номерами в диапазоне с 11 до 19 отведены для описания диалектов языка Express.

Express language reference manual. Основное руководство по языку Express. Содержит также описания расширения *Express-C* базового языка и графического варианта языка *Express-G*. Базовый язык приспособлен для описания и передачи статических свойств объектов приложений, т.е. параметров структур и ограничений. Поэтому *Express-C* включает средства описания динамических свойств объектов (добавлено описание событий и транзакций). Для наглядности представления языковых конструкций в *Express* предусмотрены графические средства изображения моделей, в качестве которых может использоваться специальное дополнение *Express-G* (графический *Express*). *Express-G* язык диаграмм, напоминающий язык описания информационных моделей в методике IDEF1X.

Express-I Language Reference Manual. Express-I расширение языка, предназначенное для описания отдельных экземпляров данных.

Разрабатываются дополнения, относящиеся к следующим диалектам языка:

- *Express-M: Mapping definition language;* язык для описания соответствий между сущностями и атрибутами некоторых моделей, представленных в виде схем на языке Express. Например, этими схемами могут быть два разных прикладных протокола, имеющих частично общие данные, или две схемы одного приложения, но созданные разными лицами (при отсутствии соответствующего AP). Одна схема есть схема-источник, другая - целевая схема. Целевых схем может быть несколько при одной схеме-источнике. Предложения Express-M транслируются на язык C, результирующая программа представляет собой совокупность обращений к функциям базы данных SDAI в STEP-среде. Другими словами, транслятор относится к системе SDAI (см. протокол ISO 10303-22), а Express-M можно рассматривать, как язык 4GL для обращений к функциям базы данных SDAI.
- *Express-X:* промежуточный язык, аналогичный Express-M и

используемый для описания соответствий между типами данных в заданной исходной Express-схеме и создаваемыми новыми ее вариантами (views); в качестве views могут использоваться форматы с описанием того же множества сущностей, что и в Express-схеме, например, формат IGES (описанию языка Express-X посвящен будущий стандарт ISO 10303-14).

- *Express-P: Process definition language*; язык диаграмм для представления процессов, методов и коммуникационных структур.

- *Express-V*: язык, предназначенный для получения ARM представлений из AIM моделей, другими словами, для описания процедур поиска экземпляров Express-объектов, отвечающих заданным условиям, и доступа к ним, например, при создании новых ARM. Эти создаваемые ARM-представления обычно не требуют столь всестороннего описания приложения, как в AIM, и потому могут быть существенно проще. В Express-V имеются: 1) схема-источник (AIM), обычно это прикладной протокол, например, AP203; 2) схема-цель, задающая сущности, которые должны быть в создаваемой частной модели; 3) схема отображения нужных сущностей из источника в цель. На языке Express-V описываются условия (в виде клозов WHEN) такого отображения. берется подходящая уже существующая AIM, как источник, все совпадающие объекты переводятся в ARM, далее описываются оригинальные объекты. Дополнительной возможностью реализаций Express-V является обратное отображение специфики создаваемой ARM в исходную AIM с целью развития прикладных протоколов.

Для возможности применения языка Express должны быть разработаны методы реализации (Implementation Methods), которые могут быть представлены средствами файлового взаимодействия, построением БД, интерфейсом с языками программирования.

Методы реализации. Вторую группу (тома с номерами 21...29) называют “Методы реализации”, она служит для реализации межпрограммного информационного обмена между прикладными системами в STEP-среде. Предусмотрены межпрограммные связи с помощью обменного файла и доступа к БД.

N=21: *Clear Text Encoding of the Exchange Structure (physical transfer file format)*; стандарт устанавливает правила оформления обменного файла. Обменный файл играет в STEP важную роль; если собственно на языке Express определены сущности, то именно в обменном файле задаются экземпляры этих сущностей. Прикладные программы для связи со STEP средой должны читать и генерировать обменные файлы.

N=22: *Standard Data Access Interface Specification*; содержит описание

SDAI-системы представления данных и доступа к данным конкретных прикладных систем (чаще всего это CAD/CAM системы). Данные, участвующие в межпрограммных связях, образуют SDAI-модели. В SDAI системе предусматривается компилятор кода, конвертирующего эти модели в SDAI базу данных, а также функции обращения к этой базе данных. Возможно непосредственное построение прикладных систем, работающих с SDAI базой данных.

Тома с номерами $N = 23...29$ устанавливают правила обращения к данным в SDAI базе данных на языках программирования C++, C, Java, на языке передачи данных в системах распределенных вычислений IDL, языке разметки XML.

Прикладные протоколы. Прикладным протоколом в STEP называют информационную модель определенного приложения, которая описывает с высокой степенью полноты множество сущностей, имеющих в приложении, вместе с их атрибутами, и выражена средствами языка Express. Предполагается, что эта модель содержит в себе описание данных любой конкретной задачи соответствующего приложения, т.е. практические информационные модели прикладных задач оказываются частными случаями прикладных протоколов.

Прикладные протоколы в стандарте ISO 10303 содержатся в томах, начиная с $N=201$. Прикладные протоколы принято обозначать аббревиатурой AP с указанием номера, например, AP203, AP214. Для связи прикладной системы со STEP используемые ею данные должны быть описаны в соответствующем AP.

Список большинства разработанных прикладных протоколов приведен в приложении. Число прикладных протоколов в STEP может расширяться за счет разработки новых протоколов.

В прикладных протоколах широко используются типовые фрагменты информационных моделей, встречающиеся более чем в одном приложении. Эти фрагменты называют интегрированными общими и прикладными ресурсами.

Типовые фрагменты информационных моделей. Четвертая группа стандартов STEP (тома с номерами 41...50) “Интегрированные общие ресурсы” описывает общие для приложений ресурсы, под которыми понимаются основные компоненты (building blocks) для моделей прикладных протоколов. Например, описания геометрических объектов в виде поверхностей Безье или 5-сплайнов могут использоваться во многих прикладных протоколах, поэтому эти описания вынесены в группу интегрированных ресурсов.

Томы с номерами 1 01 по 1 99 отведены для документов, относящихся к более специальным средствам, называемым интегрированными прикладными ресурсами (Integrated application resources).

Группа стандартов с номерами, начинающимися с $N = 501$, служит для описания данных о геометрических элементах и моделях некоторых конкретных типовых объектов и конструкций, часто используемых в ряде интегрированных ресурсов и прикладных протоколов.

Номера и названия томов, описывающих интегрированные и прикладные ресурсы и прикладные компоненты, приведены в приложении.

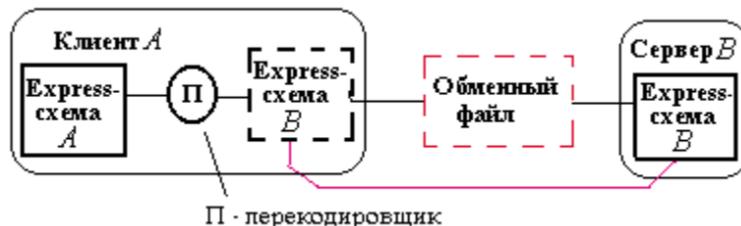


Рис. 2.3. Взаимодействие Express-приложений через обменный файл.

Организация в STEP информационных обменов. Возможны обмены через обменный файл и через БД SDAI.

Обменный файл используется при связи двух систем A и B , имеющих общие данные с различными обозначениями. Пользователь должен написать перекодировщик (например, на языке Express-X), с помощью которого отождествляются идентификаторы одних и тех же сущностей, имевших разные обозначения в схемах A и B .

Стандарты управления качеством промышленной продукции. Международные стандарты серии ISO 9000 разработаны для управления качеством продукции, их дополняют стандарты серии ISO 14000, отражающие экологические требования к производству и промышленной продукции. Хотя эти стандарты непосредственно не связаны со стандартами STEP, их цели - совершенствование промышленного производства, повышение его эффективности - совпадают.

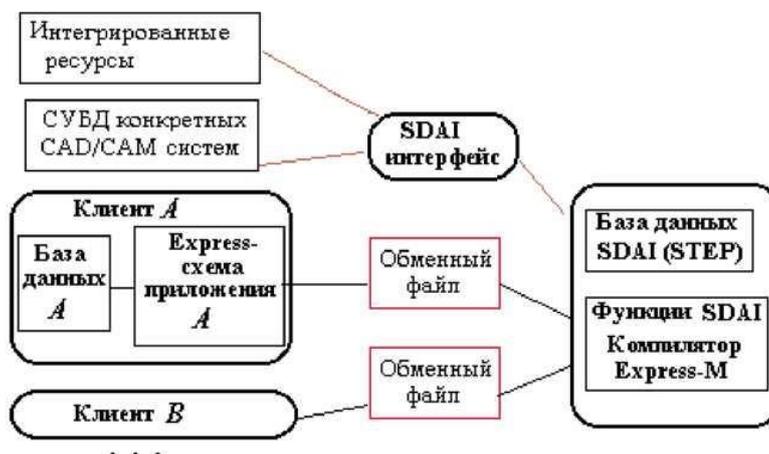


Рис. 2.4. Взаимодействие Express-приложений через базу данных SDAI

Очевидно, что управление качеством тесно связано с его контролем. Контроль качества традиционно основан на измерении показателей качества продукции на специальных технологических операциях контроля и выбраковкой негодных изделий. Однако есть и другой подход к управлению качеством, основанный на контроле качественных показателей не самих изделий, а проектных процедур и технологических процессов, используемых при создании этих изделий. Такой подход более эффективен и требует меньше затрат. Именно он и положен в основу стандартов ISO 9000.

Под *качеством* продукции в ISO 9000 подразумевается своевременное удовлетворение требований заказчика при приемлемой цене. Документальную систему с руководствами и описаниями процедур достижения качества называют *системой качества* (QS-Quality System).

Система качества обычно представляет собой совокупность трех слоев документов. Слои содержат: 1) описание политики управления для каждого системного элемента (организация, ответственные, контроль); 2) описание процедур управления качеством (что, где, кем и когда должно быть сделано); 3) тесты, планы, инструкции и т.п.

Сертификация предприятий по стандартам ISO 9001-9003 выполняется некоторой уполномоченной внешней организацией. Наличие сертификата качества - одно из важных условий для успеха коммерческой деятельности предприятий.

Стандарты ISO 14000 посвящены проблеме выполнения промышленными предприятиями экологических требований. По своей целевой направленности они близки стандартам управления качеством промышленной продукции ISO 9000, которые служат базой для ISO 14000. Стандарты ISO 14000 являются также системой управления влиянием на окружающую среду, они, как и ISO 9000, реализуются в процессе сертификации предприятий, задают процедуры управления и контроль документации, аудит, подразумевают соответствующее обучение и сбор статистики. Кроме требований заказчиков и покупателей, здесь воплощаются внутренние требования организации.

2.3.CASE-технологии

CASE - системы. В современных информационных технологиях важное место отводится инструментальным средствам и средам разработки АС, в частности, системам разработки и сопровождения их ПО. Эти технологии и среды образуют системы, называемые *CASE-системами*.

Используется двойное толкование аббревиатуры CASE, соответствующее двум направлениям использования CASE - систем. Первое

из них - Computer Aided System Engineering - подчеркивает направленность на поддержку концептуального проектирования сложных систем, преимущественно слабоструктурированных. Далее CASE-системы этого направления будем называть *системами CASE для концептуального проектирования*. Второе направление было рассмотрено выше, его название Computer Aided Software Engineering переводится, как автоматизированное проектирование программного обеспечения, соответствующие CASE-системы называют *инструментальными CASE* или *инструментальными средами* разработки ПО (одно из близких к этому названий - RAD - Rapid Application Development).

Среди систем CASE для концептуального проектирования различают системы функционального, информационного или поведенческого проектирования. Наиболее известной методикой *функционального проектирования* сложных систем является методика SADT (Structured Analysis and Design Technique), предложенная в 1973 г. Р.Россом и впоследствии ставшая основой международного стандарта IDEF0 (Integrated DEFinition 0).

Системы *информационного проектирования* реализуют методики инфологического проектирования БД. Широко используются язык и методика создания информационных моделей приложений, закрепленные в международном стандарте IDEF1X. Кроме того, развитые коммерческие СУБД, как правило, имеют в своем составе совокупность CASE-средств проектирования приложений.

Основные положения стандартов IDEF0 и IDEF1X использованы также при создании комплекса стандартов ISO 10303, лежащих в основе технологии STEP для представления в компьютерных средах информации, относящейся к проектированию и производству в промышленности.

Применение инструментальных CASE-систем ведет к сокращению затрат на разработку ПО за счет уменьшения числа итераций и числа ошибок, к улучшению качества продукта за счет лучшего взаимопонимания разработчика и заказчика, к облегчению сопровождения готового ПО.

Среди инструментальных CASE-систем различают интегрированные комплексы инструментальных средств для автоматизации всех этапов жизненного цикла ПО (такие системы называют Workbench) и специализированные инструментальные средства для выполнения отдельных функций (Tools). Средства CASE по своему функциональному назначению принадлежат к одной из следующих групп: 1) средства программирования; 2) средства управления программным проектом; 3) средства верификации (анализа) программ; 4) средства документирования.

К первой группе относятся компиляторы с алгоритмических языков; построители диаграмм потоков данных; планировщики для построения высокоуровневых спецификаций и планов ПО (возможно на основе баз знаний, реализованных в экспертных системах); интерпретаторы *языков спецификации* и *языков Четвертого поколения*; прототайпер для разработки внешних интерфейсов - экранов, форм выходных документов, сценариев диалога; генераторы программ определенных классов (например, конверторы заданных языков, драйверы устройств программного управления, постпроцессоры); кросс-средства; отладчики программ. При этом под *языками спецификации* понимают средства укрупненного описания разрабатываемых алгоритмов и программ, к языкам 4GL относят языки для компиляции программ из набора готовых модулей, реализующих типовые функции достаточно общих приложений (чаще всего это функции технико-экономических систем).

Управление программным проектом называют также *управлением конфигурациями* ПО (SCM-software configuration management). Этому понятию соответствуют корректное внесение изменений а программную систему при ее проектировании и сопровождении, контроль целостности проектных данных, управление версиями проекта, организация параллельной работы членов коллектива разработчиков. Использование средств управления конфигурациями позволяет создавать программные системы из сотен и тысяч модулей, значительно сокращать сроки разработки, успешно модернизировать уже поставленные заказчикам системы.

Основой средств управления программным проектом является репозиторий 2D проекта. Именно в репозитории отражена история развития программного проекта, содержатся все созданные версии (исходный программный код, исполняемые программы, библиотеки, сопроводительная документация и т.п.) с помощью репозитория осуществляется контроль и отслеживание вносимых изменений.

Средства верификации служат для оценки эффективности исполнения разрабатываемых программ и определения наличия в них ошибок и противоречий. Различают статические и динамические анализаторы. В статических анализаторах ПО исследуется на наличие неопределенных данных, бесконечных циклов, недопустимых передач управления и т.п. Динамический анализатор функционирует в процессе исполнения проверяемой программы; при этом исследуются трассы, измеряются частоты обращений к модулям и т.п. Используемый математический аппарат - сети Петри, теория массового обслуживания.

В последнюю из перечисленных групп входят документаторы для

оформления программной документации, например, отчетов по данным репозитория; различные редакторы для объединения, разделения, замены, поиска фрагментов программ и других операций редактирования.

Проектирование ПОс помощью CASE-систем включает в себя несколько этапов. Начальный этап

— предварительное изучение проблемы. Результат представляют в виде исходной диаграммы потоков данных и согласуют с заказчиком. На следующем этапе выполняют детализацию ограничений и функций программной системы, и полученную логическую модель вновь согласуют с заказчиком. Далее разрабатывают физическую модель, т. е. определяют модульную структуру программы, выполняют инфологическое проектирование 2D, детализируют граф-схемы программной системы и ее модулей.

Спецификации проектов программных систем. Важное значение в процессе разработки ПО имеют средства спецификации проектов ПО. Средства спецификации в значительной мере определяют суть методов CASE.

Способы и средства спецификации классифицируют по базовой методологии, используемой для декомпозиции ПО, как сложной системы, и по аспектам моделирования ПО.

Различают два подхода к декомпозиции ПО. Первый способ называют *функциональным* или *структурным*. Он основан на выделении функций и потоков данных. Второй способ - *объектный*, выражает идеи объектно-ориентированного проектирования и программирования. Проектирование ПО из готовых компонентов, рассмотренное в предыдущей главе, есть выражение объектного подхода.

Аспектами моделирования приложений являются функциональное, поведенческое и информационное описания.

Практически все способы *функциональных* спецификаций имеют следующие общие черты:

- модель имеет иерархическую структуру, представляемую в виде диаграмм нескольких уровней;
- элементарной частью диаграммы каждого уровня является конструкция вход-функция-выход;
- необходимая дополнительная информация содержится в файлах поясняющего текста.

В большинстве случаев функциональные диаграммы являются диаграммами потоков данных (DFD - Data Flow Diagram). В DFD блоки (прямоугольники) соответствуют функциям, дуги - входным и выходным

потокам данных. Поясняющий текст представлен в виде “словарей данных”, в которых указаны компонентный состав потоков данных, число повторений циклов и т.п. Для описания структуры информационных потоков можно использовать нотацию Бэкуса-Наура.

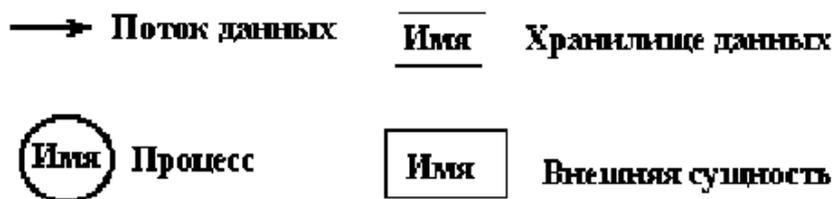


Рис.2.5. Изображения элементов в нотации Йордана.

Одна из нотаций для DFD предложена Е.Йорданом. В ней описывают процессы (функции), потоки данных, хранилища и внешние сущности, их условные обозначения показаны на рис. 2.5.

Разработка DFD начинается с построения диаграммы верхнего уровня, отражающей связи программной системы, представленной в виде единого процесса, с внешней средой. Декомпозиция процесса проводится до уровня, на котором фигурируют элементарные процессы, которые могут быть представлены односторонними описаниями алгоритмов (мини спецификациями) на терминальном языке программирования.

Для описания *информационных* моделей наибольшее распространение получили диаграммы сущность-связь (ERD-Entity-Relation Diagrams), в которых предусмотрены средства для описания сущностей, атрибутов и отношений. Спецификации хранилищ данных в CASE, как правило, даются с помощью диаграмм сущность-связь. Стандартной методикой построения таких диаграмм является IDEF1X.

Поведенческие модели описывают процессы обработки информации. В инструментальных CASE-системах их представляют в виде граф-схем, диаграмм перехода состояний, таблиц решений, псевдокодов (языков спецификаций), процедурных языков программирования, в том числе языков четвертого поколения.

В граф-схемах блоки, как и в DFD, используют для задания процессов обработки, но дуги имеют иной смысл - они описывают последовательность передач управления (вместе со специальными блоками управления).

В диаграммах перехода состояний узлы соответствуют состояниям моделируемой системы, дуги - переходам из состояния в состояние, атрибуты дуг - условиям перехода и инициируемым при их выполнении действиям. Очевидно, что, как и в других, конечно-автоматных моделях, кроме графической формы представления диаграмм перехода состояний,

можно использовать также табличные формы. Так, при изоморфном представлении с помощью таблиц перехода состояний каждому переходу соответствует строка таблицы, в которой указываются исходное состояние, условие перехода, инициируемое при этом действие и новое состояние после перехода.

Близкий по своему характеру способ описания процессов основан на таблицах (или деревьях) решений. Каждый столбец таблицы решений соответствует определенному сочетанию условий, при выполнении которых осуществляются действия, указанные в нижерасположенных клетках столбца.

Таблицы решений удобны при описании процессов с многократными ветвлениями. В этих случаях помогают также визуальные языки программирования, в которых для описания процессов используют графические элементы.

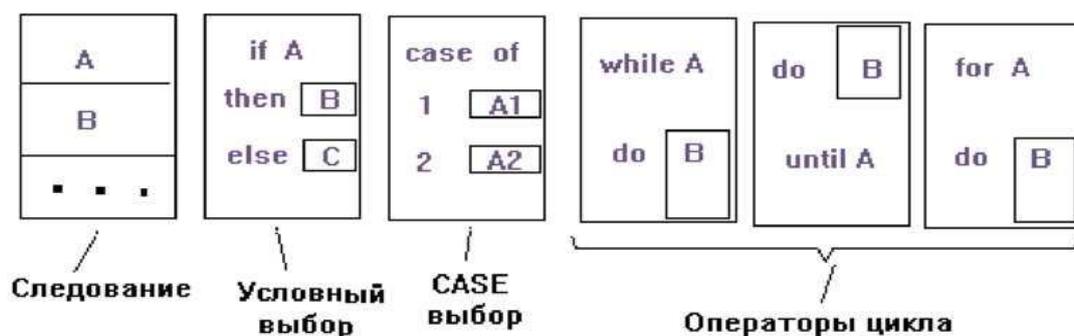


Рис. 2.6.Примеры описания операторов в визуальных языках программирования/

В псевдокодах алгоритмы записываются с помощью как средств некоторого языка программирования (преимущественно для управляющих операторов), так и естественного языка (для выражения содержания вычислительных блоков). Используются конструкции (операторы) следования, условные, цикла. Служебные слова из базового языка программирования или из DFD записываются заглавными буквами, фразы естественного языка - строчными.

Языки четвертого поколения предназначены для описания программ как совокупностей заранее разработанных программных модулей. Поэтому одна команда языка четвертого поколения может соответствовать значительному фрагменту программы на языке 3GL. Примерами языков 4GL могут служить Informix-4GL, JAM, NewEra, XAL.

Мини спецификации процессов могут быть выражены с помощью псевдокодов (языков спецификаций), визуальных языков проектирования

или языков программирования,

Объектный подход представлен компонентно-ориентированными технологиями разработки ПО. При объектном подходе ПО формируется из компонентов, объединяющих в себе алгоритмы и данные и взаимодействующих путем обмена сообщениями. Для поддержки объектного подхода разработан стандартный язык моделирования приложений UML.

ГЛАВА 3. КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ CAD/CAM/CAE СИСТЕМ.

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

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

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

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

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

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

3.1. История развития мирового рынка CAD/CAM/CAE систем

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

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

Развитие приложений для проектирования шаблонов печатных плат и слоев микросхем сделало возможным появление схем высокой степени интеграции (на базе которых и были созданы современные высокопроизводительные компьютерные системы). В течение 80-х гг. был осуществлен постепенный перевод CAD систем с мэйнфреймов на персональные компьютеры (ПК). В то время ПК работали быстрее, чем

многозадачные системы, и были дешевле. По данным Dataquest, к концу 80-х гг. стоимость CAD-лицензии снизилась, примерно, до \$ 20000.

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

- часть производителей сориентировалась на архитектуру IBM PC на базе микропроцессоров Intel x86;
- другие производители предпочли ориентацию на архитектуру Motorola (ПК ее производства работали под управлением ОС Unix от AT&T, ОС Macintosh от Apple и Domain OS от Apollo).

Производительность CAD-систем на ПК в то время была ограничена 16-разрядной адресацией микропроцессоров Intel и MS DOS. Вследствие этого, пользователи, создающие сложные твердотельные модели и конструкции, предпочитали использовать графические рабочие станции под ОС Unix с 32-разрядной адресацией и виртуальной памятью, позволяющей запускать ресурсоемкие приложения. К середине 80-х гг. возможности архитектуры Motorola были полностью исчерпаны. На основе передовой концепции архитектуры микропроцессоров с усеченным набором команд (Reduced Instruction Set Computing - RISC) были разработаны новые чипы для рабочих станций под ОС Unix (например, SunSPARC). Архитектура RISC позволила существенно повысить производительность CAD систем. С середины 90-х гг. развитие микротехнологий позволило компании Intel удешевить производство своих транзисторов, повысив их производительность.

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

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

3.2. Общее классификация CAD, CAM, CAE систем.

Определение CAD, CAM и CAE. Автоматизированное проектирование (computer-aided design - CAD) представляет собой технологию, состоящую в использовании компьютерных систем для облегчения создания, изменения, анализа и оптимизации проектов. Таким образом, любая программа, работающая с компьютерной графикой, так же как и любое приложение, используемое в инженерных расчетах, относится к системам автоматизированного проектирования. Другими словами, множество средств CAD простирается от геометрических программ для работы с формами до специализированных приложений для анализа и оптимизации. Между этими крайностями уместятся программы для анализа допусков, расчета масс инерционных свойств, моделирования методом конечных элементов и визуализации результатов анализа. Самая основная функция CAD - определение геометрии конструкции (детали механизма, архитектурные элементы, электронные схемы, планы зданий и т.п.), поскольку геометрия определяет все последующие этапы жизненного цикла продукта. Для этой цели обычно используются системы разработки рабочих чертежей и геометрического моделирования. Вот почему эти системы обычно и считаются системами автоматизированного проектирования. Более того, геометрия, определенная в этих системах, может использоваться в качестве основы для дальнейших операций в системах CAE и CAM. Это одно из наиболее значительных преимуществ CAD, позволяющее экономить время и сокращать количество ошибок, связанных с необходимостью определять геометрию конструкции с нуля каждый раз, когда она требуется в расчетах. Можно, следовательно, утверждать, что системы автоматизированной разработки рабочих чертежей и системы геометрического моделирования являются наиболее важными компонентами автоматизированного проектирования.

Автоматизированное производство (computer aided manufacturing - CAM) - это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для планирования, управления и контроля операций производства через прямой или косвенный интерфейс с производственными ресурсами предприятия. Одним из наиболее зрелых подходов к автоматизации производства является числовое программное управление (ЧПУ, numerical control - NC). ЧПУ заключается в использовании запрограммированных команд для управления станком, который может шлифовать, резать, фрезеровать, штамповать, изгибать и иными способами превращать заготовки в готовые детали. В наше время компьютеры способны генерировать большие программы для станков с ЧПУ на основании

геометрических параметров изделий из базы данных CAD и дополнительных сведений, предоставляемых оператором. Исследования в этой области концентрируются на сокращении необходимости вмешательства оператора.

Еще одна важная функция систем автоматизированного производства - программирование роботов, которые могут работать на гибких автоматизированных участках, выбирая и устанавливая инструменты и обрабатываемые детали на станках с ЧПУ. Роботы могут также выполнять свои собственные задачи, например, заниматься сваркой, сборкой и переносом оборудования и деталей по цеху.

Планирование процессов также постепенно автоматизируется. План процессов может определять последовательность операций по изготовлению устройства от начала и до конца на всем необходимом оборудовании. Хотя полностью автоматизированное планирование процессов, как уже отмечалось, практически невозможно, план обработки конкретной детали вполне может быть сформирован автоматически, если уже имеются планы обработки аналогичных деталей. Для этого была разработана технология группировки, позволяющая объединять схожие детали в семейства. Детали считаются подобными, если они имеют общие производственные особенности (гнезда, пазы, фаски, отверстия и т. д.). Для автоматического обнаружения схожести деталей необходимо, чтобы база данных CAD содержала сведения о таких особенностях. Эта задача осуществляется при помощи объектно-ориентированного моделирования или распознавания элементов.

Вдобавок, компьютер может использоваться для того, чтобы выявлять необходимость заказа исходных материалов и покупных деталей, а также определять их количество исходя из графика производства. Называется такая деятельность планированием технических требований к материалу (material requirements planning -MRP). Компьютер может также использоваться для контроля состояния станков в цехе и отправки им соответствующих заданий.

Автоматизированное конструирование (computer-aided engineering - CAE) - это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для анализа геометрии CAD, моделирования и изучения поведения продукта для усовершенствования и оптимизации его конструкции. Средства CAE могут осуществлять множество различных вариантов анализа. Программы для кинематических расчетов, например, способны определять траектории движения и скорости звеньев в механизмах. Программы динамического анализа с большими смещениями могут использоваться для определения нагрузок и смещений в сложных составных устройствах типа автомобилей.

Программы верификации и анализа логики и синхронизации имитируют работу сложных электронных цепей.

Значения автоматизированного проектирования. По всей видимости, из всех методов компьютерного анализа наиболее широко в конструировании используется метод конечных элементов (*finite-element method - FEM*). С его помощью рассчитываются напряжения, деформации, теплообмен, распределение магнитного поля, потоки жидкостей и другие задачи с непрерывными средами, решать которые каким-либо иным методом оказывается просто непрактично. В методе конечных элементов аналитическая модель структуры представляет собой соединение элементов, благодаря чему она разбивается на отдельные части, которые уже могут обрабатываться компьютером.

Таким образом, технологии CAD, CAM и CAE заключаются в автоматизации и повышении эффективности конкретных стадий жизненного цикла продукта. Развиваясь независимо, эти системы еще не до конца реализовали потенциал интеграции проектирования и производства. Для решения этой проблемы была предложена новая технология, получившая название компьютеризованного интегрированного производства (*computer integrated manufacturing - CIM*). CIM пытается соединить «островки автоматизации» вместе и превратить их в бесперебойно и эффективно работающую систему. CIM подразумевает использование компьютерной базы данных для более эффективного управления всем предприятием, в частности бухгалтерией, планированием, доставкой и другими задачами, а не только проектированием и производством, которые охватывались системами CAD, CAM и CAE. CIM часто называют философией бизнеса, а не компьютерной системой. В этом учебнике технологии CIM рассматриваться не будут.

Как отмечалось ранее, для использования метода конечных элементов нужна абстрактная модель подходящего уровня, а не сама конструкция. Абстрактная модель отличается от конструкции тем, что она формируется путем исключения несущественных деталей и редуцирования размерностей. Например, трехмерный объект небольшой толщины может быть представлен в виде двумерной оболочки. Модель создается либо в интерактивном режиме, либо автоматически. Готовая абстрактная модель разбивается на конечные элементы, образующие аналитическую модель. Программные средства, позволяющие конструировать абстрактную модель и разбивать ее на конечные элементы, называются препроцессорами (*preprocessors*). Проанализировав каждый элемент, компьютер собирает результаты воедино и представляет их в визуальном формате. Например, области с высоким

напряжением могут быть выделены красным цветом. Программные средства, обеспечивающие визуализацию, называются постпроцессорами (postprocessors).

Существует множество программных средств для оптимизации конструкций. Хотя средства оптимизации могут быть отнесены к классу CAE, обычно их рассматривают отдельно. Ведутся исследования возможности автоматического определения формы конструкции путем объединения оптимизации и анализа. В этих подходах исходная форма конструкции предполагается простой, как, например, у прямоугольного двумерного объекта, состоящего из небольших элементов различной плотности. Затем выполняется процедура оптимизации, позволяющая определить конкретные значения плотности, позволяющие достичь определенной цели с учетом ограничений на напряжения. Целью часто является минимизация веса. После определения оптимальных значений плотности рассчитывается оптимальная форма объекта. Она получается отбрасыванием элементов с низкими значениями плотности.

Цель и задачи автоматизированного проектирования.

Замечательное достоинство методов анализа и оптимизации конструкций заключается в том, что они позволяют конструктору увидеть поведение конечного продукта и выявить возможные ошибки до создания и тестирования реальных прототипов, избежав определенных затрат. Поскольку стоимость конструирования на последних стадиях разработки и производства продукта экспоненциально возрастает, ранняя оптимизация и усовершенствование (возможные только благодаря аналитическим средствам CAE) окупаются значительным снижением сроков и стоимости разработки.

Приведенный ниже сценарий демонстрирует использование систем CAD/CAM/ CAE в рамках всего жизненного цикла продукта для достижения упоминавшийся цели: повышения качества (Q), снижения стоимости (C) и ускорения отгрузки (D). Этот сценарий может показаться несколько упрощенным на фоне современных передовых компьютерных технологий, однако он иллюстрирует на правление развития техники. Рассмотрим фазы разработки и производства шкафа для аудиосистемы. Жизненный цикл этого продукта будет похожим на жизненный цикл механической системы или здания, а значит, наш сценарий будет применим и к таким продуктам.

Предположим, что в технических требованиях для разработчика указано, что шкаф должен иметь четыре полки: одну для проигрывателя компакт-дисков, одну для проигрывателя аудиокассет, одну для радиоприемника и одну для хранения компакт-дисков. Вероятно, разработчик сделает множество набросков конструкции, прежде чем придет

к оптимальному варианту. На данном этапе он может пользоваться автоматизированной системой разработки рабочих чертежей (если задача решается в двух измерениях) или системой геометрического моделирования (в случае трех измерений). Концептуальный проект может быть отправлен в отдел маркетинга по электронной почте для получения отзыва. Взаимодействие разработчика с отделом маркетинга может происходить и в реальном времени через объединенные в сеть компьютеры. При наличии подходящего оборудования подобное взаимодействие может быть удобным и продуктивным. Информация о готовом концептуальном проекте сохраняется в базе данных. Туда попадают сведения о конфигурации мебели (в нашем случае вертикальное хранение компонентов аудиосистемы друг над другом), количестве полок, распределении полок по компонентам и тому подобные данные.

Следующий шаг - определение размеров шкафа. Его габариты должны быть выбраны таким образом, чтобы на каждую полку можно было поставить одну из множества имеющихся на рынке моделей аудиотехники соответствующего класса. Значит, нужно получить сведения об их размерах. Эти сведения можно взять в каталоге или в базе данных производителей или поставщиков. Доступ к базе данных осуществляется аналогично доступу к книгам и их содержимому при подключении к электронной библиотеке. Разработчик может даже скопировать сведения в свою собственную базу данных, если он планирует часто пользоваться ими. Накопление сведений о проекте подобно накоплению форм и файлов при работе с текстовыми процессорами.

Затем разработчик должен выбрать материал для шкафа. Он может взять натуральный дуб, сосну, ДСП, сталь или что-нибудь еще. В нашем случае выбор осуществляется интуитивно или исходя из имеющегося у разработчика опыта. Однако в случае продуктов, рассчитанных на работу в жестких условиях, в частности механических устройств, разработчик обязательно учитывает свойства материалов. На этом этапе также полезна база данных, потому что в ней могут быть сохранены свойства множества материалов. Можно воспользоваться даже экспертной системой, которая выберет материал по свойствам, хранящимся в базе данных. Информация о выбранном материале также помещается в базу.

Следующий шаг - определение толщины полок, дверец и боковых стенок. В простейшем случае, который мы рассматриваем, толщина может определяться главным образом эстетическими соображениями. Однако она должна быть по крайней мере достаточной для того, чтобы избежать прогиба под воздействием установленной в шкаф техники. В механических

устройствах высокой точности и структурах, рассчитанных на большие нагрузки, такие параметры, как толщина, должны определяться точным расчетом, чтобы избежать деформации. Для расчета деформации структур широко используется метод конечных элементов. Как уже было объяснено, метод конечных элементов применяется к аналитической модели конструкции. В нашем случае аналитическая модель состоит из каркасных сеток, на которые разбивается шкаф, рассматриваемый в приближении листов. Переход к приближению листов может быть выполнен автоматически при помощи алгоритма преобразования к средним осям (medial axis transformation - MAT). Элементы оболочки приближения листов также могут генерироваться автоматически. Параметры нагрузки, которые в нашем случае есть просто веса соответствующих устройств, считываются из базы данных точно так же, как и сведения о размерах. Определяя зависимость прогиба полок от их толщины, разработчик может выбрать подходящее значение этого параметра и сохранить его в базе данных. Этот процесс может быть автоматизирован путем интеграции метода конечных элементов с процедурой оптимизации. Аналогичным образом можно определить толщину боковых стенок и дверец, однако сделать это можно и просто из эстетических соображений.

Затем разработчик выбирает метод сборки полок и боковых стенок. В идеале метод также может быть определен из расчета прочности структуры в целом или при помощи экспертной системы, имеющей сведения о методах сборки. После завершения этапов концептуализации проекта, его анализа и оптимизации разработчик переходит к работе над проектной документацией, описывающей шкаф с точностью до мельчайших подробностей. Чертежи отдельных деталей (полки, дверец и боковых стенок) изготавливаются в системе разработки рабочих чертежей. На этом этапе разработчик может добавить некоторые эстетические детали, например декоративные элементы на дверцах и боковых стенках. Детальные чертежи помещаются в базу данных для использования в процессе производства.

Изготовление шкафа осуществляется в следующем порядке. Форма каждой детали наносится на необработанный материал (в нашем случае дерево) и вырезается пилой. Количество отходов можно снизить, располагая детали на кусках дерева оптимально. Разработчик может испытывать разные варианты размещения на экране компьютера до тех пор, пока не будет найдена конфигурация с минимальным количеством отходов. Компьютерная программа может помочь в этой работе, рассчитывая количество отходов для каждой конфигурации. Программа более высокого уровня может самостоятельно определить наиболее экономичное размещение деталей на

заготовке. В любом случае конечная конфигурация сохраняется в компьютере и используется для расчета траектории движения пилы станка с числовым программным управлением. Более того, программные средства позволяют разработать зажимы и крепления для процедуры выпиливания, а также запрограммировать системы передачи материала. Эти системы могут быть как простыми конвейерами, так и сложными роботами, передающими необработанный материал на распилку и забирающими готовые детали.

Подготовленные детали должны быть собраны вместе. Процесс сборки также может выполняться роботами, которые программируются автоматически на основании описания конечного продукта и его деталей, хранящегося в базе данных. Одновременно проектируются зажимы и крепления для автоматизированной сборки. Наконец, робот может быть запрограммирован на покраску шкафа после сборки. В настоящее время зажимы и крепления для сборки проектируются или выбираются планировщиком процессов, а программирование роботов осуществляется в интерактивном режиме путем перемещения рабочего органа робота вручную.

3.3. Интеграция CAD, CAM, CAE.

Сейчас предприятия сталкиваются с рядом проблем, которые являются достаточно типичными. Во-первых, это жесткая конкуренция в борьбе за заказы, как внутренние (от других подразделений собственного предприятия), так и внешние (от сторонних заказчиков). Во-вторых, постоянное увеличение сложности изделий и, как следствие, технологической оснастки. В-третьих, сложность принятия объективных решений относительно сроков и стоимости выполнения заказов, что вызвано недостатком данных о реальных возможностях предприятия и опыте специалистов. Такое положение вещей приводит либо к завышению сроков и стоимостей (что, естественно, отталкивает потенциальных заказчиков), либо к их занижению (что вызывает убытки).

Анализ западного рынка сложной формообразующей оснастки показывает, что около 70% заказчиков требуют сокращения сроков и стоимости выполнения заказов. Кроме того, отечественным предприятиям, желающим выдерживать конкуренцию, следует знать, что 54% оснастки, время на выпуск которой составляет значительную составную часть общего времени выпуска изделий, сдается заказчику в сроки, не превышающие десяти недель. У вы, в нашей стране пока такие темпы в большинстве случаев недостижимы.

Таким образом, основными требованиями заказчиков новых изделий и сложной оснастки в мире являются максимальное сокращение сроков

выполнения заказов и снижение их стоимости при обеспечении необходимого качества. Приоритет именно фактора времени, а не стоимости обусловлен целым рядом причин. Это и необходимость снижения сроков погашения кредитов, а следовательно, и их стоимости (большинство руководителей отечественных предприятий жалуется на недостаток оборотных средств), и стремление обогнать конкурентов при патентовании авторских прав, и тот известный за рубежом факт, что первый выпустивший новое изделие захватывает около 80% рынка, и т.д.

Сокращение сроков может быть достигнуто в результате развития предприятий по следующим направлениям:

- использование для проектирования и подготовки производства CAD/CAM/CAE-систем;
- применение в производстве оснастки современного высокопроизводительного оборудования и эффективных технологий;
- увеличение организационной гибкости за счет использования современных информационных и коммуникационных технологий для управления всей технической информацией.

При этом необходимо учитывать все современные тенденции развития технологий автоматизации, направленные на удовлетворение главных требований заказчиков, основными из которых являются:

- ориентация автоматизированных систем не на решение отдельных задач, а на процессы проектирования и подготовки производства в целом, что приводит к повышению уровня специализации рабочих мест и качества работ;
- развитие систем электронного взаимодействия с заказчиками, что улучшает кооперацию и позволяет быстро реагировать на изменяющиеся требования заказчиков и рынка;
- необходимость поддержки методологии CALS и соответствия стандартам ISO 9000, что обуславливает потребность в системах управления технической подготовкой производства.

Внедрение современных компьютерных систем вносит значительные изменения в состав и последовательность задач, решаемых при проектировании и подготовке производства. Управление процессами проектирования и подготовки производства осуществляется с использованием PDM-систем. Компания «Би Питрон» представляет широко известную в мире PDM/CPG-систему SmarTeam. Эта система обеспечивает создание единого информационного пространства предприятия с любой самой сложной организационной структурой и реализацию на практике концепции расширенного предприятия, которая предусматривает включение

в единую информационную среду поставщиков и заказчиков. Использование SmarTeam позволяет организовать информацию на всех этапах жизненного цикла изделия, электронный архив разрабатываемых проектов, автоматизировать документооборот, обеспечить доступ руководителям и специалистам к информации непосредственно рабочих мест, улучшить взаимодействие и взаимоконтроль при выполнении проектов, выполнять проектирование технологических процессов, расчеты трудовых и материальных нормативов, решать задачи планирования и управления на основе объективных данных и т.д. Основу системы составляет единая структура базы данных. Эта база данных, как и функциональность самой системы, определяет роль SmarTeam на предприятии с дискретными производственными процессами в качестве единого корпоративного решения (в отличие от систем, решающих лишь отдельные задачи, например проектирование технологических процессов и т.п.).

В настоящий момент интеграция CAD и PDM - систем имеет для предприятий поистине стратегическое значение. Принципиально важной особенностью последних версий CAD/CAM Cimatron E является встроенность на уровне ее ядра PDM/CPC SmarTeam. С одной стороны, это дает явные преимущества специалистам и обеспечивает организацию коллективной работы над проектами, а с другой стороны - позволяет предприятиям не просто использовать набор специализированных модулей, но и организовать на современном уровне существующие процессы проектирования и подготовки производства в целом.

Одной из ключевых задач, решаемых при проектировании изделия, является построение его геометрических моделей. При этом используются следующие технологии:

- проектирование изделия методами трехмерного моделирования или разработка геометрических моделей на основе документации заказчика;
- импорт данных заказчика, представленных в виде объемных геометрических моделей, из различных CAD-систем;
- разработка геометрических моделей на основе прототипа изделия с использованием координатно-измерительного оборудования.

Для проектирования сборочных единиц и деталей Cimatron E предлагает развитый набор средств моделирования и геометрического анализа. Основу системы составляет гибридное геометрическое ядро, которое обеспечивает построение моделей с использованием самых современных технологий параметрического моделирования, интегрирующего в единой проектной среде средства каркасного,

твердотельного и сложного поверхностного моделирования. Это обеспечивает построение геометрических форм любой сложности.

Для анализа геометрии изделий Cimatron E предлагает не только простые инструменты размерного анализа и динамического получения сечений моделей - большой эффект дают такие специальные средства, как быстрый расчет моментов инерции, объема и массы деталей, площадей и проецированных площадей поверхностей, линий и поверхностей разъема формообразующей оснастки, моментальная генерация формообразующих поверхностей оснастки с анимацией перемещения деталей и др.

Эффективную реализацию другой современной технологии получения моделей - построения моделей на основе данных обмера (обратное проектирование) - обеспечивает подсистема ReEnge.

При импорте объемных геометрических моделей большинство САД-систем для решения последующих задач требуют проведения проверки их корректности, а также корректировки и преобразования в твердотельное представление, что занимает огромное количество времени. Гибридное же ядро Cimatron E позволяет начать решать задачи подготовки производства сразу после получения исходных данных из любой системы, даже если модели имеют щели между поверхностями. Это - исключительно важное свойство данной системы. Если же на предприятии имеются менеджеры, отвечающие за прием заказов в виде трехмерных моделей и за определение стоимости и сроков их выполнения, то можно использовать специализированную систему предварительного проектирования и оценки заказа от компании Cimatron Quick Concept, которая обеспечивает организацию диалога с заказчиком в процессе анализа технологичности изделия через Internet в реальном режиме времени.

Следующим этапом работ в Cimatron является технологическая подготовка производства, включающая в себя проектирование технологической оснастки и инструмента, документации, управляющих программ. Данная деталь является эталоном для отслеживания инженерных изменений. Автоматическое выявление инженерных изменений в объемных геометрических моделях, поступающих от заказчика, осуществляется с помощью подсистемы QuickCompare, причем не имеет значения, в какой САД-системе построена эта модель. Далее изменения отслеживаются на всех этапах рабочего процесса. При приеме исходных данных (объемных моделей) в PDM-системе автоматически создается структура проекта, соответствующая начатому процессу, а впоследствии система сама ведет специалистов от этапа к этапу. Все проектируемые документы (модели оснастки, инструмента, текстовые и графические документы, управляющие

программы) хранятся в соответствующих разделах проекта, и доступ к ним осуществляется через PDM-систему.

Сначала на основе моделей изделия в соответствии с выбранным методом изготовления происходит отработка изделия на технологичность и разрабатываются модели формообразующих деталей оснастки. Максимально высокий уровень автоматизации решения этой задачи обеспечивает специализированная подсистема Quick Split. Эта работа производится параллельно с проектированием конструкции оснастки (формокомплекта) в подсистеме Mold Design (ее официальная версия выходит в ближайшее время). В указанной подсистеме используются все известные библиотеки стандартных изделий (Hasco, DME, EOC Normalien и др.), а при необходимости создаются собственные библиотеки. Таким образом, результатом работы системы Mold Design является формирование конструкторской документации для собственного производства и спецификаций на заказ стандартных изделий - в случае использования стандартных библиотек. При использовании прошивных электроэрозионных станков модели формообразующих деталей являются основой для проектирования электродов в специализированной подсистеме Quick Electrode. Чертежи электродов, карты наладки станка, операционные эскизы, документы на заказ заготовок производятся в Quick Electrode полностью автоматически, в соответствии с задаваемыми настройками.

В подсистемах черчения и программирования станков ЧПУ для всех создаваемых геометрических моделей осуществляется формирование чертежно-графической и производственной документации, управляющих программ для 2,5-5-координатной обработки с визуализацией обработки и проверкой расположения траектории инструмента относительно полей допусков поверхностей детали. В этой области достижения компании Cimatron, традиционно поддерживающей все новейшие возможности современного технологического оборудования, давно признаны не только за рубежом, но и в нашей стране. Разработка постпроцессоров для станков выполняется с использованием встроенной в Cimatron E системы IMSPost - наиболее развитой на сегодня в мире системы для разработки постпроцессоров к любым моделям оборудования с ЧПУ. Таким образом, рабочий процесс, начатый с получения мастер-детали, заканчивается выпуском комплектов конструкторской и технологической документации, которые также сохраняются в базе данных как целостный проект и могут использоваться в качестве аналогов при выполнении следующих заказов или при модификации данного изделия в процессе его жизненного цикла.

Компания Simatron разработала описанные методы и системы, основываясь на детальном анализе потребностей мирового рынка производителей сложной формообразующей оснастки. Поэтому использование предложенных решений позволит отечественным предприятиям сделать серьезный шаг на пути к созданию конкурентоспособного производства.

3.4. Система САД

Графические библиотеки. Термин программирование на компьютере (computer programming) раньше означал написание «сочинения» на языке компьютерных команд в соответствии с predetermined правилами грамматики. В ответ на вводимые числа выполняемое «сочинение» порождало ожидаемые числа и символы на терминале или в файле данных. В наши дни на входе и выходе «сочинений» все чаще находится графическая информация. Такое программирование называется графическим (graphics programming), а область его применения - компьютерной графикой (computer graphics).

Помимо основного программного обеспечения, необходимого для обычного программирования (операционная система, редактор и компилятор), графическое программирование требует наличия специальных графических программ. Графические программы делятся на два класса: драйверы устройств и графические библиотеки.

Драйвер устройства может рассматриваться как набор аппаратно-зависимых кодов, непосредственно управляющих процессором графического устройства таким образом, что электронный пучок оказывается направленным в нужное место. Драйверы обязательно являются аппаратно-зависимыми, то есть жестко привязанными к конкретным графическим процессорам. Примерно то же самое можно сказать об ассемблере, конкретный вид которого может выполняться только на процессорах одной и той же модели. То же происходит, если графическая программа использует драйвер устройства непосредственно. Такую графическую программу при переходе на другое графическое устройство придется переписывать с использованием новых команд драйвера. Более того, команды драйвера устройства весьма примитивны, поэтому такая программа была бы очень длинной, если бы она должна была решать какую-либо сложную задачу. К тому же программа эта получилась бы плохо читаемой. Ключевые слова: Моделирования, физическая модель, твердотельное моделирования, поверхностное моделирования, атрибут.

Программисты предпочитают писать программы на языках высокого уровня. Графическое программирование не могло стать исключением, особенно если представить все неудобства, связанные с использованием команд драйвера низкого уровня. Поэтому с графическими устройствами стали поставляться библиотеки, получившие название графических (graphics libraries). Графическая библиотека, как, например, и математическая, представляет собой набор подпрограмм, предназначенных для решения определенных задач. Конкретная подпрограмма может изображать на экране прямую, круг или иной объект. Графическая библиотека основывается на командах драйвера устройства. Каждая подпрограмма создается с использованием поддерживаемого набора команд драйвера. Например, подпрограмма, изображающая круг, может быть составлена из отдельных команд драйвера, рисующих на экране точки или короткие отрезки.

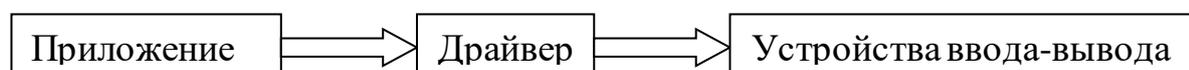


Рис. 3.1. Непосредственное использование драйвера устройств.



Рис. 3.2. Использование графической библиотеки.

Подпрограммы графической библиотеки могут использоваться точно так же, как подпрограммы математической. Нужная подпрограмма вызывается из основной программы аналогично тому, как вызываются функции синуса и косинуса, когда программисту требуется вычислить их значения. Одна из проблем использования подпрограмм графической библиотеки связана с тем, что их названия и способы вызова (входные и выходные аргументы) у каждой библиотеки свои. Это не создавало бы трудностей, если бы одна графическая библиотека могла работать со всеми существующими устройствами, что теоретически было бы возможным, если бы все существующие драйверы устройств поддерживали ее. Однако по некоторым причинам производители программного обеспечения не хотят или не могут создать графическую библиотеку, которая могла бы работать со всеми драйверами, а потому у каждой библиотеки имеется свой круг поддерживаемых драйверов. Следовательно, такая библиотека может работать лишь с ограниченным набором графических устройств, а графические программы, рассчитанные на работу со множеством устройств, приходится переписывать с использованием нескольких библиотек.

Системы координат. Для вывода изображения объекта на экран графического устройства необходимо решить две основные задачи:

- указать положение всех точек объекта в пространстве;
- определить положение их образов на мониторе.

Для задания положения точек в пространстве и на мониторе используются системы координат. Важно понимать, как связаны между собой различные системы координат. Особенно это важно для проектирования трехмерного объекта на плоский экран. Проекция на экране строится по тем же законам, что и проекция реального объекта на сетчатке человеческого глаза.

Первой среди систем координат мы рассмотрим систему координат устройства (device coordinate system), которая определяет положение точки на экране. Эта система состоит из горизонтальной оси и вертикальной оси. Обратите внимание, что начало отсчета может выбираться произвольно. Осей и достаточно для задания положения любой точки экрана, поэтому третья ось, перпендикулярная первым двум, не определяется. Положение любой точки задается двумя целыми числами u и v , равными числу пикселей между началом координат и точкой по осям u и v . Однако одна и та же точка может задаваться разными парами u и v в зависимости от положения начала координат, направления осей и масштаба. Эти параметры для разных графических устройств устанавливаются достаточно произвольно. Поэтому аппаратные координаты графической программе могут потребовать изменения при смене графического устройства.

Виртуальная система координат устройства (virtual device coordinate system) позволяет избежать описанной выше проблемы. Виртуальная система координат устройства фиксирует точку отсчета, направление и масштаб осей для всех рабочих станций. Слово «виртуальный» означает, что данная система отсчета существует только в воображении программиста. Обычно начало отсчета располагается в левом нижнем углу экрана, ось u откладывается вправо, а ось v -вверх. Все координаты могут изменяться в диапазоне от нуля до единицы. Точка, положение которой задается в виртуальной системе координат, на любом экране будет попадать в одно и то же место. Это дает программисту возможность единообразно определять формы, не заботясь о конкретных системах координат устройств. Графическая программа передает виртуальные координаты подпрограмм - `ie` драйвера устройства, которая преобразует их в координаты конкретного устройства.

Виртуальная и обычная системы координат устройства позволяют задавать положение точки на плоском экране. Займемся теперь системами

координат для работы с трехмерным пространством. Основных трехмерных систем координат всего три: внешняя система координат (world coordinate system), система координат модели (model coordinate system) и система координат наблюдателя (viewing coordinate system).

Внешняя, или мировая система координат (world coordinate system), - это опорная система, используемая для описания интересующего нас мира. Внешней она является по отношению к объектам этого мира. Например, такая система может использоваться для описания расположения и ориентации парт, стульев и доски, если интересующий нас мир представляет собой класс.

Следующим шагом является описание формы каждого объекта мира. Форма объекта определяется координатами всех или некоторых характеристических такого объекта по отношению к системе координат, связанной с ним, - системой координат модели (model coordinate system). Координаты точек объекта, определенные таким образом, не изменяются даже тогда, когда объект перемещается или вращается в пространстве. Они действительно зависят только от формы объекта. Система координат модели перемещается вместе с тем объектом, к которому она привязана. Поэтому форма каждого объекта определяется в его собственной системе координат модели. Расположение и ориентация любого объекта задаются относительным положением и ориентацией модельной системы координат данного объекта по отношению к внешней системе координат. Наличие внешней системы координат и модельных систем для всех объектов полностью определяет мир, то есть расположение и форму всех объектов данного мира. Другими словами, применение матриц преобразования позволяет получить координаты любой точки любого объекта во внешней системе.

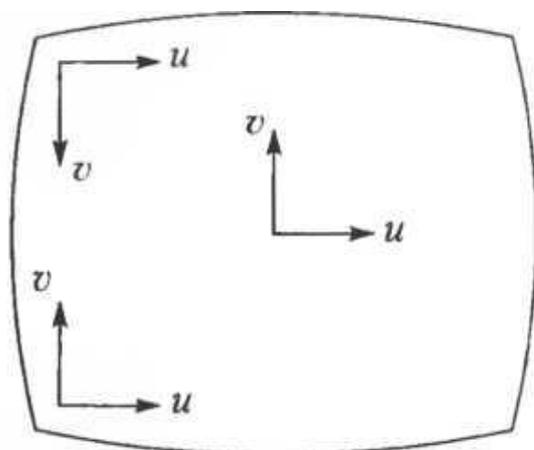


Рис. 3.3. Системы координат устройства

Визуализация. Изображения без невидимых линий и поверхностей в большинстве случаев передают форму объекта достаточно хорошо. Однако для некоторых приложений желательно иметь возможность строить более реалистичные изображения. Особенно важную роль реалистичность играет в «виртуальной реальности» - относительно новой технологии, позволяющей имитировать на компьютере реальные ситуации. Например, вы можете занести в компьютер сведения о внутреннем и внешнем виде проектируемого здания, а затем пройтись по нему и вокруг него, чтобы почувствовать, как оно будет выглядеть на самом деле. Это средство может оказаться очень полезным для принятия решения о вложении денег в постройку здания.

Для имитации реальной сцены нужно воспроизвести эффекты, создаваемые светом, падающим на поверхности объектов. Этот процесс называется визуализацией или тонированием (rendering). Вообще говоря, все, что мы видим, - это отражение света от поверхностей, а поэтому отраженному свету мы определяем форму, текстуру и цвет объекта. В усовершенствованных графических библиотеках обычно имеются некоторые средства визуализации. Для их применения достаточно задать фасетированную модель объекта, условия освещенности и свойства поверхностей (например, блестящие или тусклые). Однако для правильного использования технологий визуализации необходимо иметь представление об их основах. Даже задать правильные значения параметров функций визуализации без достаточно хорошего знания техники визуализации непросто. Поэтому в настоящем разделе мы коротко опишем две основные технологии визуализации: затушевывание (shading) и трассировка лучей (ray tracing). Подробное описание технологий визуализации можно найти в большинстве книг по компьютерной графике.

Затушевывание. Процедура затушевывания аналогична удалению невидимых поверхностей с той разницей, что пиксели одной поверхности окрашиваются разными цветами в соответствии с цветом и интенсивностью отраженного света в точке. Таким образом, основной задачей становится расчет цвета и интенсивности света, отраженного от какой-либо точки объекта. Начнем с расчета интенсивности.

Поверхность объекта может быть освещена светом, исходящим непосредственно от источников, то есть прямым светом (direct illumination), а также светом, отраженным от других поверхностей, дающим окружающее освещение (ambient illumination). Свет, отраженный данной точкой объекта, получается сложением отраженных лучей двух типов (рис. 3.4).

Отраженный от множества поверхностей сцены свет может считаться приходящим с бесчисленного множества направлений, поэтому отражение

окружающего освещения считается равномерно распределенным во всех направлениях. Поэтому интенсивность отражения R_a записывается по формуле:

$$R_a = K_d I_a$$

Здесь I_a -интенсивность окружающего освещения, а K_d -коэффициент отражения поверхности. У белых поверхностей коэффициент отражения близок к единице, а у черных -к нулю. Наблюдатель будет воспринимать одну и ту же интенсивность отраженного окружающего освещения вне зависимости от своего положения, поскольку это освещение образуется благодаря отражению от всех поверхностей и распределяется равномерно по всем направлениям.

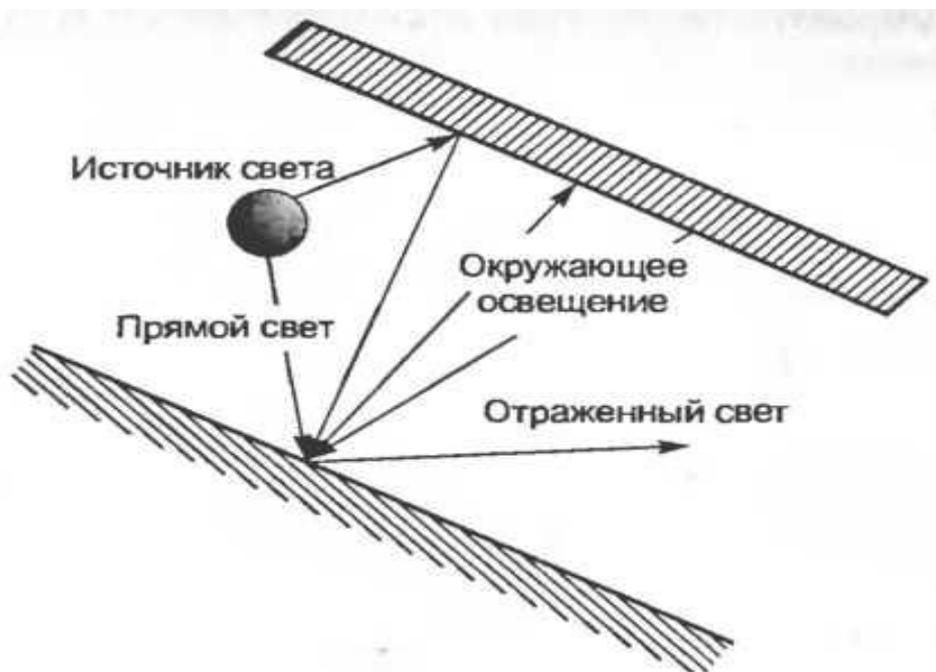


Рис. 3.4. Прямое и окружающее освещение

Для описания прямого освещения достаточно рассмотреть лишь точечные источники света, поскольку линейные и поверхностные источники могут быть рассмотрены как совокупность точечных. Отражение света от точечного источника рассматривается как комбинация двух видов отражения: диффузного и зеркального.

Диффузное отражение (diffuse reflection) состоит в том, что поверхность поглощает свет, а затем переизлучает его равномерно во всех направлениях. Интенсивность диффузного отражения (как и отражения окружающего освещения) не зависит от положения наблюдателя. Особенности структуры поверхности, такие как текстура и цвет, становятся видимыми именно благодаря диффузному отражению. Для грубых

поверхностей отражение является преимущественно диффузным, а не зеркальным.

Зеркальное отражение (specular reflection) - это прямое отражение света поверхностью. Данный тип отражения характерен для блестящих поверхностей, таких как зеркала. Блестящие поверхности отражают почти весь падающий свет и по этому обладают повышенной яркостью (рис. 3.5). Интенсивность зеркального отражения воспринимается по-разному в зависимости от положения наблюдателя относительно сцены.

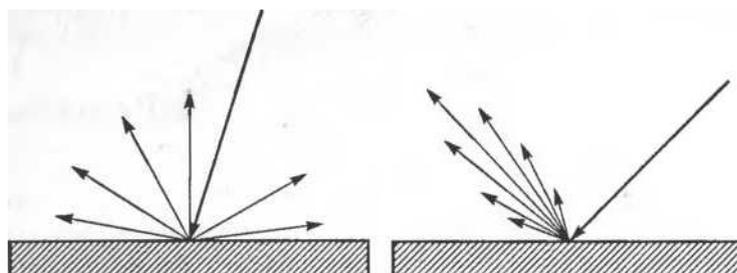


Рис. 3.5. Диффузное отражение. Зеркальное отражение

Опишем процедуру расчета интенсивностей диффузного и зеркального отражения. Когда мы сделаем это, интенсивность отражения света от точечного источника можно будет приближенно описать как сумму отражений указанных двух типов. Интенсивность диффузного отражения прямо пропорциональна косинусу угла падения. Углом падения в данной точке называется угол между вектором нормали к поверхности и вектором, направленным из точки к источнику света (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Определение угла падения

Это соотношение называется законом косинусов Ламберта. Его легко проверить, представив падающий пучок в виде конечного числа параллельных линий, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга. Обратите внимание, что количество лучей, падающих на поверхность, уменьшается с ее наклоном. Отсюда следует, что интенсивность отраженного света с наклоном поверхности также будет падать.

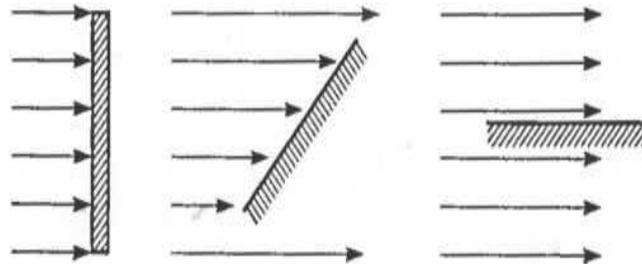


Рис. 3.7. Иллюстрация к закону Ламберта

Графический интерфейс пользователя. Как отмечалось ранее, важной особенностью существующих программ CAD/CAM/CAE является взаимодействие с пользователем посредством графического ввода и графического вывода. Другими словами, программное обеспечение должно иметь возможность открывать окна (области взаимодействия) для отображения меню или значков, а также сопоставлять пунктам меню и значкам какие-либо функции. Программное обеспечение, предоставляющее такие возможности, называется графическим интерфейсом пользователя (graphical user interface - GUI). Программист может построить самодельный графический интерфейс на базе конкретной графической библиотеки. Этот интерфейс будет обладать недостатком, связанным с невозможностью перенести его на рабочие станции, не поддерживающие использованную графическую библиотеку. Поэтому интерфейс придется переписывать заново для каждой новой графической рабочей станции.

Чтобы избежать этой проблемы, программисты строят графический интерфейс на базе системы X window, которая в настоящее время поддерживается большинством графических рабочих станций. (Системе X window посвящен следующий раздел этой главы.) Два типичных интерфейса пользователя, основанных на X window, называются Open Look и OSF/Motif. Open Look поддерживался корпорацией Sun Microsystems, а OSF/Motif - всеми прочими производителями, включая IBM, Hewlett-Packard, DEC и Tektronix.

Программист, пишущий приложение с использованием Open Look или OSF/Motif, может обращаться к функциям диспетчера окон для выполнения таких операций, как открытие окон, построение меню и выполнение задач, вызываемых пунктами меню.

Open Look и Motif хороши для разработки приложений по той причине, что они основаны на системе X window, достоинства которой будут рассмотрены в следующем разделе.

На персональных компьютерах, работающих под управлением Windows 98/NT, аналогичные возможности предоставляются набором базовых классов Microsoft (Microsoft Foundation Classes -MFC).

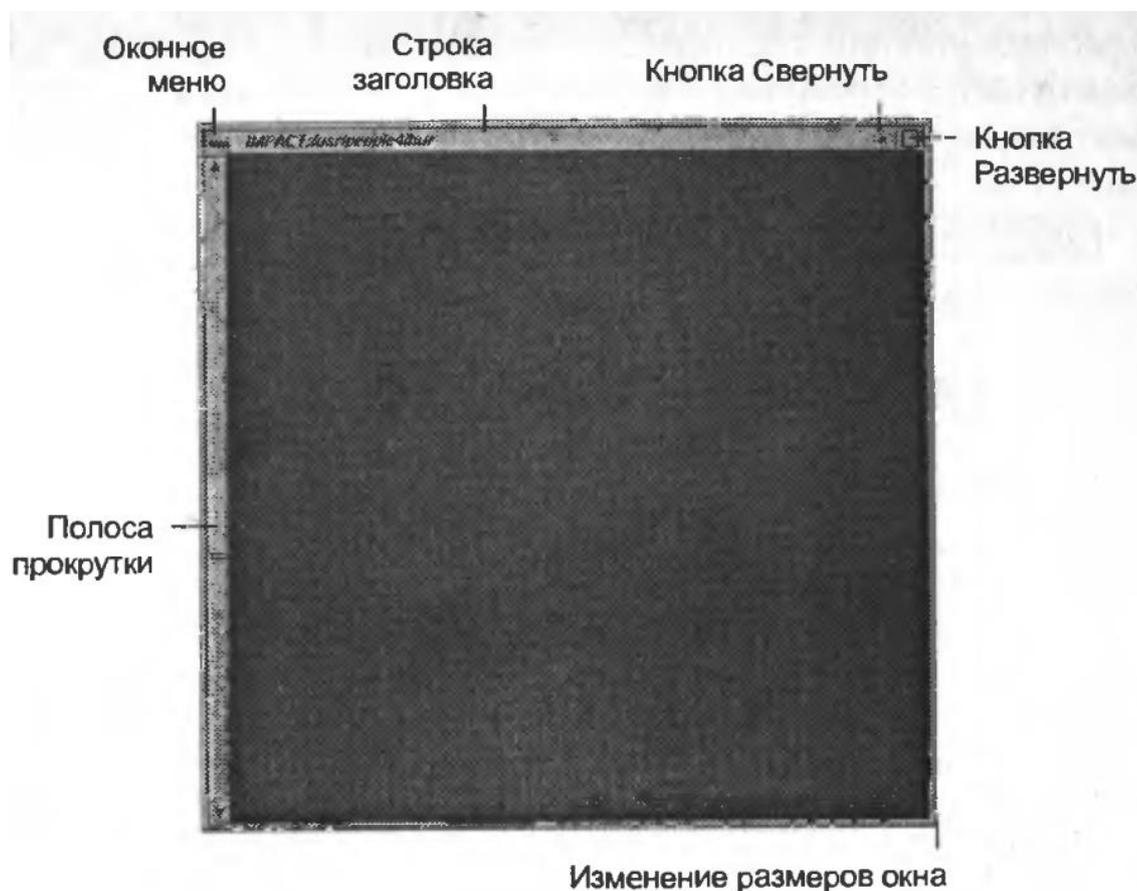


Рис. 3.8. Окно диспетчера Motif

Система автоматизированной разработки чертежей (computer aided drafting system) - это программный продукт, позволяющий разработчику в интерактивном режиме создавать и изменять машиностроительные, архитектурные, инженерные чертежи, электрические схемы и чертежи множества других разновидностей. Эта программа, кроме того, обновляет базу данных, сохраняя готовые чертежи и их изменения. Таким образом, работа с системой автоматизированной разработки чертежей аналогична использованию текстового процессора. Единственное отличие в том, что на выходе пользователь получает чертеж, а не текстовый документ. Как в текстовом процессоре можно очень быстро подготовить новый документ на базе существующего, так и в системе автоматизированной разработки чертежей можно получить новый чертеж, изменив имеющиеся. Преимущества текстового процессора или автоматизированной системы разработки чертежей трудно оценить при подготовке абсолютно нового

документа или чертежа. Но при изменении существующих документов и чертежей их преимущества становятся очевидными и неоценимыми.

Конкретные команды вызова функции в каждой системе могут быть свои, так что при необходимости вам следует обратиться к руководству пользователя соответствующей системы.

Настройка параметров чертежа. Работу с системой автоматизированной разработки чертежей следует начинать с установки параметров, таких как единицы измерения, размеры чертежа, параметры сетки и слоев. Для быстрого и точного построения чертежей необходимо, чтобы все эти параметры имели правильные значения. Чертеж можно построить без сетки и без слоев, но на это уйдет много времени, а изменить получившийся чертеж будет очень сложно.

Единицы измерения. Пользователь должен выбрать формат и точность единиц измерения расстояний и углов. Единицы измерения расстояний могут быть представлены в научном, десятичном, дробном, инженерном и архитектурном форматах. Единицы измерения углов - это градусы, градусы/минуты/секунды, градусы, радианы и геодезические единицы.

Размеры чертежа. Рисуя чертеж на бумаге, вы не можете выйти за границы листа. Точно так же и при работе с графическим устройством чертеж должен иметь определенные границы, поскольку этот чертеж когда-нибудь все равно будет напечатан на бумаге конечного размера. Значит, пользователь должен заранее установить размеры чертежа. Выполняющая эту операцию последовательность команд для AutoCAD приведена ниже.

Command: limits

Reset- Model Space Limits

ON/OFF/<Lower left corner><0.00.0.00>:10.10

Upper right corner<12.00.9.00>:300.200

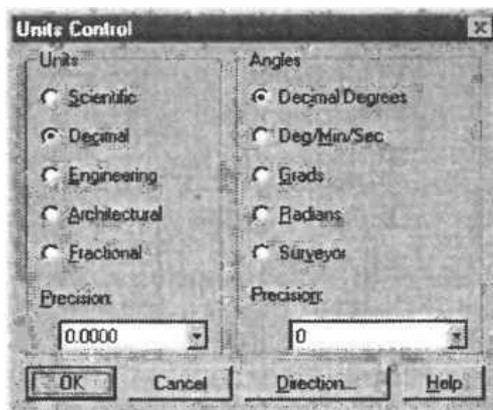


Рис. 3.9. Диалоговое окно установки единиц измерения в AutoCAD Release 14

При выборе размеров чертежа обычно учитывают следующие факторы:

- фактический размер чертежа;
- пространство для нанесения размеров, примечаний, списков материалов и других необходимых данных;
- расстояние между разными видами (чертеж не должен выглядеть загроможденным);
- пространство для рамки и заголовка, если таковые предусмотрены.

Перед тем как задавать размеры чертежа, рекомендуется построить его эскиз, чтобы грубо оценить необходимое пространство. Например, если размеры вида спереди для какого-то объекта равны 6×5 единиц, размеры вида сбоку - 4×5 единиц и размеры вида сверху - 6×4 единиц, ограничения должны быть установлены таким образом, чтобы вместить весь чертеж и все относящиеся к нему данные. Предположим, вы хотите, чтобы расстояние между видами спереди и сбоку составляло 4 единицы, а расстояние между видами спереди и сверху - 3 единицы. Расстояние до границ чертежа пусть составляет 4 единицы слева, 4 справа, сверху и 2 снизу. Указанные значения выбираются таким образом, чтобы готовый чертеж выглядел гармонично.

Установив для себя размеры видов и расстояния между ними, а также расстояния до границ чертежа и от границ до краев бумаги, вы можете вычислить размеры чертежа следующим образом

$$\text{размер по горизонтали} = 1 + 4 + 6 + 4 + 4 + 4 + 1 = 24;$$

$$\text{размер по вертикали} = 1 + 2 + 5 + 3 + 4 + 2 + 1 = 18.$$

Итак, размеры чертежа составляют 24×18 единиц. Обратите внимание, что мы положили расстояние между границами чертежа и границами бумаги равным одной единице.

Слой. Разбивать чертеж на множество слоев очень удобно, особенно если чертеж достаточно сложный. Распределив поэтажный план здания и схему трубопроводов по отдельным слоям, вы значительно упростите себе задачу. Другими словами, выполнять все операции с отдельным слоем значительно проще, чем с большим чертежом, содержащим все объекты. Однако вам нужно иметь возможность переключаться между режимами просмотра, чтобы получить представление об относительном расположении элементов из разных слоев (например, труб и стен здания). Разделение на слои сохраняет возможность накладывать их друг на друга, не усложняя при этом чертеж по крайней мере в том, что касается выполняемых графических операций. Слой, с которым вы работаете в данный момент, считается активным, тогда как все остальные слои считаются неактивными. Как и любой другой фон, графические элементы неактивных слоев нечувствительны к графическим операциям, таким как выбор или удаление.

Поэтому сложность чертежа остается той же самой, как если бы вы работали с одним-единственным активным слоем.

Базовые функции черчения.

Прямая линия. В системах автоматизированной разработки чертежей существует множество способов построения отрезков. Наиболее популярным из них является построение по двум конечным точкам. Положение точек может быть задано различными способами. В предыдущем разделе мы предложили два метода: ввод координат с клавиатуры и нажатие кнопки мыши в режиме локатора. Помимо этого вы можете указать конечную точку отрезка, выбрав одну из уже имеющихся на экране точек.

Отрезок можно построить и без явного указания обоих концов. Один из способов - попросить систему провести касательную линию к имеющейся кривой из указанной точки. В этом случае явно указывается только одна точка, а вторую точку система определяет самостоятельно. В качестве атрибутов линии могут быть указаны ее тип и толщина. Типы линий, поддерживаемые большинством систем автоматизированной разработки чертежей, показаны на рис. 3.9. Построение отрезка в AutoCAD Release14 осуществляется следующим образом:

Command: line From point: 1. 1 To point: 5. 2 To point: return.

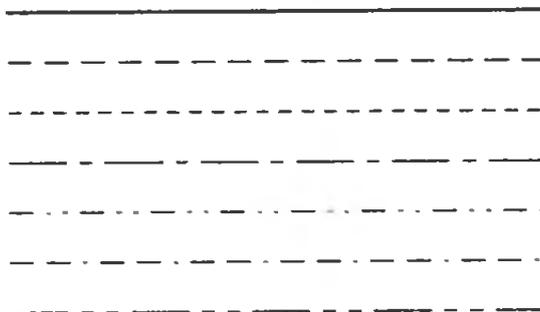


Рис. 3.10. Различные типы линий

Окружность и дуга окружности. Простейший метод задания окружности - указание ее центра и длины радиуса. Другой способ - задание трех точек на самой окружности. Большинство систем автоматизированной разработки чертежей позволяют создавать окружности и другими методами. Например, система может построить окружность, касательную к двум прямым или к другой окружности и прямой. В любом случае вам нужно выбрать соответствующие объекты. Дуга окружности - это частный случай окружности, она определяется заданием точек начала и конца (помимо параметров, задаваемых для обычной окружности).

Слайн. Сплаины используются для построения произвольных кривых подобно тому, как в черчении от руки это делается с помощью лекала.

Пользователь указывает точки на кривой, а система строит интерполяционную кривую, проходящую через эти точки. Получившаяся кривая обычно представляется уравнением третьего порядка. Иногда кривые могут строиться по задающим точкам, которые определяют кривую, но не обязаны лежать на ней.

Удаление. Функция удаления действует как старательная резинка в черчении на бумаге. Когда вы выбираете графические элементы, такие как точки, отрезки и кривые, они исчезают с экрана. Режим выбора был описан нами в главе 3.

Округление и снятие фасок. Скругление и закругление (filleting, rounding) состоят в построении дуги окружности между двумя пересекающимися отрезками таким образом, что построенная дуга оказывается касательной к обоим отрезкам. Скругление используется для вогнутых углов, а закругление - для выпуклых. Снятие фасок (chamfering) - примерно то же, что и скругление, но вместо дуги строится отрезок прямой (рис. 3.11, в). Скругление и снятие фасок осуществляются в следующем порядке.

Указывается радиус скругления или размер фаски. Выбираются два пересекающихся отрезка. Скругление или фаска будут построены около точки пересечения.

Ненужные части исходных отрезков удаляются после построения скругления или фаски. В некоторых системах удаление производится автоматически, а в других это приходится делать вручную.



Рис. 3.11. Скругление и снятие фасок

Штриховка. Штриховкой называется заполнение замкнутого многоугольника каким-либо шаблоном. Штриховка часто используется для обозначения сечений в машиностроительных чертежах и выделения разных материалов в архитектурных чертежах. Некоторые наиболее типичные

шаблоны, предоставляемые большинством систем автоматизированной разработки чертежей, показаны на рис.3.12.

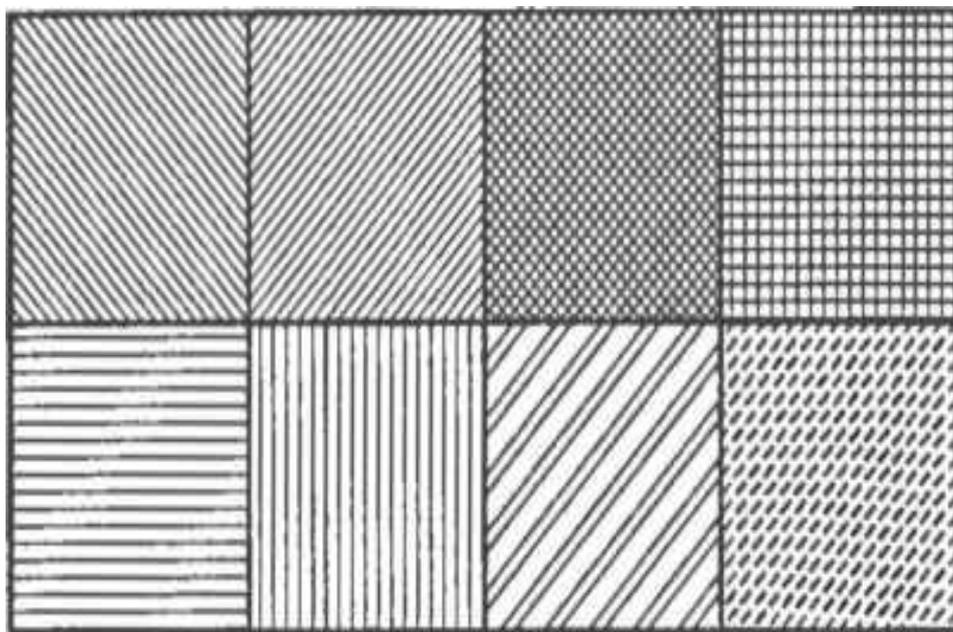


Рис. 3.12. Образцы штриховки

Процесс проектирования может рассматриваться как постепенная детализация формы по мере развития идей разработчика. Программное обеспечение автоматизированного проектирования - это просто одно из средств, облегчающих этот процесс. Типичные программы САД могут быть разделены на две группы. Системы автоматизированной разработки чертежей помогают проектировщику реализовать свои идеи в двумерном пространстве. Системы геометрического моделирования позволяют работать с формами в трехмерном пространстве.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий использование системы геометрического моделирования в процессе разработки. Представьте себе ребенка, который лепит что-то из пластилина. Малыш мнет пластилин, а иногда добавляет и отрезает кусочки, и постепенно приближается к конечному результату. Такую деятельность вполне можно назвать процессом проектирования, поскольку налицо детализация формы по мере развития идеи. Ребенок погружается в проектирование, не имея ни малейшего представления о технических чертежах, не умея пользоваться даже ручкой и бумагой. Если ребенок захочет передать результат другим, например для прототипирования и массового производства, ему достаточно отдать реальный результат своих трудов, из которого можно будет извлечь всю необходимую информацию. Такой естественный подход к разработке вызывает определенные вопросы. Действительно ли технические чертежи являются неотъемлемой частью процесса проектирования? Нормально ли

пользоваться системами автоматизированной разработки чертежей? Оправдать использование чертежей можно, сказав, что проектирование с использованием материалов, подобных пластилину, не позволяет получить сложные формы с точными размерами. Более того, в большинстве случаев очень сложно извлечь из реальных моделей необходимые сведения для точного их воспроизведения.

Системы геометрического моделирования были созданы для того, чтобы преодолеть проблемы, связанные с использованием физических моделей в процессе проектирования. Эти системы создают среду, подобную той, в которой создаются и изменяются физические модели. Другими словами, в системе геометрического моделирования разработчик изменяет форму модели, добавляет и удаляет ее части, детализируя форму визуальной модели таким же образом, как ребенок формирует фигурку из пластилина. Визуальная модель может выглядеть точно так же, как физическая, но она нематериальна. Однако трехмерная визуальная модель хранится в компьютере вместе со своим математическим описанием, благодаря чему устраняется главный недостаток физической модели - необходимость выполнения измерений для последующего прототипирования или серийного производства. Системы геометрического моделирования делятся на каркасные, поверхностные, твердотельные и немного образные (перечислены в порядке эволюционирования). В последующих разделах мы последовательно рассмотрим все эти категории.

В системах каркасного моделирования (wireframe modeling systems) форма представляется в виде набора характеризующих ее линий и конечных точек. Линии и точки используются для представления трехмерных объектов на экране, а изменение формы осуществляется путем изменения положения и размеров отрезков и точек. Другими словами, визуальная модель представляет собой каркасный чертеж формы, а соответствующее математическое описание представляет собой набор уравнений кривых, координат точек и сведений о связности кривых и точек. Сведения о связности описывают принадлежность точек к конкретным кривым, а также пересечение кривых друг с другом. Системы каркасного моделирования были популярны в ту пору, когда геометрическое моделирование только начало зарождаться. Их популярность объяснялась тем, что в системах каркасного моделирования создание форм выполнялось через последовательность простых действий, так что пользователям было достаточно легко создавать формы самостоятельно. Однако визуальная модель, состоящая из одних лишь линий, может быть неоднозначной. Более того, соответствующее математическое описание не содержит сведений о

внутренних и внешних поверхностях моделируемого объекта. Без этих сведений невозможно рассчитать массу объекта, определить траектории перемещения инструмента при обработке объекта или создать сетку для конечно элементного анализа, несмотря на то, что объект кажется трехмерным. Поскольку эти операции являются неотъемлемой частью процесса проектирования, системы каркасного моделирования были постепенно вытеснены системами поверхностного и твердотельного моделирования.

Системы каркасного моделирования

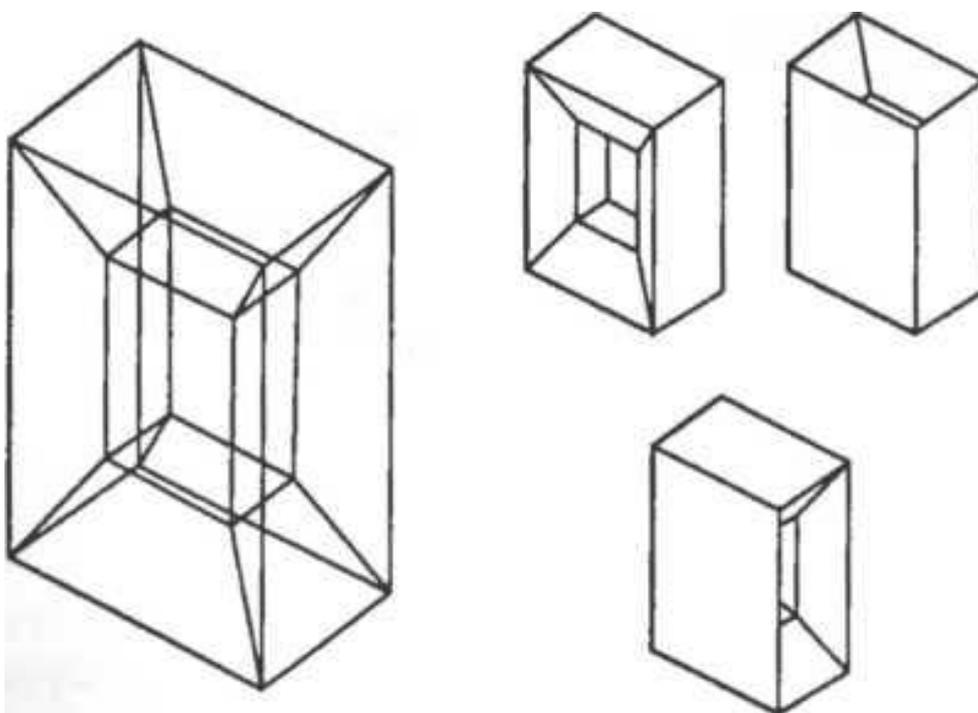


Рис. 3.13. Неоднозначные каркасные модели

Системы поверхностного моделирования. В системах поверхностного моделирования (surface modeling systems) математическое описание визуальной модели включает в себя не только сведения о характеристических линиях и их конечных точках, как в каркасном моделировании, но и данные о поверхностях. При работе с отображаемой на экране моделью изменяются уравнения поверхностей, уравнения кривых и координаты конечных точек. Если поверхности не окрашены и не затушеваны, визуальная модель в системе поверхностного моделирования может выглядеть точно так же, как в системе каркасного моделирования.

Математическое описание может включать сведения о связности поверхностей, то есть о том, как поверхности соединяются друг с другом и по каким кривым. В некоторых приложениях эти сведения оказываются очень полезными. Например, программа для формирования траектории перемещения фрезы с ЧПУ может воспользоваться этой информацией для проверки, не задевает ли фреза поверхности, примыкающие к обрабатываемой. Однако в математическое описание моделей, создававшихся в системах поверхностного моделирования, обычно включались только уравнения бесконечных поверхностей (или их параметры) без сведений о связности.

Примерами атрибутов, определяющих поверхность, являются положение и направление центральной оси, и радиус цилиндра. Из-за отсутствия сведений о связности приложению типа программы для формирования траекторий перемещения приходилось определять границы поверхностей и проверять их связность самостоятельно. В современных системах поверхностного моделирования такие неудобства исключаются благодаря включению сведений о связности поверхностей.

Существует три стандартных метода создания поверхностей в системах поверхностного моделирования:

- Интерполяция входных точек.
- Интерполяция криволинейных сеток.
- Трансляция или вращение заданной кривой.

Способы ввода для каждого метода могут зависеть от конкретной системы поверхностного моделирования. Однако базовый метод ввода для каждой системы легко определить по представлению кривых и плоскостей.

Системы поверхностного моделирования используются для создания моделей со сложными поверхностями, потому что визуальная модель позволяет оценить эстетичность проекта, а математическое описание позволяет построить программу для обработки поверхностей детали на станке с ЧПУ. Процесс эволюционировано модели корпуса автомобиля, которая строится в системе поверхностного моделирования, иллюстрирует рис. 3.14. Расчет и проверку траектории движения фрезы с ЧПУ для объекта, созданного в системе поверхностного моделирования, демонстрирует рис. 3.15.

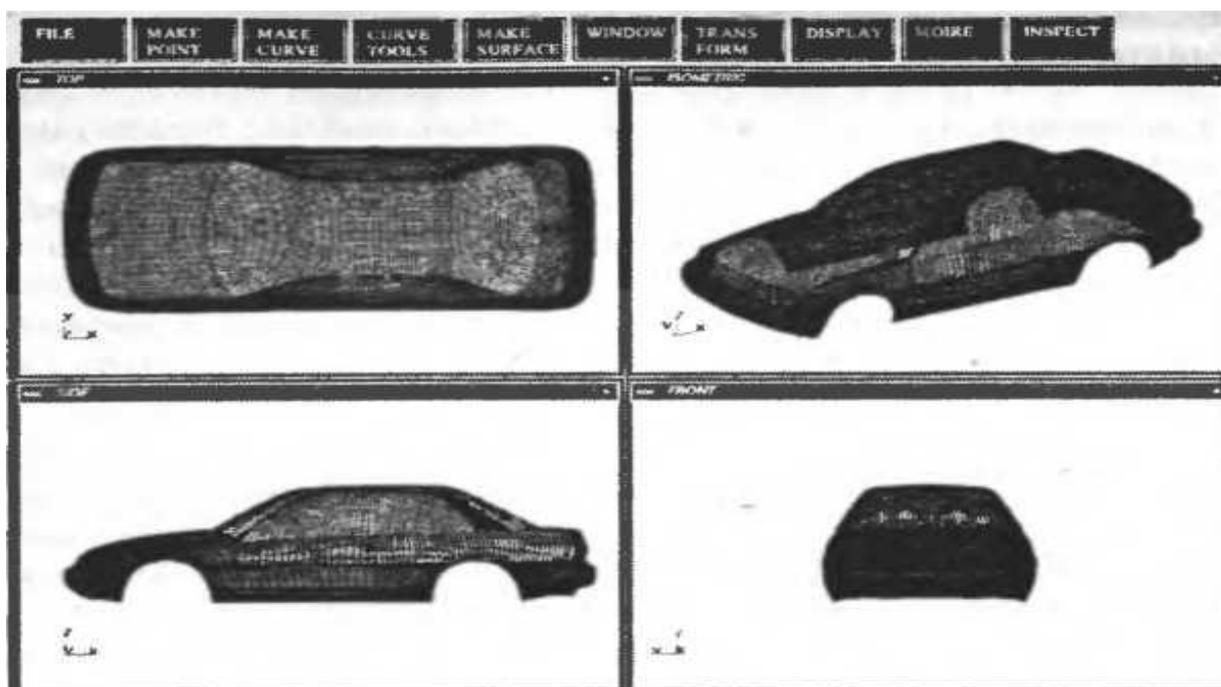


Рис. 3.14. Моделирование корпуса автомобиля

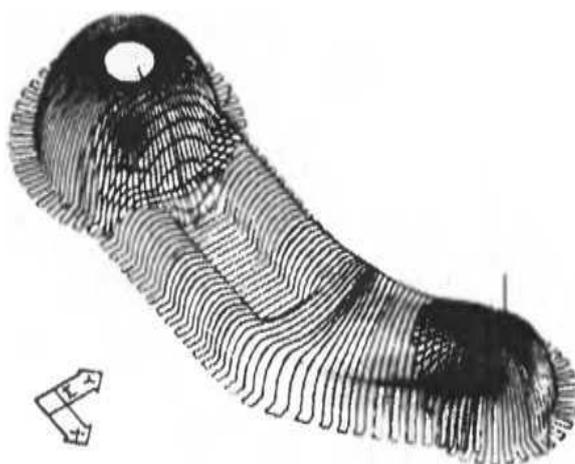


Рис. 3.15. Расчет и проверка траектории станка с ЧПУ (благодаря любезности OPEN MIND Software Tchnologies GmbH., программа HyperMILL)

Системы твердотельного моделирования. Системы твердотельного моделирования (solid modeling systems) предназначены для работы с объектами, состоящими из замкнутого объема, или монолита (solid). В системах твердотельного моделирования, в отличие от систем каркасного и поверхностного моделирования, не допускается создание наборов поверхностей или характеристических линий, если они не образуют замкнутого объема. Математическое описание объекта, созданного в системе твердотельного моделирования содержит сведения, по которым система может определить, где находится точка: внутри объема, снаружи него или на его границе. По этим сведениям получить любую информацию об объеме

тела, а значит, могут приложения, работающие с объектом на уровне объема, а не на Noth.

Например, можно написать приложение, формирующее сетку конечных элементов объемного типа по твердотельной модели. Можно написать программу для формирования всех траекторий фрезы с ЧПУ, необходимых для изготовления детали из заготовки. Эта программа будет работать не с отдельными плоскостями, а с объемом в целом, что исключит потребность во вводе данных для каждой плоскости. Все эти возможности реализуются в том случае, если модель создается в виде замкнутого объема. Однако создание модели в виде замкнутого объема требует большего количества входных данных по сравнению с количеством данных, дающих математическое описание. Это одна из причин, по которым были разработаны системы моделирования немногих образных объектов. Такие системы моделирования позволяют работать с поверхностями и замкнутыми объемами одновременно.

Если бы система твердотельного моделирования требовала ввода всех данных для полного математического описания, она была бы слишком сложной для пользователей, и они отказались бы от нее. Процесс детализации формы не был бы похож на интуитивный процесс физического моделирования, и в результате получилось бы совсем не то, на что рассчитывали создатели систем геометрического моделирования. Поэтому разработчики систем твердотельного моделирования стараются предоставить простые и естественные функции, чтобы пользователи могли работать с объемными формами точно так же, как они работают с физическими моделями, не вдаваясь в подробности математического описания. Функции моделирования, подобные созданию примитивов, булевым операциям, поднятию, построению фигуры вращения, повороту и закруглению, требуют от пользователя совсем немного. Обо всех деталях математического описания системы заботятся сами.

Функции моделирования. Функции моделирования, поддерживаемые большинством систем твердотельного моделирования, могут быть разделены на пять основных групп. В первую группу входят функции, используемые для создания простых форм на основе объемных заготовок, имеющихся в программе, - так называемые функции создания примитивов (primitive creation functions). К этой же группе относятся функции добавления и вычитания объема - булевские операторы (Boolean operations). Функции моделирования из первой группы позволяют проектировщику быстро создать форму, близкую к окончательной форме детали, подобно тому как ребенок сминает пластилин и создает из него приблизительную физическую модель.

Ко второй группе относятся функции создания объемных тел путем перемещения поверхности. Функция заметания (sweeping) позволяет создавать объемное тело трансляцией или вращением области, заданной на плоскости. Построение тела вращения из плоской кривой называется также качанием или вращательным заметанием (swinging). Задавая замкнутую плоскую область, пользователь может указывать геометрические ограничения или вводить данные о размерах, а не рисовать форму вручную. Здесь под геометрическими ограничениями понимаются соотношения между элементами рисунка (перпендикулярность отрезков, касание дуги окружности отрезком и т. д.). В этом случае система построит точную форму, удовлетворяющую ограничениям, самостоятельно. Изменение геометрических ограничений или размеров даст другую плоскую область и другое объемное тело. Такой подход называется параметрическим моделированием, поскольку изменение параметров позволяет получить разные объекты. Параметрами могут быть постоянные, входящие в геометрические ограничения, а также размеры. Функция скининга (skinning) создает объемное тело, натягивая поверхность на заданные поперечные сечения. Функции второй группы позволяют проектировщику начать моделирование с формы, весьма близкой к конечному результату, поскольку одних поперечных сечений вполне достаточно для точного описания конечного объемного тела.

3.5. Система САМ

САМ (англ. Computer aided manufacturing) - подготовка технологического процесса производства изделий, ориентированная на использование ЭВМ. Под термином понимаются как сам процесс компьютеризированной подготовки производства, так и программно-вычислительные комплексы, используемые инженерами технологами.

Большинство существующих систем автоматизированной технологической подготовки производства (например, САМ-I CAPP, MIPLAN, MITURN, MIAPP, ACUDATA/UNIVATION, CINTURN и СОМСАРРV) основаны на альтернативном подходе. Однако в литературе уже появляются упоминания о системах, основанных на генеративном подходе (СРРР, АУТАР, АРРАС, GENPLAN, САР, MetCAPP, ICEM-PART). В последующих разделах мы кратко расскажем о наиболее популярных системах автоматизированной технологической подготовки производства. Подробное сравнение таких систем приводится в работе Чанга.

Система САМ-I CAPP. Система САМ-I CAPP была разработана компанией McDonnell Douglas Automation Company по контракту с САМ-I в

1976 году. SAM-I CAPP -это система управления базами данных, написанная на языке FORTRAN; она реализует структуру базы данных, логику обращения к ней и предоставляет возможность редактирования базы в интерактивном режиме. Схема кодирования деталей и формат вывода задаются пользователем. Длина кода не должна превышать 36 разрядов. Фирма Lockheed-Georgia использует модифицированный код Опита для кодирования в системе CAPP. Схема позволяет пользователю работать с любой из существующих систем групповой технологии. Множество деталей, изготовление которых может быть спланировано при помощи SAM-I CAPP, определяется возможностями реализации схемы кодирования.

Графическая модель системы SAM-I CAPP показана на рис. 3.16. Стандартный план производства для каждого семейства деталей хранится в стандартном последовательном файле в виде последовательности кодов операций (op code). Подробное описание каждого кода операции хранится в отдельном файле - плане операций. Стандартные планы и планы операции приходится разрабатывать для каждой установки, поскольку они зависят от машин, технологий и опыта конкретной компании. В файле матриц семейства хранятся матрицы, определяющие принадлежность деталей к данному семейству по ее коду.

Столбцы соответствуют разрядам кода, а строки - значениям в этих разрядах. В нашем примере код состоит из пяти разрядов, каждый из которых может иметь значение 0-9. Таким образом, файл матриц семейства содержит все возможные комбинации цифр для данного семейства. Из таблицы следует, например, что к одному семейству будут относиться детали 31 632, 32 646 и 35 638.



Рис. 3.16. Структура системы SAM-I CAPP

Технологический план производства формируется системой САМ-I CAPP в четыре этапа

1. Поиск семейства, к которому должна быть отнесена деталь, выполняется системой на основании матрицы семейств и кода детали.
2. Технолог вводит данные для головной метки, по которой формируемый технологический план в дальнейшем может быть идентифицирован. К данным относятся номер детали, материал, имя технолога, название детали и номер версии. Конкретный перечень данных в каждой компании может быть свой. Обычно этот перечень задается при установке системы в компании.
3. На следующем этапе система формирует последовательность операций по изготовлению детали (иногда называемую маршрутом - route). Формирование осуществляется путем уточнения или модификации стандартного технологического плана, состоящего из мнемонических аббревиатур (кодов операций) доступных станков.
4. Затем создается или редактируется текстовое описание действий, выполняемых на каждой операции. После подготовки планов всех операций они объединяются вместе, что дает полный технологический план производства. Этот план сохраняется в виде файла и при необходимости может быть распечатан или изменен.

Система MetCAPP. MetCAPP -типичная система автоматизированной технологической подготовки, основанная на генеративном подходе. Изначально она была разработана и выпущена на рынок отделением программного обеспечения Института высших производственных наук (Institute of Advanced Manufacturing Science -IAMS). Позднее отдел выделился в самостоятельную компанию Agil Tech. MetCAPP формирует технологический план следующим образом. Сначала модуль выделения элементов анализирует геометрическую модель, созданную в программе САД. После идентификации элементов выбираются методы обработки и их порядок с учетом взаимного влияния (сведения о нем хранятся в базе знаний). MetCAPP может быть классифицирована как генеративная система CAPP, основанная на знаниях. По построенным планам производства эта система может оценивать временные и материальные затраты на обработку.

В настоящее время в систему MetCAPP введены правила проверки взаимных помех для фрезерования, сверления и токарной обработки. Также предусмотрена утилита MetScript, с помощью которой пользователь может определять новые элементы и добавлять новую логику планирования производства. На данном этапе модуль выделения элементов способен работать лишь с геометрическими моделями, созданными системой ACIS от Spatial Technology.

Система MIPLAN и MultiCAPP. Системы MIPLAN и MultiCAPP были разработаны совместно с Организацией промышленных исследований (Organization for Industrial Research). Обе системы относятся к классу альтернативных и используют для описания деталей систему кодирования MICLASS. Выбор плана производства осуществляется на основании кода детали, ее номера, матрицы семейств и диапазона значений кода.

По коду детали ищутся аналогичные детали, причем технолог может последовательно редактировать отображаемые планы производства. Примерно такую же систему можно получить, если использовать коды MICLASS с CAM-I CAPP.

Система ICEM-PART. Система ICEM-PART была разработана в лаборатории технологий производства и проектирования Университета Туэнте в Голландии и позднее стала распространяться ICEM. Это генеративная система автоматизированной технологической подготовки производства, используемая главным образом для машинной обработки 2,5-мерных призматических деталей.

ICEM-PART строит технологический план следующим образом. Сначала система считывает геометрическую модель детали из формата ACIS или STEP1 AP203/AP214 и выделяет элементы, получаемые машинной обработкой. Затем она автоматически выбирает конфигурацию, резец и станок и рекомендует оптимальный порядок обработки. Кроме того, система подготавливает траектории движения для станков с ЧПУ для получения каждого элемента. ICEM-PART -хороший пример интеграции CAD/CAPP/CAM.

3.6. Система CAE

CAE (англ. *Computer aided engineering*) - общее название для программ и программных пакетов, предназначенных для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов. Расчётная часть пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений (см.: метод конечных элементов, метод конечных объёмов, метод конечных разностей и др.).

Современные системы автоматизации инженерных расчётов (CAE) применяются совместно с CAD-системами (зачастую интегрируются в них, в этом случае получают гибридные CAD/CAE-системы).

CAE системы - это разнообразные программные продукты, позволяющие при помощи расчётных методов (метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов) оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Помогают

убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

В современном проектировании широко используются различные программные пакеты автоматизированного конструирования (computer aided engineering - CAE), позволяющие оценивать проекты на каждом этапе процесса разработки. Средства CAE позволяют анализировать кинематику или динамику поведения проектируемого агрегата. К этой категории относятся такие пакеты, как ADAMS и DADS. С точки зрения этих пакетов каждый компонент агрегата рассматривается как тело с сосредоточенной массой. В некоторых случаях средства CAE позволяют определить распределение напряжений или температур в механических компонентах, рассчитанных на физическую или тепловую нагрузку. Возможно также проведение вибрационного анализа компонента, на который будет воздействовать динамическая нагрузка. Перечисленные задачи решаются при помощи средств анализа методом конечных элементов.

Главное отличие метода конечных элементов от динамического или кинематического анализа заключается в том, что в первом область задачи рассматривается как непрерывное пространство (континуум), а во втором - как набор дискретных (сосредоточенных) элементов. В этой главе мы изучим основные концепции средств анализа методом конечных элементов. Мы не станем уделять внимание средствам кинематического или динамического анализа, поскольку программы этого типа просты для понимания и для работы с ними вполне достаточно руководства пользователя.

Метод конечных элементов, по всей видимости, является наиболее популярным численным методом решения таких задач. Универсальность этого метода удовлетворяет требованиям современных сложных систем конструирования, для которых обычно отсутствуют замкнутые решения уравнений равновесия. Анализ методом конечных элементов начинается с аппроксимации исследуемой области (области задачи) и делении ее на ячейки сетки. На рис. 3.17, а по углам каждой ячейки находятся узлы (черные точки). Такие ячейки и называются конечными элементами. На рис. 3.17, а, б представлены аппроксимации объектов с наборами конечных элементов (треугольных и четырехугольных).

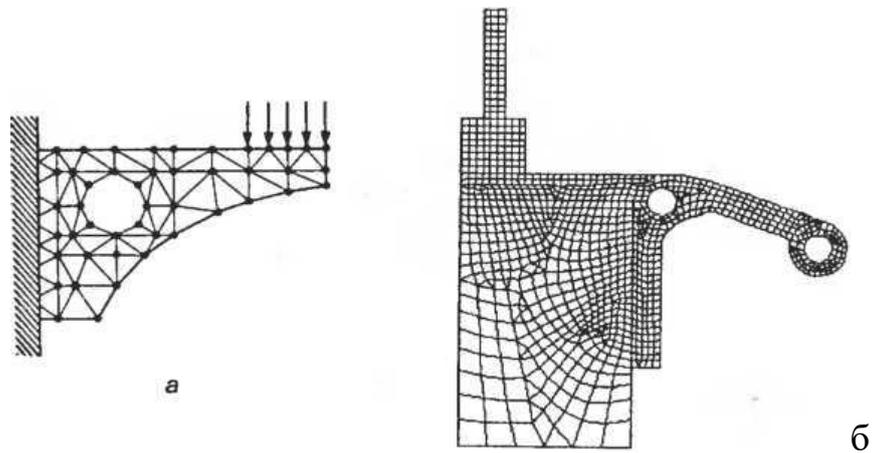


Рис. 3.17. Аппроксимация объектов конечными элементами

Как уже отмечалось, программы анализа методом конечных элементов формируют системы уравнений с неизвестными, учитывая заданные граничные условия. Затем система уравнений решается относительно неизвестных, а по найденным решениям рассчитываются значения характеристик внутри элементов. В этом разделе мы рассмотрим процедуру построения системы уравнений в классическом варианте метода конечных элементов (в р-версия). Чтобы вывести уравнения для задач строительной механики, мы воспользуемся принципом виртуальных перемещений. Мы будем следовать схеме именования переменных, принятой в работе, чтобы заинтересовавшийся читатель мог с легкостью найти в ней ответы на свои вопросы. Для вывода системы уравнений из основных дифференциальных уравнений используется иная процедура, описанная в приложении Л.

Рассмотрим трехмерный объект произвольной формы, находящийся в равновесном состоянии под воздействием некоторой нагрузки (рис. 3.18). Силы трения, действующие на поверхность, обозначим f^s , массовые силы - f^B , а сосредоточенные внешние силы - F^i . В общем случае эти силы раскладываются на компоненты, параллельные осям координат:

$$f^B = \begin{bmatrix} f_X^B \\ f_Y^B \\ f_Z^B \end{bmatrix}, f^S = \begin{bmatrix} f_X^S \\ f_Y^S \\ f_Z^S \end{bmatrix}, F^i = \begin{bmatrix} F_X^i \\ F_Y^i \\ F_Z^i \end{bmatrix}$$

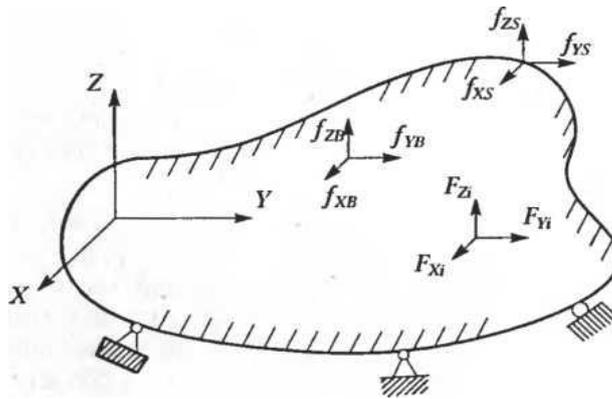


Рис. 3.18. Трехмерный объект с внешними силами

Оптимизация - это один из этапов процесса разработки, то есть часть жизненного цикла продукта, а потому технологии оптимизации также относят к средствам автоматизированного проектирования. В принципе, весь процесс проектирования можно считать оптимизацией, потому что в этом процессе создается несколько альтернативных проектов, из которых выбирается один лучший. Это утверждение становится верным, если понимать слово «оптимизация» в очень широком смысле. Однако обычно под оптимизацией понимается не выбор одной из нескольких альтернатив (таких, например, как заклепка, болт и скоба), а скорее, выбор оптимального размера одной из них (например, заклепки). Понимаемая в этом смысле оптимизация уже является частью процесса проектирования, а не самим этим процессом.

Оптимизацию конструкции можно описать на математическом языке. Обозначив переменные оптимизации символом X (n -мерный вектор, компонентами которого являются переменные оптимизации), а целевую функцию символом $F(X)$, мы можем записать задачу просто: минимизировать (максимизировать) $F(X)$.

Структурная оптимизация. В этом разделе мы рассматриваем проблему применения технологий оптимизации к целям проектирования. Структурной оптимизацией (structural optimization) называется автоматический синтез механических компонентов на основании их структурных свойств. Другими словами, структурная оптимизация позволяет автоматически получить такую конструкцию компонента, которая будет оптимальной со структурной точки зрения.

Структурная оптимизация подразумевает оптимизацию целевой функции (обычно жесткости, возможностей производства, веса или стоимости) при выполнении структурных и иных ограничений на конструкцию (расположение точек опоры, ограничения на размер и вес, максимально допустимые напряжения, максимально допустимый вес, минимальный теплоотвод и т. п.). Структурная оптимизация требует (рис. 3.19) средств геометрического моделирования для описания формы детали,

средств структурного анализа для решения задачи, а также алгоритма оптимизации для поиска оптимального решения.

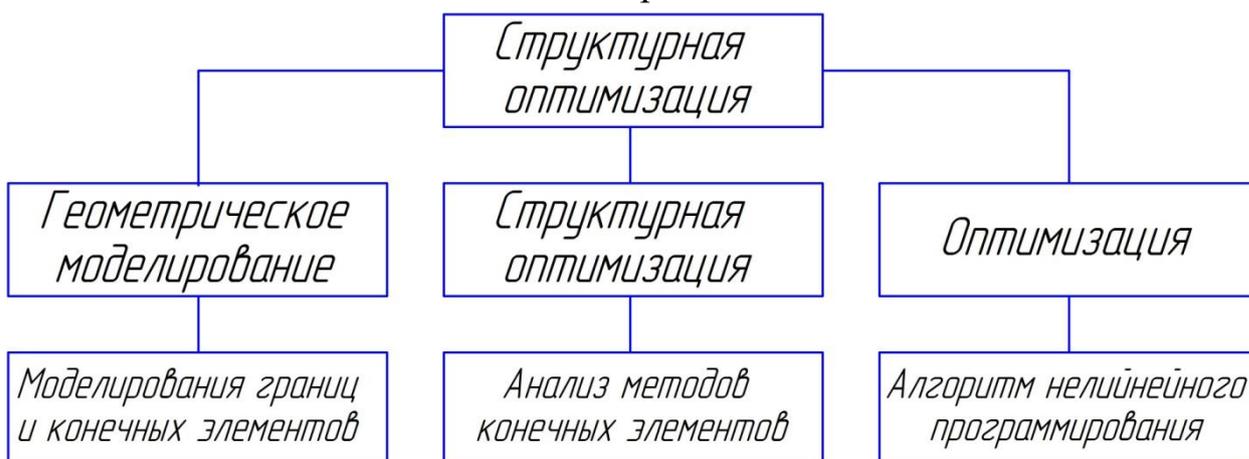


Рис. 3.19. Составляющие структурной оптимизации

CAE - системы инженерного анализа. Инженерные исследования являются неотъемлемой частью процесса конструкторского проектирования, если понимать проектирование в широком смысле этого слова. Эти исследования проводятся с помощью CAE - систем (Computer Aided Engineering). В отличие от CAD - систем, решающих геометрические задачи, CAE - системы моделируют физические процессы поведения проектируемого объекта - например, поведение изделия при различных механических нагрузках, ударах, различных температурных режимах и др. В результате исследований оптимизируются соответствующие прочностные или тепловые характеристики, повышается ресурс и долговечность объекта.

Исследоваться могут не только проектируемые изделия или детали, но и проектируемые технологические процессы - например, процесс горячей штамповки, гибки, прокатки или литья из пластмасс. Оптимизация параметров технологического процесса приводит к улучшению качества и повышению долговечности изготавливаемого изделия, уменьшению его материалоемкости. Кроме того, при исследовании технологического процесса вырабатываются рекомендации, способствующие улучшению характеристик соответствующей оснастки.

На рис. 3.20 приведена общая схема совместного использования CAD- и CAE - систем применительно к задаче проектирования средств технологического оснащения. Разрабатываемые в CAD - системе конструкторские решения подвергаются исследованиям с помощью CAE - системы. По результатам исследований выполняются соответствующие изменения конструкции или параметров проектируемой оснастки. При необходимости выполняются повторные исследования и т. д., до получения оптимального (или просто приемлемого) результата.

Конечно-элементный анализ. Математической основой инженерных исследований являются методы нелинейного конечно-элементного анализа (FEA – Finite Element Analysis). FEA - это чрезвычайно мощное средство, которое дает инженеру возможность моделировать структурное поведение объекта, выполнять изменения и наблюдать результаты этих изменений. Метод конечных элементов работает на основе расщепления геометрии объекта на большое число (тысячи или десятки тысяч) элементов (например, параллелепипедов). Эти элементы образуют ячейки сети с узлами в точках соединений. Поведение каждого малого элемента стандартной формы быстро рассчитывается на основе математических уравнений. Суммирование поведения отдельных элементов дает ожидаемое поведение объекта в целом. По существу, FEA является численным методом решения инженерных задач, таких как анализ напряжений, теплопередача, электромагнитные явления и течение жидкостей.

В зависимости от того, отвечает ли исследуемая модель требованию линейности, используется линейный или нелинейный конечно-элементный анализ. В отличие от линейного FEA, где решение достигается в одном шаге, нелинейный FEA представляет собой итерационную процедуру, которая может потребовать сотен и даже тысяч шагов. Существует три основных типа нелинейностей:

- Материальные - пластичность, ползучесть, вязкоупругость материала;
- Геометрические - большие деформации или растяжения, резкие изгибы;
- Граничные - контакты с другими объектами, трение, дополнительные силы.

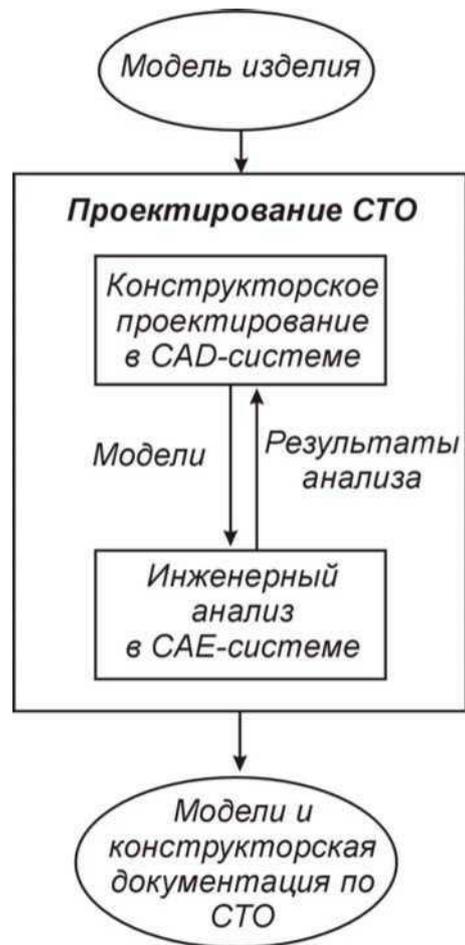


Рис. 3.20. Роль САЕ - систем в проектировании средств технологического оснащения (СТО)

В практических ситуациях чаще всего имеют место нелинейные модели, требующие применения нелинейного конечно-элементного анализа.

Теоретически нет ограничений на приложения с использованием FEA. Методы FEA впервые были применены в аэрокосмической и автомобильной промышленности, но затем распространились практически на все другие отрасли. Сегодня любой проектируемый объект может быть подвергнут моделированию с использованием технологий FEA.

Конечные элементы, применяемые в FEA, отличаются достаточно большим разнообразием форм и могут быть треугольными, четырехугольными и др. (рис. 3.21).

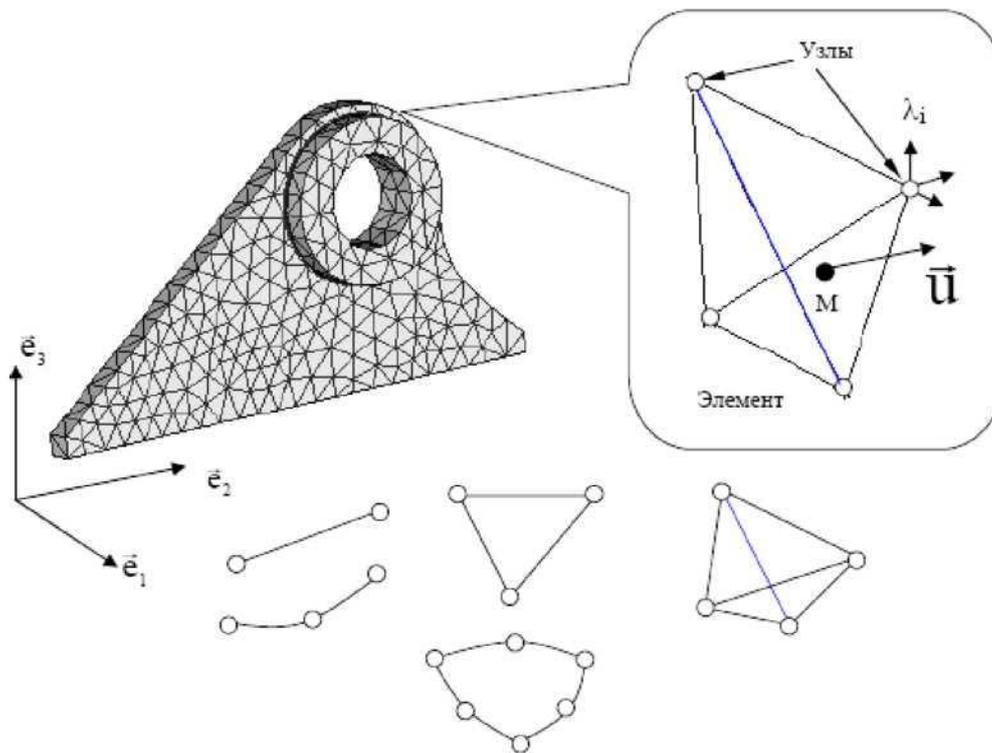


Рис. 3.21. Формы конечных элементов

Элементы бывают одномерными, плоскими и пространственными, с прямолинейными или криволинейными сторонами. Вдоль каждой из них может быть два или более узлов (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Возможное число узлов в конечных элементах

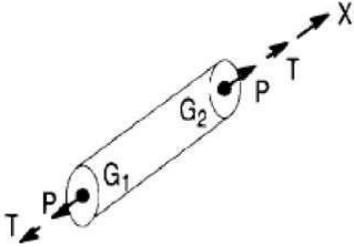
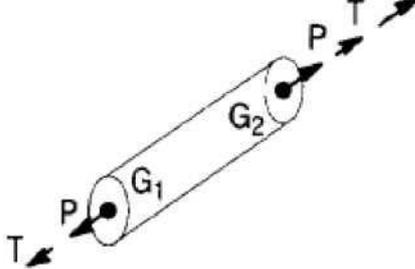
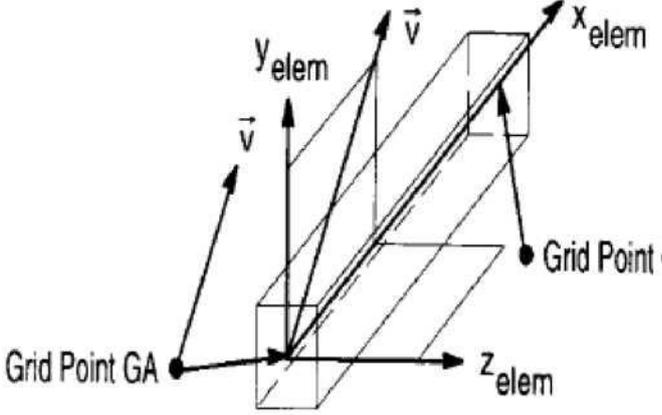
Форма элемента	Количество узлов
Балка	2/3/4
Треугольник	3/4/6/7/9/13
Четырехугольник	4/5/8/9/12/16
Тетраэдр	4/5/10/11/14/15/16/40
Трехгранная призма	6/7/15/16/20/21/24/52
Гексаэдр	8/9/20/21/26/27/32/64

Существует также набор специальных элементов:

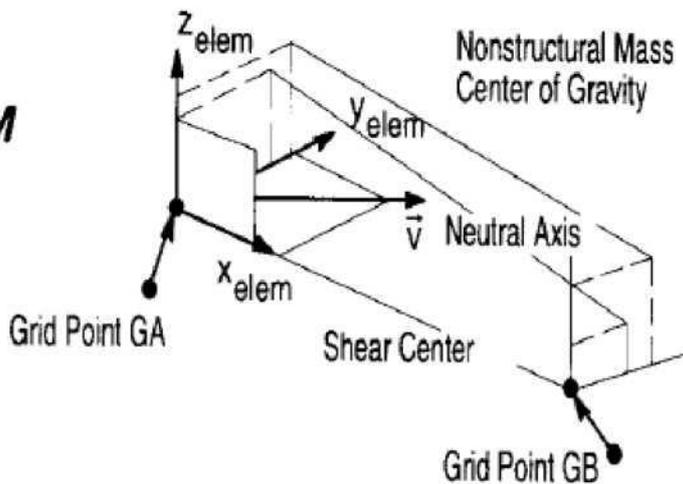
- сосредоточенная масса;
- пружина;
- демпфер;
- "жесткость" закрепления;
- "списки степеней свободы" (Degree-of-Freedom Lists);
- межузловые связи (взаимное ограничение степеней свободы).

В табл. 3.2 приведено описание некоторых конечных элементов, применяемых для проведения инженерных расчетов.

Таблица 3.2. Описание некоторых конечных элементов

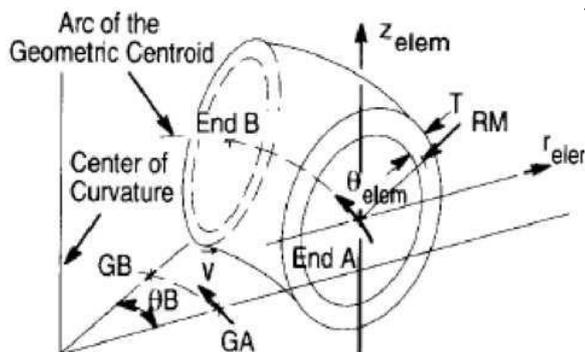
<p>ROD</p> 	<p>Одномерный двухузловой элемент, работающий на растяжение-сжатие и кручение. Две степени свободы в узле (T_x, R_x).</p>
<p>TUBE</p> 	<p>Одномерный двухузловой элемент трубы, работающий на растяжение-сжатие и кручение. Две степени свободы в узле (T_x, R_x).</p>
<p>BAR</p> 	<p>Одномерный простой балочный двухузловой элемент. Шесть степеней свободы в узле ($T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z$). Допускается смещение нейтральной оси относительно узлов элемента. Может учитывать эффект поперечного сдвига.</p>

BEAM



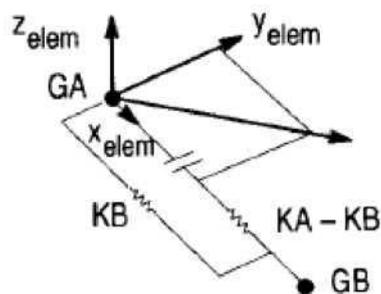
Одномерный сложный балочный двух узловой элемент. Семь степеней свободы в узле ($T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z$ и деформация сечения). Допускается смещение оси центра сдвига относительно узлов элемента. Нейтральная линия и центр сдвига могут не совпадать. Допускается клиновидность элемента. Учитывается поперечный сдвиг.

BEND

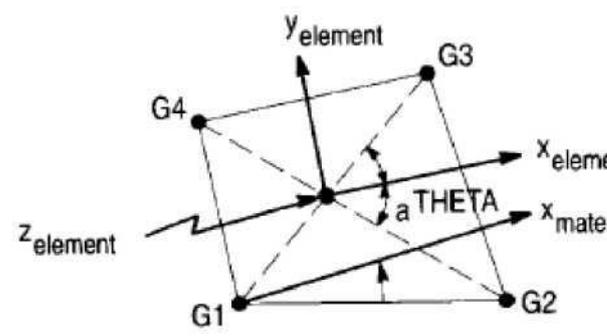
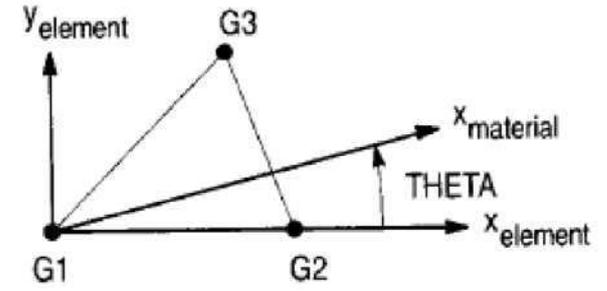
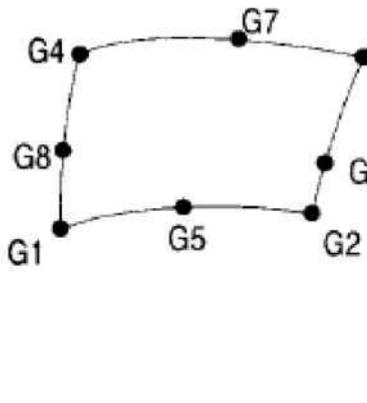
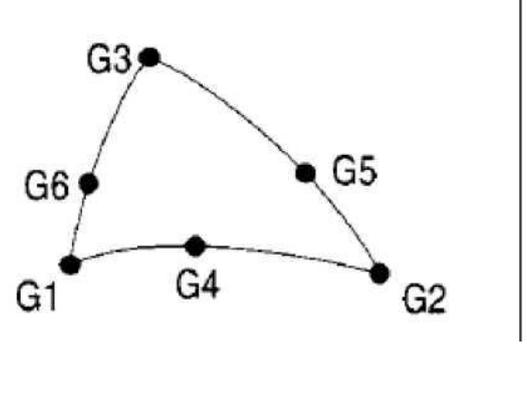


Одномерный криволинейный балочный двухузловой элемент. Шесть степеней свободы в узле ($T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z$).

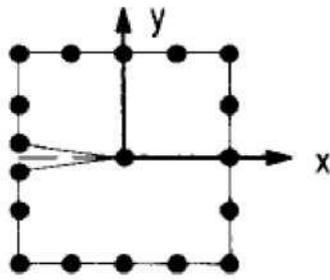
GAP



Одномерный контактный двухузловой элемент. Используется в нелинейных задачах для моделирования контактных усилий.

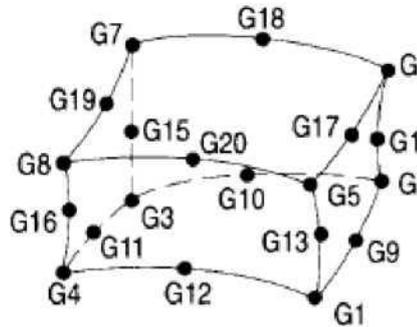
<p>QUAD4</p> 	<p>Двумерный четырехугольный мембранноизгибный плоский элемент с четырьмя узлами. Пять степеней свободы в узле (T_x, T_y, T_z, R_x, R_y).</p>
<p>TRIA3</p> 	<p>Двумерный треугольный мембранноизгибный плоский элемент с тремя узлами. Пять степеней свободы в узле (T_x, T_y, T_z, R_x, R_y).</p>
<p>QUAD8</p> 	<p>Двумерный четырехугольный криволинейный оболочечный элемент с количеством узлов от четырех до восьми. Пять степеней свободы в узле (T_x, T_y, T_z, R_x, R_y).</p>
<p>TRIA6</p> 	<p>Двумерный треугольный криволинейный оболочечный элемент с количеством узлов от трех до шести. Пять степеней свободы в узле (T_x, T_y, T_z, R_x, R_y).</p>

CRAC2D



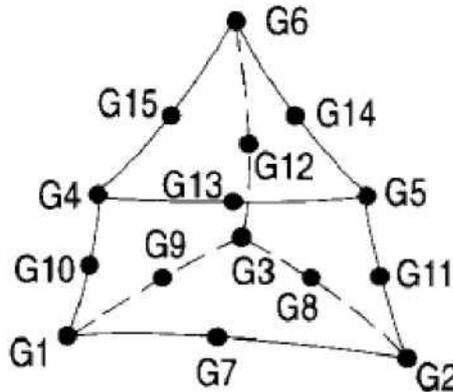
Двумерный элемент для моделирования вершины трещины. Определяется узлами в количестве от семи до восемнадцати. Учитывает фактор интенсивности напряжений.

HEXA



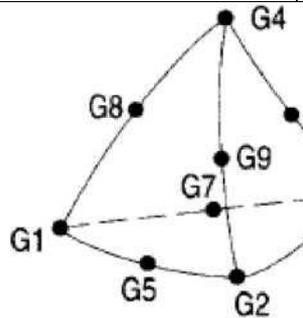
Трехмерный шестигранный объемный элемент с количеством узлов от восьми до двадцати. Три степени свободы в узле (T_x , T_y , T_z).

PENTA



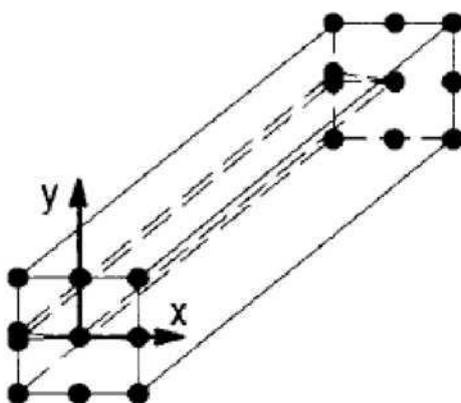
Трехмерный пятигранный объемный элемент с количеством узлов от шести до пятнадцати. Три степени свободы в узле (T_x , T_y , T_z).

TETRA



Трехмерный четырехгранный объемный элемент с количеством узлов от четырех до десяти. Три степени свободы в узле (T_x , T_y , T_z).

CRAC3D



Трёхмерный элемент для моделирования вершин трещин. Определяется узлами в количестве от четырнадцати до шестидесяти четырех. Учитывает фактор интенсивности напряжений.

Во всех узлах задаются обобщенные координаты, называемые узловыми смещениями, совокупность которых для данного элемента записываются в виде матрицы. Узловые смещения могут представлять собой компоненты вектора перемещения узлов вдоль осей координат, а также углы поворота элемента в узловых точках. В пределах каждого элемента для компонент вектора перемещения любой точки задают аппроксимацию через узловые смещения, которые являются неизвестными величинами и называются функциями формы элемента и выражают связь между узловыми смещениями и вектором перемещения точки тела. В качестве функций формы обычно используют полиномы. Они подставляются в *уравнения равновесия тела*, из которых и определяются узловые смещения для каждого элемента.

Уравнения равновесия тела при использовании FEA удобнее всего получить исходя из принципа возможных перемещений. В соответствии с указанным принципом приращение работы внутренних сил равно работе внешних сил на возможных перемещениях. Учитывая зависимость компонентов тензора деформаций от узловых смещений и связь между компонентами тензоров напряжений и деформаций для упругого тела, выражающуюся законом Гука, находится зависимость компонентов тензора напряжений от узловых смещений. Путем несложных математических преобразований получается система линейных алгебраических уравнений, выражающая условия равновесия конечного элемента, которые включают в себя матрицу жесткости элемента, вектор узловых смещений и вектор узловых сил. Совокупность таких уравнений для всех элементов, дополненная уравнениями связей, наложенных на тело (граничные условия), представляет собой систему уравнений равновесия рассматриваемого тела.

Полученные уравнения используются для расчета конструкций на прочность при статическом нагружении. Из их решения определяется вектор узловых смещений, перемещения точек тела, деформации и напряжения. Эти решения являются основой для вычисления запасов прочности и оценки прочности конструкции.

При решении задач динамики напряжения, деформации, перемещения являются функцией времени, и в этом случае проводят исследования вибрационных характеристик конструкций (вычисляют частоты, амплитуды колебаний, амплитудные значения напряжений, деформаций, исследуют резонансные явления). Вводя по принципу Даламбера объемные силы инерции в интеграл для узловых сил, можно получить уравнения движения элемента. При наличии в системе сил вязкого сопротивления, пропорциональных скоростям точек, в уравнения движения вводят матрицу коэффициентов демпфирования. Совокупность уравнений для всех элементов дает систему уравнений движения для всего тела, используемую для расчета динамики конструкций. При отсутствии внешних сил система уравнений описывает собственные колебания тела. Отыскивая в этом случае узловые смещения, находят собственные частоты колебаний и далее соответствующие им собственные векторы узловых смещений, называемые также собственными формами колебаний конструкции. При наличии внешних сил решается задача о вынужденных колебаниях.

При исследовании задач упругой устойчивости элементов конструкций уравнения равновесия составляются с учетом изменения геометрии тела в деформированном состоянии. В этом случае также приходят к задаче на собственные значения, где с помощью матрицы геометрической жесткости, называемой дифференциальной, учитывают работу внешних сил, обусловленную изменением геометрии тела, параметры нагрузки, при которых существуют нетривиальные решения для узловых смещений, то есть появляются новые формы равновесия тела, отличные от исходной. Значения нагрузки, называемые критическими, показывают, во сколько раз эта критическая нагрузка, при которой происходит потеря устойчивости исходной формы равновесия тела, больше текущей нагрузки. Практический интерес обычно представляет первая (наименьшая) критическая нагрузка, поскольку именно она будет реализована при работе конструкции.

Аналогичным образом возможно решение других типов задач, таких как анализ теплопроводности, электромагнитных полей, исследования различных технологических производственных процессов, связанных с нелинейным поведением материалов, анализ кинематики механических систем и многие другие.

ГЛАВА 4. ПОНЯТИЕ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование технического объекта - создание, преобразование и представление в принятой форме образа этого ещё не существующего объекта.

Образ объекта или его составных частей может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться в соответствии с некоторыми алгоритмами в процессе взаимодействия человека и ЭВМ.

В любом случае инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности общества в некоторых технических объектах, которыми могут быть объекты строительства, промышленные изделия или процессы.

Преобразование исходного описания в окончательное порождает ряд промежуточных описаний, подводящих итоги решения некоторых задач и используемых при обсуждении и принятии проектных решений для окончания или продолжения проектирования.

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путём взаимодействия человека и ЭВМ, называют *автоматизированным*, в отличие от ручного (без использования ЭВМ) или *автоматического* (без участия человека на промежуточных этапах). Система, реализующая автоматизированное проектирование, представляет собой САПР.

Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для сравнительно несложных объектов. Преобладающим в настоящее время является автоматизированное проектирование.

4.1. Стадии проектирования

Стадии проектирования - наиболее крупные части проектирования как процесса, развивающегося во времени. В общем случае выделяют стадии научно-исследовательских работ (НИР), эскизного проекта или опытно-конструкторских работ, технического и рабочего проектов, испытаний опытных образцов или опытных партий. Содержание отдельных стадий проектирования регламентируется в ГОСТ 23501.1-79, а технического проекта - в ГОСТ 23501.106-85.

Проектирование включает в себя разработку технического предложения и (или) технического задания (ТЗ), отражающих эти потребности, и реализацию ТЗ в виде проектной документации.

Обычно ТЗ представляют в виде некоторых документов, и оно является

исходным (первичным) описанием объекта. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект, точнее, окончательное описание объекта. Более коротко, проектирование - процесс, заключающийся в получении и преобразовании исходного описания объекта в окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчётного и конструкторского характера.

Иногда разработку ТЗ на проектирование называют внешним проектированием, а реализацию ТЗ - внутренним проектированием.

В ТЗ на проектирование объекта указывают, по крайней мере, следующие данные:

1. Назначение объекта.
2. Условия эксплуатации.

Наряду с качественными характеристиками (представленными в вербальной форме) имеются числовые параметры, называемые внешними параметрами, для которых указаны области допустимых значений. Примеры внешних параметров: температура окружающей среды, внешние силы, электрические напряжения, нагрузки и т. п.

3. Требования к выходным параметрам, т.е. к величинам, характеризующим свойства объекта, интересующие потребителя. Эти требования выражены в виде условий работоспособности.

Стадию НИР иногда называют предпроектными исследованиями или стадией технического предложения. По мере перехода от стадии к стадии степень подробности и тщательность проработки проекта возрастают, и рабочий проект должен быть вполне достаточным для изготовления опытных или серийных образцов.

Близким к определению стадии, но менее чётко сформулированным понятием является понятие этапа проектирования.

Стадии (этапы) проектирования подразделяют на составные части, называемые проектными процедурами. Примерами проектных процедур могут служить подготовка детализированных чертежей, анализ кинематики, моделирование переходного процесса, оптимизация параметров и другие проектные задачи.

В свою очередь, проектные процедуры можно расчленить на более мелкие компоненты, называемые проектными операциями, например, при анализе прочности детали сеточными методами операциями могут быть построение сетки, выбор или расчёт внешних воздействий, собственно моделирование полей напряжений и деформаций, представление результатов

моделирования в графической и текстовой формах.

Проектирование сводится к выполнению некоторых последовательностей проектных процедур - маршрутов проектирования.

4.2. Программное обеспечение AUTOCAD

MechaniCS 8.1 - это интегрирующее программное решение под платформы AutoCAD 2007/2008/2009/2010/2011 и Autodesk Inventor 2009/2010/2011, предназначенное для ускорения и упрощения проектирования узлов, разработки, оформления и редактирования конструкторской документации, управления проектными данными, ориентированное на отечественного пользователя, выполненное на основании нормативных рекомендаций.

MechaniCS 8.1 предоставляет всё для проектирования машиностроительных объектов: оформление проекций чертежей по ЕСКД с применением алгоритмов автоматизированного нормоконтроля, уникальные технологии проектирования систем гидропнеumo-элементов, деталей передач, инженерный анализ с отображением результата расчёта на модели, расчёт размерных цепей, зубчатых зацеплений, валов, создание пользовательских библиотек интеллектуальных объектов и многое другое. Мощный инструмент многовариантного проектирования объединяет проектировщиков плоского и трёхмерного проектирования, пользователей AutoCAD и Autodesk Inventor.

MechaniCS 8.1 имеет:

- динамически связанные текстовые элементы оформления чертежа (связь видов, маркировки, сварки, позиций с техническими требованиями);
- инструменты оформления чертежа, направленные на повышение производительности конструктора (удобные размеры, допуски формы и расположения поверхностей, неразъёмных соединений, шероховатости);
- автоматическое ведение спецификации на основе информации занесённой в основной надписи входящих деталей и узлов, элементов крепежа и типовых деталей;
- автоматическую коррекцию спецификации узла при изменении входящих компонентов;
- автоматическую простановку обозначений разрезов, сечений, видов, базовых поверхностей;
- автоматический контроль толщины линий условных обозначений, стандартных деталей в соответствии с требованиями ГОСТ;
- автоматическую простановку зон в обозначении видов и сечений;
- автоматический подсчёт швов сварных соединений;

- типовые крепёжные соединения в библиотеке стандартных элементов;
- расчётные модули по проведению прочностных расчётов балок, сечений и пружин;
- элементы станочных приспособлений;
- расширенную помощь по основным нормализованным конструкторским документам.

В процессе работы с приложением получается машиностроительный чертёж по ЕСКД с выходом на приложение по технологической подготовке производства - Technologies.

Далее рассмотрим некоторые приёмы использования MechanіCS 8.1 в среде AutoCAD Mechanical 2011.

Интерфейс и настройки. Инструменты MechanіCS 8.1 дополняют привычную среду AutoCAD, не отключая и не переименовывая её команды, панели инструментов и элементы меню. После установки MechanіCS 8.1 в главном меню AutoCAD добавляется раздел MechanіCS 8.0, в левой части рабочего стола - Менеджер объектов, а в нижней части окна AutoCAD в статусной строке переключения режимов рисования - инструмент управления текущим масштабом (рис. 4.1).

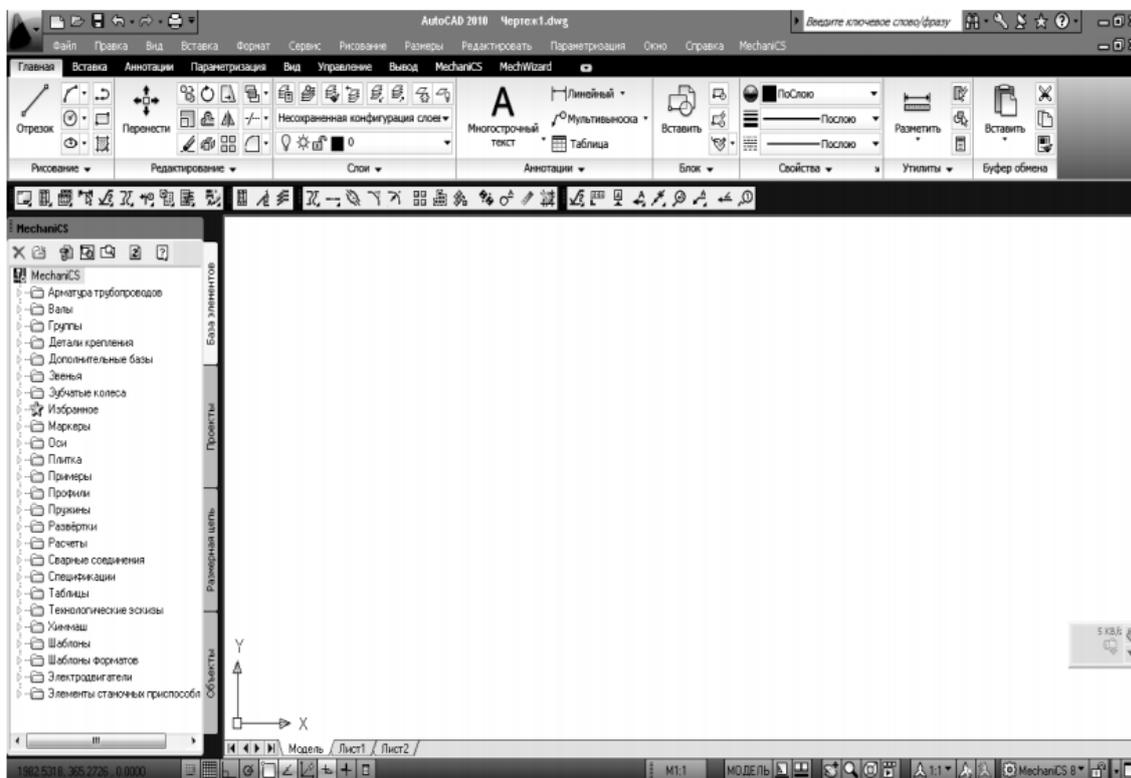
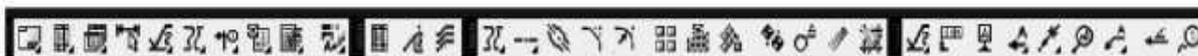


Рис. 4.1. Интерфейс AutoCAD Mechanical 2010 со встроенным MechanіCS 8.0

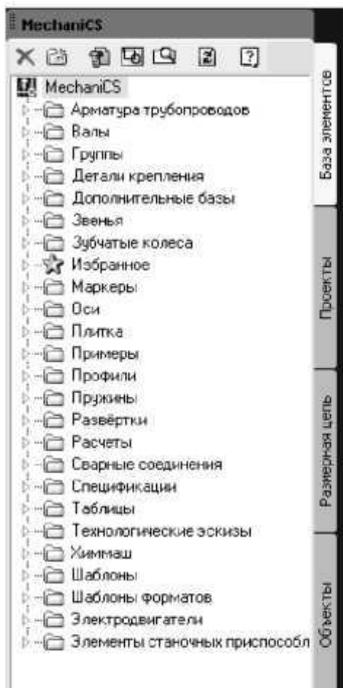
В состав рабочего пространства MechanіCS 8.1 под AutoCAD входят следующие элементы:

- панели инструментов, которые появляются в виде плавающих панелей

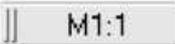
после установки MechaniCS 8.1 при первом запуске AutoCAD (панели можно зафиксировать, разместив их внизу ленты AutoCAD)



- палитра менеджера объектов



- строка состояния (при размещении стандартных деталей информация об их номинальном типоразмере отображается в

панель  и кнопка  масштабной статусной строке)

В MechaniCS 8.1 используется понятие текущего масштаба. Текущий масштаб отличается от действующего в AutoCAD глобального масштаба, выраженного в единицах (units).

Масштабирование объектов производится в зависимости от значения настройки «Применять глобальный масштаб для элементов

оформления».

Применять глобальный масштаб для элементов оформления Да

Если значение этой настройки - «Да», то размеры элементов оформления масштабируются, а для стандартных элементов базы данных MechaniCS 8.0 задаётся соответствующий масштаб типов линий.

Такая настройка удобна при черчении в пространстве модели в масштабе 1:1, с последующим оформлением чертежа в пространстве листа на видовом экране соответствующего масштаба. В этом случае элементы оформления будут выглядеть единообразно на видовых экранах с разными масштабами.

Если настройка «Применять глобальный масштаб для элементов оформления» установлена в «Нет», то кнопка масштаба имеет вид M1:100 . В этом случае размер стандартных деталей изменяется в соответствии с масштабом, а размер элементов оформления остаётся неизменным. Кроме того, происходит масштабирование линейных размеров путём установления линейного коэффициента масштаба. Данный способ используется при изначальном вычерчивании модели в масштабе, отличном от 1:1.

Масштаб объектов базы данных стандартных изделий и элементов оформления можно устанавливать с помощью панели масштаба.

При отсутствии выбранных объектов изменение масштаба с помощью панели масштаба или кнопки масштаба изменяет текущий масштаб черчения.

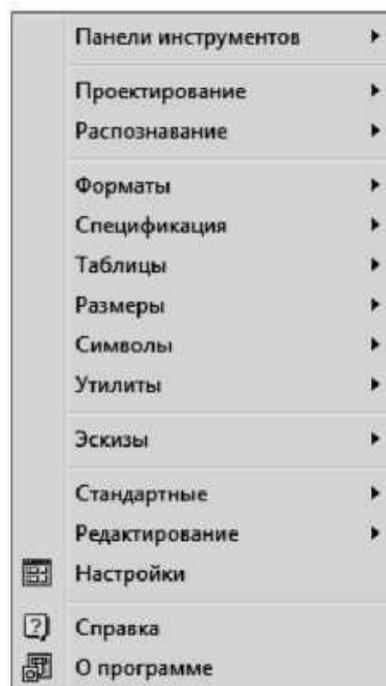
Если имеются выбранные объекты, то кнопка и панель масштаба отображают их масштаб. Изменение масштаба влияет только на выбранные объекты, не изменяя текущий масштаб черчения.

Перечень значений устанавливаемых масштабов увеличения и уменьшения соответствует ЕСКД ГОСТ 2.302-68 «Масштабы».

В программе реализована возможность зуммирования (увеличения) выбранного объекта MechaniCS 8.1 по центру экрана в режиме показа рамки вокруг объекта (по умолчанию рамка отключена). Для этого нужно подвести курсор к объекту, чтобы появились «габаритные уголки» и, удерживая нажатой клавишу «Shift», щёлкнуть правой клавишей мыши - произойдёт автоматическое экранное увеличение выбранного объекта.

При повторном нажатии на объекте одновременно правой клавиши мыши и клавиши «Shift» происходит возврат к предыдущему масштабу с автоматическим центрированием объекта на экране.

- меню MechaniCS 8.1



- команды в контекстном меню поля чертежа (появляется при нажатии правой клавиши мыши);

- лента в AutoCAD Mechanical 2011

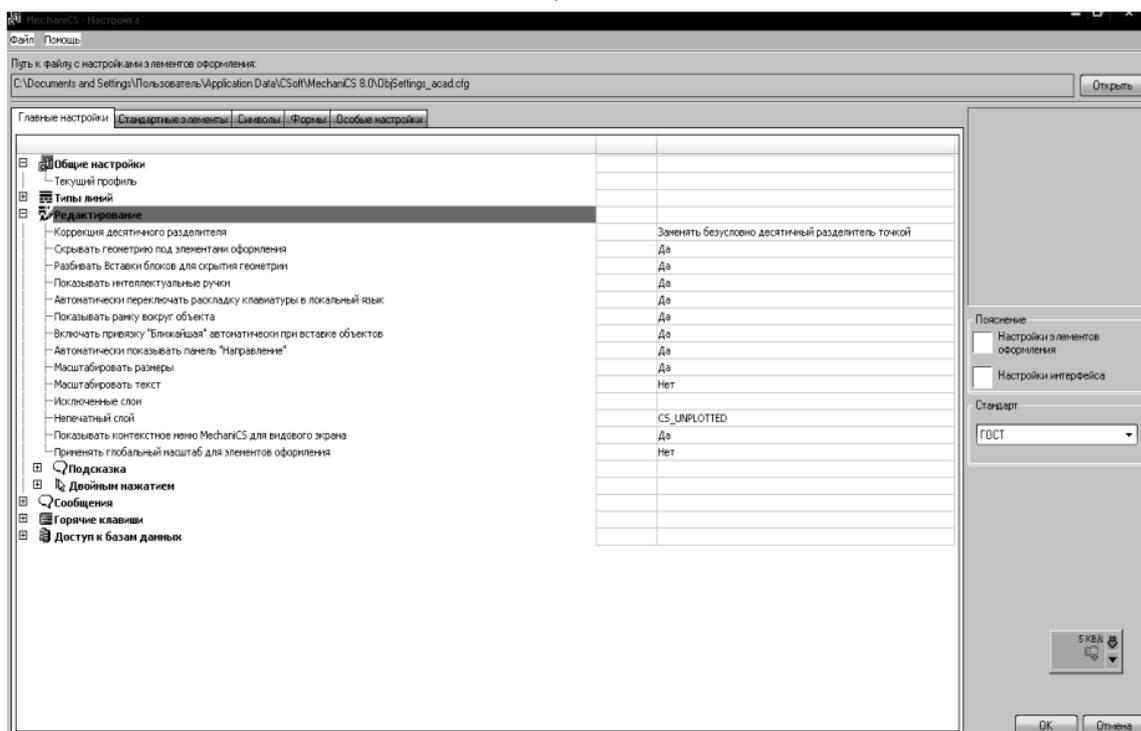


Диалог настроек MechaniCS 8.1 можно вызвать следующими спо-

собами:

- из панели инструментов - щелчком по пиктограмме «Настройки».
- из командной строки (Command: mcParams).
- из среды AutoCAD - отдельные вкладки в диалоге параметров приложения.

В MechaniCS 8.1 все пункты настроек разбиты на два типа - настройки интерфейса (выделены жёлтым цветом) и настройки элементов оформления. Настройки интерфейса отвечают за функционирование отдельного приложения на соответствующей платформе (MechaniCS 8.1 для AutoCAD или MechaniCS 8.1 для Autodesk Inventor).



Настройки интерфейса задаются пользователем по своему усмотрению, поскольку они влияют только на работу приложения.

Настройки элементов оформления записываются в отдельный файл. Эти настройки считываются при создании нового документа, и они определяют то, как будет выглядеть чертёж, оформленный средствами MechaniCS 8.1. При изменении пунктов настроек элементов оформления по нажатию на кнопку «ОК» диалога настроек выдаётся сообщение вида:

- «Сохранить в текущий документ» - настройки элементов оформления будут сохранены в текущем документе, при создании новых документов настройки будут соответствовать тем, которые указаны в файле настроек, т.е. действие данной настройки будет локальным для данного документа;
- «Сохранить в файл с настройками» - новые параметры пунктов настроек элементов оформления будут применяться по умолчанию для всех новых документов, а также для вновь создаваемых элементов оформления в

текущем документе. Для сохранения настроек в этот файл необходимо иметь права на запись в папке размещения файла настроек;

- «*Не сохранять*» - изменения в настройках элементов оформления не будут сохранены.

Такое разделение предназначено для стандартизации оформления чертежей внутри организации. Для этого всем пользователям необходимо указать один файл с настройками элементов оформления, расположенный на сетевом ресурсе. Разграничение прав на запись в общий файл настроек производится средствами операционной системы.

Вставка формата чертежа. Прежде чем начать работу в среде AutoCAD+MechaniCS 8.1 в рабочую область необходимо вставить формат чертежа.

MechaniCS 8.1 позволяет отрисовать все требуемые форматы чертежей по ГОСТ 2.104-68 «*Форматы*». Для обеспечения удобства работы с программой, при двойном щелчке по объекту, появляется возможность его редактирования.

Форматка вставляется в графическую зону AutoCAD в масштабе 1:1, размещённые внутри форматки виды должны быть заранее отмасштабированы.

Для применения возможностей автоматической сортировки вводимой символьной информации (знаки видов, разрезов, зон и т.п.) и автоматической простановки зон видов, разрезов и сечений, форматку следует вставлять до применения этих команд.

Для использования возможности связывания текстовой информации с техническими требованиями, правильной генерации спецификаций, оформление чертежа необходимо проводить в пространстве модели.

Для вставки формата в главное меню AutoCAD выберем «MechaniCS/Форматы/Форматы». Формат можно вставить, также щёлкнув в инструментальной панели MechaniCS по пиктограмме «Форматы». В появившемся диалоговом окне выберем нужные параметры (рис. 4.2).

При включённом режиме «*Автонумерация*» MechaniCS не позволяет пользователю вводить в одном файле два листа с основной надписью первого листа. Открытие диалога простановки форматов, при установленном первом листе и включённом режиме «*Автонумерация*», приводит к размещению в файле последующих форматов, указанных пользователем.

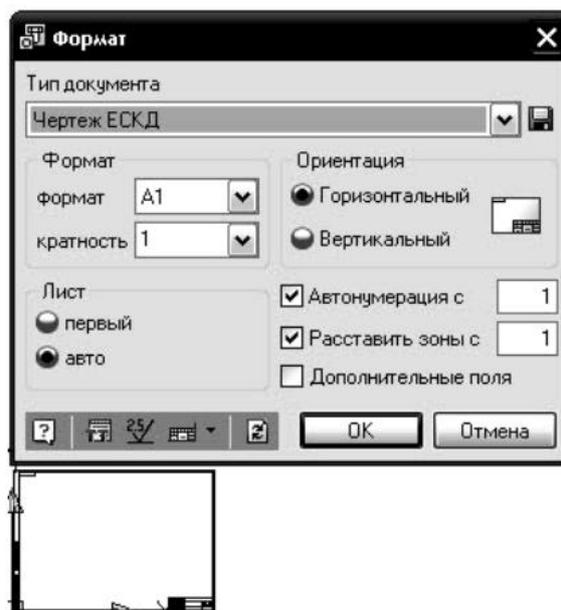


Рис. 4.2. Диалоговое окно «Формат»

Из выпадающего списка «*Формат*» выбирается стандартный размер листа.

Используя выпадающий список раздела «*Кратность*», можно отрисовывать дополнительные форматки чертежей предусмотренные ГОСТ 2.104-68. Информация о типе форматки проставляется в правом нижнем углу штампа (например, формат A4*3 и т.д.). После нажатия кнопки «ОК», в диалоговом окне «*Настройка формата*», укажите место вставки (базовая точка - левый нижний угол листа формата).

Для задания масштаба изображения (проставляется в штампе) нужно щёлкнуть по стрелке, направленной вниз, рядом с масштабом 1:1, и выбрать его величину из ниспадающего списка (рис. 4.3).

При вставке формата, пользователь может управлять отрисовкой зон на чертеже. При вставке последующих форматов автоматически отслеживается сквозная нумерация зон на всех листах путём указания на соответствующую икону диалогового окна. В том случае, если отключена опция «*Авто нумерация*» листов, имеется возможность указания первой зоны на чертеже.

Для редактирования штампа и дополнительных надписей достаточно дважды щёлкнуть по редактируемому элементу. Заполнение штампа можно делать непосредственно в диалоговом окне «*Основная надпись*» (рис. 4.3) или в таблице. Для заполнения штампа в таблице, щёлкните по кнопке «*Переключение режимов*», в левом нижнем углу диалогового окна «*Основная надпись*».

Для изменения размера уже вставленного формата, дважды щёлкните левой клавишей мыши по любой линии форматки, вызвав диалоговое окно

«*Формат*». Измените размер формата, его ориентацию или номер листа и нажмите на клавишу «*ОК*».

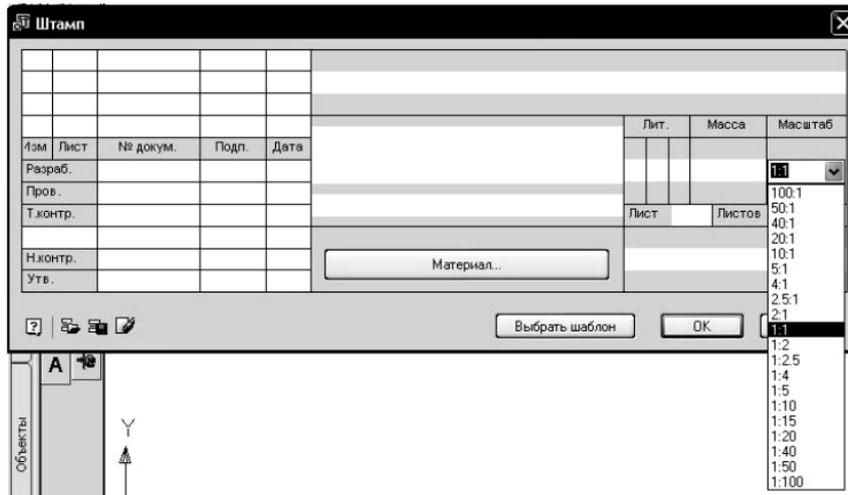


Рис. 4.3. Диалоговое окно «Основная надпись»

Все вставляемые штампы и форматки можно настроить по внутренним стандартам, ввести дополнительные поля для ввода. В директории «X (раздел диска, на котором установлен *MechaniCS*:/.../data/ Formats/Titles» находятся файлы-шаблоны основных и дополнительных штампов. Для изменения графического представления вставляемых форматок их следует отредактировать.

Вставка стандартных деталей из базы данных MechaniCS 8.1. Вставку стандартных деталей в чертёж рассмотрим на примере создания болтового соединения.

Команда «*Болтовые соединения*» позволяет отрисовать любое болтовое соединение заданием осевой линии, пересекающей скрепляемые детали. Вид соединения можно изменить в любое время - все изменения автоматически отражаются в спецификации. Типы применённых соединений можно накапливать в шаблонах для повторного применения. При задании длины винтовой части болта, динамически отслеживается не только её длина, но и длина резьбы ответной части - гайки.

Крепёжное соединение можно вставить на основании шаблона или создать новый шаблон крепления.

Команда простановки крепёжных соединений вызывается из главного меню AutoCAD: «*MechaniCS/Проектирование/Болтовое соединение*». Затем, указанием начальной и конечной точек, задаётся осевая линия крепёжного соединения. Для точной отрисовки ортогональных осевых линий включите режим «*Орто (ORTHO)*».

После указания осевой линии, появляется диалоговое окно «*Детали крепления*» (рис. 4.4). В левой части диалогового окна могут уже находиться

какие-либо шаблоны. Их можно просмотреть в графическом представлении, перейдя на закладку «*Просмотр*» и указывая мышкой в поле «*Список шаблонов*» имена проставленных шаблонов.

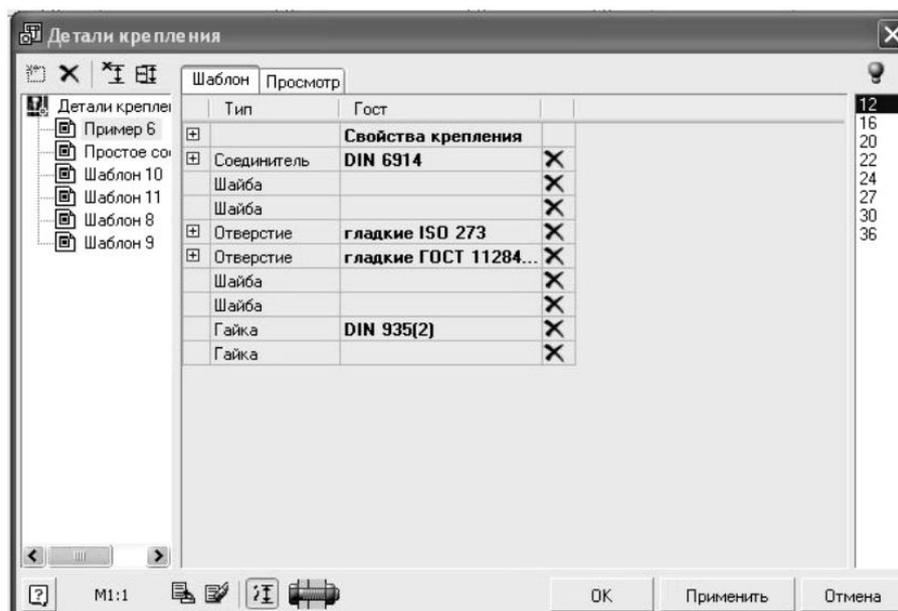


Рис. 4.4. Диалоговое окно «Детали крепления»

Для создания болтового соединения можно применить существующие шаблоны, либо создать новый, щёлкнув по пиктограмме «*Создать новый шаблон*».

В поле «*Свойства крепления*» выбираем необходимые детали соединения с необходимым диаметром. Длина соединителя (болта, винта) динамически отрисовывается на экране в зависимости от параметров в базе крепёжных соединений. При указании на кнопку «*Масштаб*», появляется диалоговое окно выбора масштаба из списка или указание на обозначение вида, разреза, сечения. По умолчанию масштаб берётся из основной надписи первого листа чертежа, если формат был проставлен. В противном случае, масштаб берётся равным 1:1.

При нажатии на кнопку, расположенную справа от обозначения компонента сборки, появляется возможность изменения выбранной ранее длины резьбовой части. При включённой опции «*Автоподбор*» можно просмотреть ближайший ряд длин для данного типоразмера соединения. Все поля длин недоступны для выбора и подсвечены серым цветом.

Любое проставленное крепёжное соединение редактируется двойным щелчком по нему левой клавиши мыши. Появляется диалоговое окно «*Детали крепления*». Указывая изменяемые элементы сборки, вызывается окно «*Выбор детали*» для замены элемента на другой. Для добавления новых компонентов в набор крепёжного соединения используется контекстное

меню. Содержание контекстного меню зависит от существующего набора и строки, на которой оно вызывается. Редактирование болтовой сборки можно производить путём редактирования объекта *«Болтовое соединение»*, либо путём редактирования отдельных деталей, входящих в болтовую сборку. При редактировании можно изменять состав, диаметр болтового соединения, а также параметры отдельных деталей, которые в него входят.

Щёлкнув по кнопке *«Выберите тип вставки»* в появившемся диалоговом окне *«Параметры сборки»* можно изменить способ отрисовки для всего шаблона: крепёжное соединение в разрезе со штриховкой, без штриховки, без отображения скрепляемой части соединения.

Созданное соединение возможно представить в различных проекциях. Для этого нужно выделить болтовое соединение рамкой, щёлкнуть по редактируемому соединению правой клавишей мыши и в диалоговом окне *«Детали крепления»* во вкладке *«Шаблон»*, строке *«Вид»* изменить проекцию. Можно сменить проекцию и другим способом. Выделив рамкой болтовое соединение, нажать правой клавишей мыши и в контекстном меню выбрать *«Добавить вид»*. При этом редактируемое соединение будет привязано к курсору (после того как его скопируем). Определим положение этого соединения в рабочем пространстве чертежа, нажмём правую клавишу мыши и в контекстном меню выберем необходимую проекцию. Таким же образом можно сменить представление соединения на чертеже; полное или упрощённое. Для этого необходимо выделить рамкой болтовое соединение, нажать правой клавишей мыши и в контекстном меню выбрать *«Сменить представление»*.

Элементы станочных приспособлений могут быть вставлены в чертёж путём выбора опции *«Стандартные»* в основной инструментальной панели MechaniCS 8.1 из раскрывающегося списка стандартных элементов.

Вставка обозначения неразъёмного соединения. Команда *«Неразъёмные соединения»* вызывается из основной инструментальной панели, щелчком по пиктограмме или выпадающего меню MechaniCS 8.1: *«MechaniCS/Символы/Неразъёмные соединения»*. После вызова команды в командной строке появляется сообщение: *«Command: Укажите место неразъёмного соединения»*. При подведении курсора к элементу поверхности, она автоматически подсвечивается зелёным цветом. Подтвердите выбор щелчком левой кнопки мыши. Укажите точку начала выносной полки обозначения и нажмите клавишу *«Enter»*. Откроется диалоговое окно *«Неразъёмные соединения»* (рис. 4.5). Параметры сварного шва вынесены на отдельную закладку *«Полное изображение»*. Все необходимые параметры задаются непосредственным вводом информации в поле *«Условное обозначение»*.

ние» или щелчком по дополнительным графическим элементам условного обозначения («Шов по контуру», «При монтаже»).

Для редактирования обозначения неразъёмного соединения необходимо дважды щёлкнуть по нему в поле чертежа. После этого откроется диалоговое окно «Неразъёмные соединения», в котором можно поменять любые параметры обозначения.

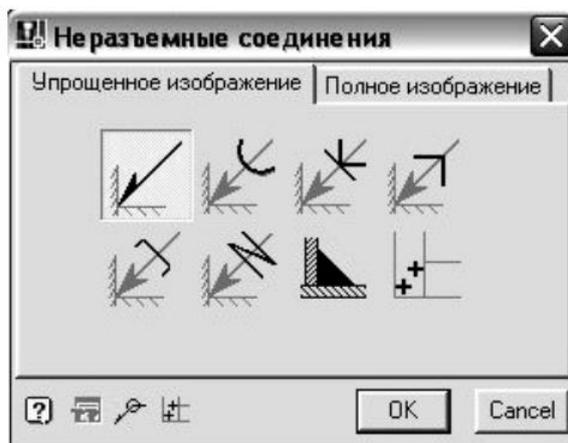


Рис. 4.5. Диалоговое окно «Неразъёмные соединения».

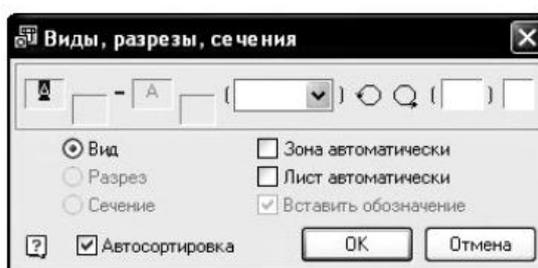


Рис. 4.6. Диалоговое окно «Виды, разрезы, сечения»

Простановка обозначения видов, разрезов и сечений.

Выбор команды простановки обозначения видов, разрезов и сечений осуществляется из основной инструментальной панели MechaniCS щелчком по пиктограмме «Виды, разрезы, сечения» или выпадающего меню MechaniCS 8.1: «MechaniCS/Символы/Виды, разрезы, сечения».

В случае, если указатель «Автосортировка» будет включён, то в дальнейшем расстановка буквенных обозначений видов, разрезов сечений будет производиться в соответствии с ГОСТ 2.316-68 «Правила нанесения на чертежах надписей технических требований и таблиц». В первую очередь обозначаются виды, затем разрезы, сечения. Для соблюдения правила автоматической сортировки необходимо задать принадлежность указанного обозначения к тому, или иному типу обозначения. Нажатие левой кнопкой по условному обозначению повернутого или развернутого изображения, разместит указанные символы в соответствующем месте относительно

изображения. После задания всех необходимых параметров, необходимо нажать на кнопку «ОК» и разместить условное обозначение на поле чертежа.

При вводе буквенного обозначения символ автоматически отображается в верхнем регистре (с большой буквы). Если для обозначения видов, разрезов сечений не хватает разрешенных букв алфавита, автоматически проставляются индексные символы « $A_1 \dots Я_1$ » и т.д.

Простановка размеров на чертеже

Простановка всех размеров в MechaniCS 8.1 осуществляется одной командой. При этом выбираемые объекты динамически подсвечиваются (по умолчанию) зелёным цветом. В качестве динамически выбираемых объектов выступают: отрезки, окружности, дуги, конечные точки объектов, узловые точки окружностей и дуг, точки пересечений. При указании на какой-либо примитив (линию, дугу или окружность) он подсвечивается полностью. Места пересечения объектов при подведении указателя мыши подсвечиваются зелёной точкой.

Простановка линейных, угловых и радиальных размеров не требует особых пояснений. Рассмотрим лишь простановку размерных цепей и автоматическую простановку размеров.

При простановке размерных цепочек в качестве базового элемента используется уже проставленный размер (одна из его выносных линий). Для простановки размерной цепи укажите на подсвечиваемую выносную линию и щёлкните левой клавишей мыши (точка P1). Появится динамическое изображение размера. Щёлкните правой клавишей мыши, для вызова контекстного меню. Выберите в нём опцию «В-База». Укажите точку P2 - размер проставлен.

Для автоматической простановки размеров необходимо щёлкнуть по пиктограмме «*Размеры*», вызвать контекстное меню щелчком правой кнопки мыши. Появится контекстное меню простановки группы размеров (автоматическое образмеривание детали). Укажите в нём строку «*G-групповой*». Укажите элементы чертежа для простановки размеров (при выборе можно использовать текущую рамку).

Простановка допусков формы и расположения. Для вызова команды щёлкните по пиктограмме «*Допуски формы и расположения поверхностей*» из инструментальной панели MechaniCS или выпадающего меню MechaniCS 8.1: «*MechaniCS/Символы/Допуски формы и расположения*». В командной строке появится приглашение «*Укажите точку на объекте*». Щёлкните левой клавишей мыши по динамически выбираемому элементу, задав начало для базовой стрелки. Укажите

положение рамки допуска и щёлкните левой клавишей мыши и затем правую клавишу, для завершения отрисовки выноски и перехода в диалоговое окно ввода параметров (рис. 4.7).

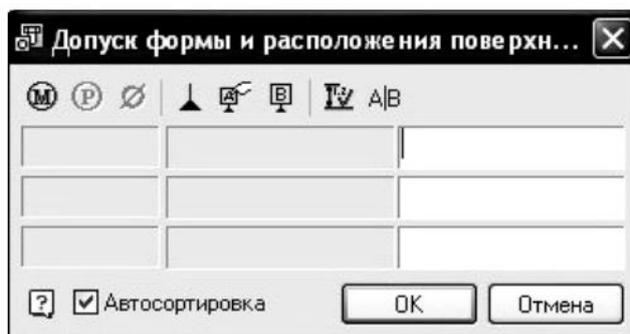


Рис. 4.7. Диалоговое окно «Допуски формы и расположения поверхностей»

Для выбора типа проставляемого допуска щёлкните по кнопке в левом верхнем углу диалогового окна «Допуски форм и расположения поверхностей». Выберите тип допуска и введите его числовое значение во втором поле. Все вводимые в диалоговом окне значения отображаются на чертеже. Нажмите клавишу «ОК» для завершения команды.

После выбора в диалоговом окне «Допуски формы и расположения» пиктограммы «Вставить обозначение базы», нужно указать на ранее проставленный символ базы на чертеже. Буквенное обозначение базы автоматически представится в текущем поле ввода. При связывании обозначения базы на чертеже курсор должен находиться в поле ввода обозначения базы. При вводе буквенного обозначения базы поддерживается режим автоматической простановки букв по алфавиту (режим автосортировка). Учитываются уже использованные буквы алфавита для обозначения видов, сечений, разрезов. При выборе базовой поверхности, графический элемент подсвечивается зелёным цветом. Выноска обозначения отрисовывается по нормали к примитиву.

При нажатии на кнопку «Установить базу», предлагается указать на примитив, для задания начала стрелки и затем стороны размещения обозначения базы. Для завершения отрисовки выносной линии нажмите «Enter» (или правую кнопку мыши) и закройте окно по клавише «ОК». Для простановки в обозначении нескольких баз, после связи с первым обозначением базы «А», введите после него символ «/» и укажите на следующий знак базы «Б».

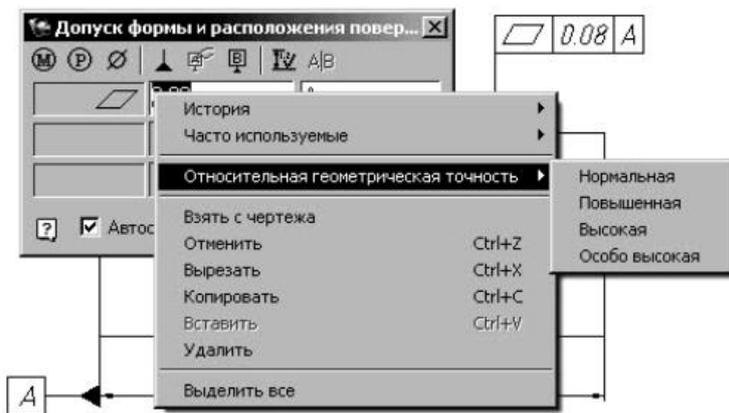


Рис. 4.8. Установка относительной геометрической точности

Соединительная линия может выходить из угла рамки или из середины её стороны. Для управления отображением этих элементов необходимо после вызова команды вызвать правой кнопкой мыши контекстное меню и указать строку «2-Стороны» или «3-Углы». При выборе в контекстном меню строки «5-База» на выноске отрисовывается символ треугольника.

В зависимости от качества указанного размера можно получить величину отклонения формы. Выберем тип отклонения. После щелчка по пиктограмме «Связь с размерами» укажем на размер с назначенным качеством. Наведём курсор на поле ввода величины отклонения и вызовем контекстное меню. В подменю строки «Относительная геометрическая точность» выберем нужную степень точности (рис. 4.8).

Простановка шероховатости поверхности. Для вызова команды используем выпадающее меню *MechaniCS 8.1*:

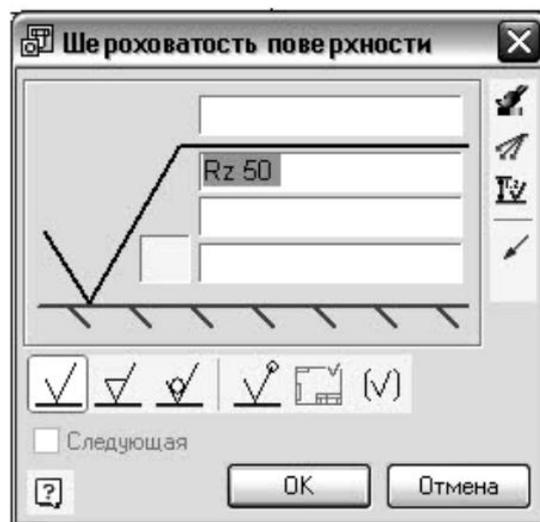


Рис. 4.9. Диалоговое окно «Шероховатость поверхности»

MechaniCS/Символы/Шероховатость/Шероховатость». В командной строке появится приглашение «Укажите размер и положение выноски». Щёлкните левой клавишей мыши и на запрос «Укажите положение знака

шероховатости на полке» задайте положение знака. После этого откроется диалоговое окно ввода параметров (рис. 4.9). При активации этой опции и нажатии на клавишу «OK» в диалоговом окне «*Шероховатость поверхности*» проставляется обозначение шероховатости с текущими значениями. В поле ввода через контекстное меню можно выбрать шероховатость из ряда.

При указании местоположения линии-выноски указанный отрезок подсвечивается (так же как, например, при нанесении размеров). Знак позиционируется по нормали к поверхности.

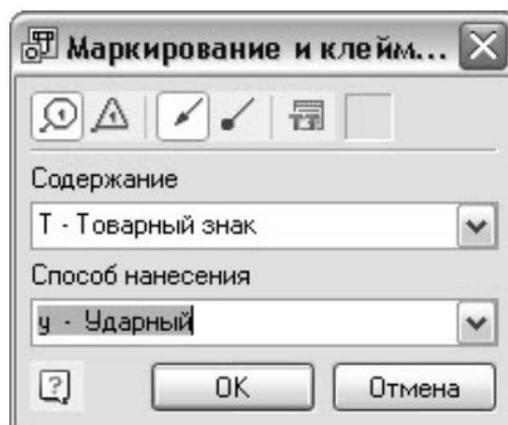


Рис. 4.10. Диалоговое окно «Маркирование и клеймение»

Для размещения знака без выноски нажмите клавишу «Пробел». Значение шероховатости можно задавать из контекстного меню. При этом активизируется возможность простановки неуказанной шероховатости и заключение знака в скобки.

Величину шероховатости можно задавать автоматически в зависимости от качества указанного размера. Для этого щёлкните по пиктограмме «*Зависит от размера*» в диалоговом окне «*Шероховатость*» и укажите на размер с проставленным качеством.

Простановка знаков маркирования и клеймения. Для вызова команды используем выпадающее меню MechanCS 8.1: «*MechaniCS/Символы/Маркирование и клеймение*». Когда задана первая точка, отрисовывается знак маркировки. Перед тем как указать положение знака, его можно настроить в контекстном меню, щёлкнув по правой клавише мыши. В контекстном меню можно задать вид выносной линии (стрелка или точка) и тип знака. Выбор параметров в контекстном меню сразу же отображается на экране.

Укажите местоположение знака. Появится диалоговое окно «*Маркирование и клеймение*» для задания параметров маркировки (рис. 4.10).

Простановка позиций на чертеже - шаг к созданию спецификаций.

Вся информация о детали находится в обозначении выноски.

Простановка позиции заключается в указании точек начала выносной линии и места размещения полки с номером позиции. В диалоговом окне «Редактор позиций» (рис. 4.11) задаётся раздел для текущей записи в соответствии с ГОСТ 2.106-68 «Текстовые документы» и заполняются необходимые поля.

При указании на элементы деталей крепления MechaniCS 8.1 распознаёт типоразмер деталей крепёжного соединения, без дополнительного указания его составляющих. Конструктору необходимо назначить конструктивные признаки (посадку, класс прочности, покрытие) стандартных деталей в зависимости от конкретных условий работы узла.

При оформлении спецификации сборочного чертежа механизма, можно установить динамическую связь с основной надписью компонента сборки внешнего DWG файла. Все изменения в штампе связанного чертежа под сборки (номера, массы узла) автоматически отразятся в общей спецификации.

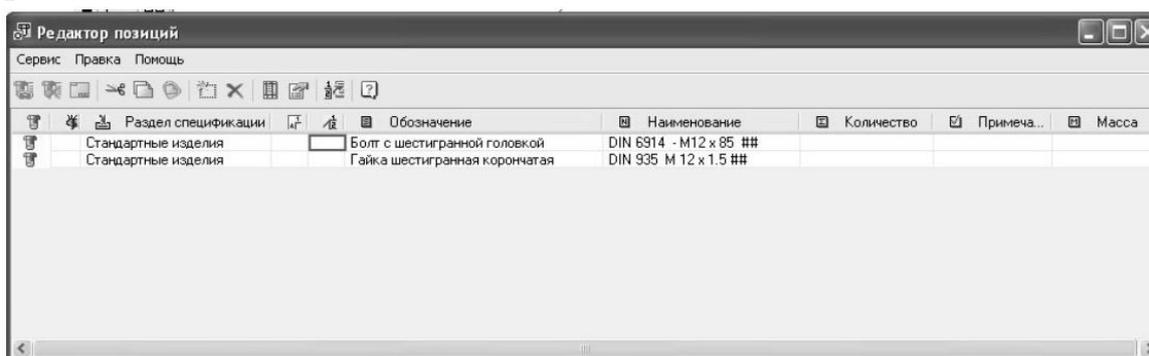


Рис. 4.11. Редактор позиций

Вызов диалогового окна редактора позиций возможен из выпадающего меню и из главной инструментальной панели, щелчком по пиктограмме «Позиция». После указания точки начала выноски позиции и размещения горизонтальной полки появляется диалоговое окно «Редактор позиций» (рис. 4.11).

Сделайте короткий двойной щелчок левой клавишей мыши в поле «Раздел спецификации». Из выпадающего списка выберите необходимый раздел, к которому относится данная деталь. После завершения заполнения полей, щёлкните по пиктограмме с обозначением крестика в правом верхнем углу диалогового окна, для выхода из команды. Вместо номера позиции предварительно ставиться символ «x». Закончить редактирование в редакторе позиций можно, нажав по клавише «ESC». Поля текущей записи можно заполнять по своему усмотрению. Переходить между полями можно с

помощью указания соответствующей клетки или клавишами «Tab» и «Shift+Tab».

Для простановки номеров позиций, щёлкните по пиктограмме «*Спецификация*». Эта пиктограмма находится в диалоговом окне «*Редактор спецификаций*» и в главной инструментальной панели MechaniCS 8.1.

Диалоговое окно «*Редактор спецификаций*» содержит следующие команды:

- расставить позиции (все символы «х» заменяются на соответствующие номера в спецификации);
- обновить (обновляет проставленные номера позиций, если они не были проставлены или изменились правила простановки номеров позиций);
- экспорт в Excel (переносит спецификацию в подготовленный шаблон таблицы Excel);
- экспорт спецификации в TechnologiCS;
- свойства (настройка правил нумерации позиций);
- найти на чертеже (масштабирует выбранную позицию по середине экрана), а также вырезания позиции, копирования позиции в буфер и вставку позиции из буфера, добавление и удаление записи, сортировку позиций.

В случае, если пользователь имеет в своём распоряжении установленную программу TechnologiCS, выбор номенклатуры стандартных изделий целесообразно проводить из базы данных предприятия для обеспечения целостности проекта и уменьшения номенклатуры использованного крепежа. При экспорте спецификации в программу TechnologiCS в базе данных стандартных, автоматически создаётся запись для данной позиции. При каждом последующем использовании данного типоразмера, по двойному щелчку в поле записи редактирования наименование, конструктору будет предложен выпадающий список для выбора ранее использованного крепежа.

MechniCS 8.1 позволяет динамически связать с чертежом какого - либо изделия внешние чертежи входящих в него узлов. Обязательным условием создания динамической записи с внешним файлом является необходимость заполнения основной надписи (штампа первого листа) в связываемом файле с использованием команды заполнения штампа MechaniCS. В главной инструментальной панели выбираем команду «*Позиция*». Указываем начальную точку выноски, затем полку позиции и видим диалоговое окно «*Редактор позиций*». Щёлкаем по пиктограмме «*Связать*» в окне редактора позиций. Открывается диалоговое окно «*Открыть*» в котором указываем DWG файл подборки. Поля: «*Наименование*», «*Обозначение*», «*Масса*» в основном штампе должны быть заполнены. Для разрыва связи позиции,

нанесённой на чертеже, с информацией хранящейся во внешнем файле, необходимо нажать на кнопку «Удаление связи» на панели инструментов в редакторе позиции. В этом случае вся информация, занесённая в текущую запись, остаётся неизменной и может быть отредактирована по усмотрению конструктора.

Создание спецификации. После завершения простановки позиций, используя команду «Спецификация», можно получить полностью готовый выходной документ. MechaniCS 8.1 позволяет вывести листы спецификаций в Excel или в пространство модели AutoCAD. Полученные листы спецификаций могут быть в дальнейшем переданы в приложение TechnologiCS для технической подготовки производства. База данных TechnologiCS поддерживается приложением MechaniCS 8.1 и наоборот.

Для сортировки позиций, перейдя в какой-либо раздел спецификации, вызовите контекстное меню правой кнопкой мыши и укажите строку «Отсортировать». После сортировки позиций обновите их с помощью команды «Обновить» или «Расставить позиции».

Для изменения порядка следования номеров позиций укажите кнопку «Свойства» в диалоговом окне «Редактор позиций».

Для экспортирования спецификации в программу TechnologiCS из меню «Сервис» необходимо выполнить команду «Вывести в чертёж» (рис. 4.12). Параметры «Наименование» и «Обозначение» берутся из основной надписи первого листа чертежа. Конструктор имеет возможность редактирования поля «Обозначение».

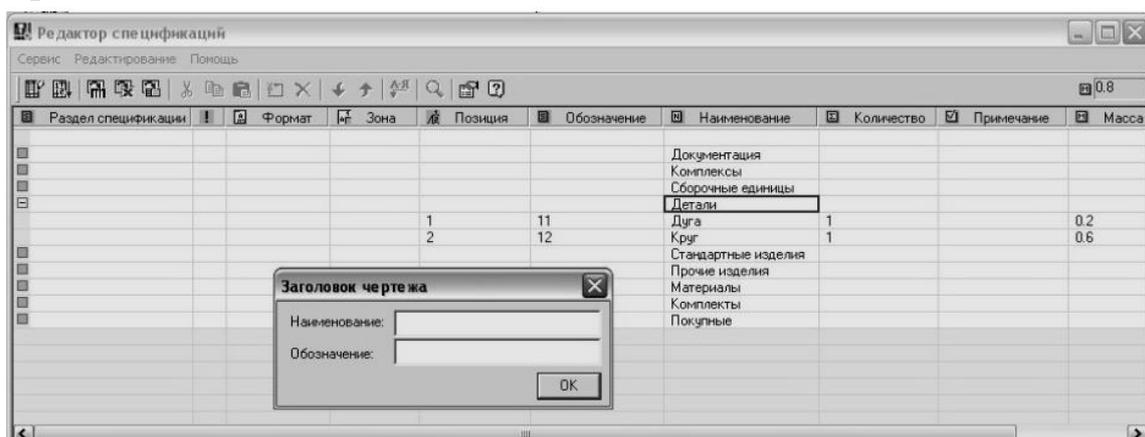


Рис. 4.12. Экспорт спецификации в программу Technologies

Спецификация передаётся в файл формата DBF. Структура файла полностью соответствует формату импорта спецификации программой Technologies. Использование Technologies даёт конструктору возможность ведение состава изделия, и использовать в работе номенклатуру стандартных изделий ранее использованных в производстве.

Размещение на чертеже технических требований. Отличительной особенностью MechaniCS является возможность связывания обозначения текстовой информации на чертеже с текстом в технических требованиях.

При написании пунктов технических требований (ТТ) можно сделать ссылку внутри предложения пункта технических требований на какую-либо позицию или проставленный вид.

В качестве текстовой информации выступают допуски и размеры, зоны чертежа, обозначения видов, разрезов, сечений, обозначения знаков маркировки, обозначения сварных соединений, позиции.

Изменение значения текстовой информации (допустим, номера позиции детали) повлечёт автоматическое изменение в тексте ТТ. Если данная позиция была удалена, появится предупреждение о необходимости проверки определённого пункта требований.

Связь между ТТ и обозначением работает и в обратном направлении. Изменение порядка следования пунктов требований (их нумерации) автоматически отражается в обозначении на чертеже (при простановке, например, знака маркировки, в обозначении которого стоит номер пункта из технических требований).

Технические требования на чертеже размещаются вызовом команды «MechaniCS Форматы/Тех.требования». Открывается диалоговое окно «Технические требования», в котором, щёлкнув правой клавишей мыши, можно открыть команды контекстного меню (рис. 4.13).

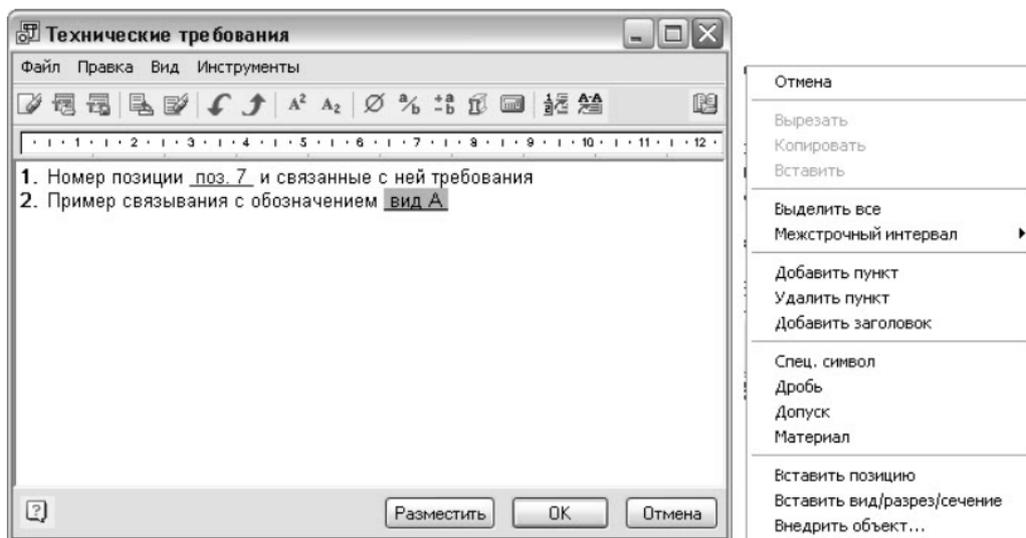


Рис. 4.13. Диалоговое окно «Технические требования».

В окно редактора можно загрузить внешний файл, формата RTF. В окне проводника найдите файл на диске и откройте его для редактирования. Документ, подготовленный в приложении MSOffice, можно сохранить в формате RTF, для передачи его в редактор технических требований. Данную

команду нельзя применять в случае, если уже написаны какие-либо технические требования. Написанные ранее пункты будут удалены.

Для автоматического размещения текста на чертеже щёлкните по клавише «ОК» в диалоговом окне. При отсутствии форматки в сеансе AutoCAD, текст размещается в нулевую координату 0,0.

В случае ручного размещения текста при нажатии клавиши «Разместить» в диалоговом окне «Редактор технических требований», пользователь может указать несколько рамок для размещения текста. Первая точка - левый верхний угол текста. Затем указать вторую точку рамки - правый нижний угол фрагмента размещаемого текста. При ручном размещении фрагментов текста на чертеже, опция «Разместить» автоматически завершает свою работу после указания необходимого количества столбцов текста. Столбцы текста можно переместить после разбиения в нужное положение.

Информацию из окна технических требований можно сохранить во внешний файл с расширением RTF. Используемые в редакторе специальные символы при передаче во внешний файл теряются.

Для вставки нового пункта технических требований воспользуйтесь комбинацией клавиш «Ctrl + Enter».

Для удаления какого-либо пункта требований, установите курсор в любое место пункта удаляемого текста. Воспользуйтесь комбинацией клавиш «Ctrl + Del» для удаления пункта технических требований.

Для перемещения пункта требований вниз установите курсор в любое место абзаца перемещаемого текста и щёлкните по пиктограмме стрелка вниз.

Для перемещения пункта требований вверх установите курсор в любое место абзаца перемещаемого текста и щёлкните по пиктограмме стрелка вверх.

Перед вводом текста в нужном регистре (в верхнем или нижнем) нажмите одну из предложенных пиктограмм. Для перехода к написанию обычного текста, щёлкните по пиктограмме «Обычный текст».

В технических требованиях довольно часто встречаются фразы, например: «... деталь поз. 42 (Зона 2С) шлифовать совместно с деталью поз. 44 (Зона 8D)». MechaniCS 8.1 позволяет связать фрагменты текста в технических требованиях с графическим представлением на чертеже (в данном случае - это номер позиции).

Для связывания номера позиции вызовите команду «Технические требования», если их нет на чертеже, или, если они есть, дважды щёлкните левой клавишей мыши по тексту технических требований для редакти-

рования. Появится окно «*Редактор технических требований*».

Для установления связи деталей, например позиции 21 и 22 с текстом в технических требованиях, установите курсор мыши в позицию, где должна стоять фраза «*дет.поз. 21*» и нажмите кнопку «*Вставить позицию*» (для установления). В появившемся окне выбора позиций, укажите необходимую деталь из списка предоставленных позиций. Завершите команду по клавише «ОК».

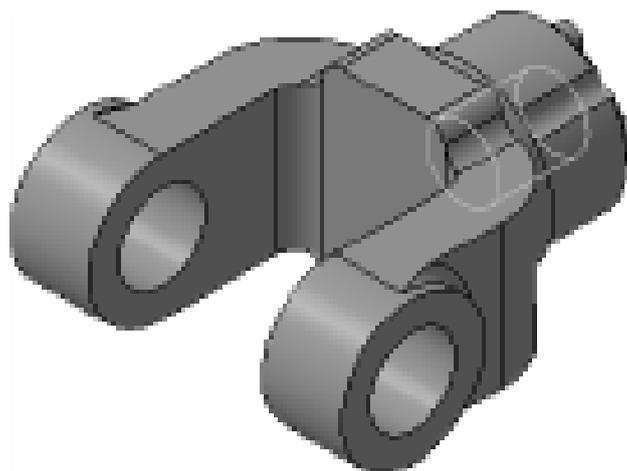
Аналогично алгоритму связывания пунктов позиций проводится связывание текста технических требований с обозначением видов, разрезов и сечений.

Для настройки параметров текста ТТ (высота и наклон шрифта, отступ от основной надписи и др.) вызовите диалоговое окно «*Настройка*». Работа с редактором технической характеристики аналогична работе с редактором ТТ. Основное отличие заключается в том, что набранный текст можно разместить в любом месте чертежа.

4.3. Программное обеспечение КОМПАС

Общие принципы моделирования. В системе КОМПАС 3D трехмерную модель можно построить с использованием двух технологий: моделирование твердых тел и поверхностное моделирование. Их совместное использование позволяет решать самые разнообразные конструкторские задачи.

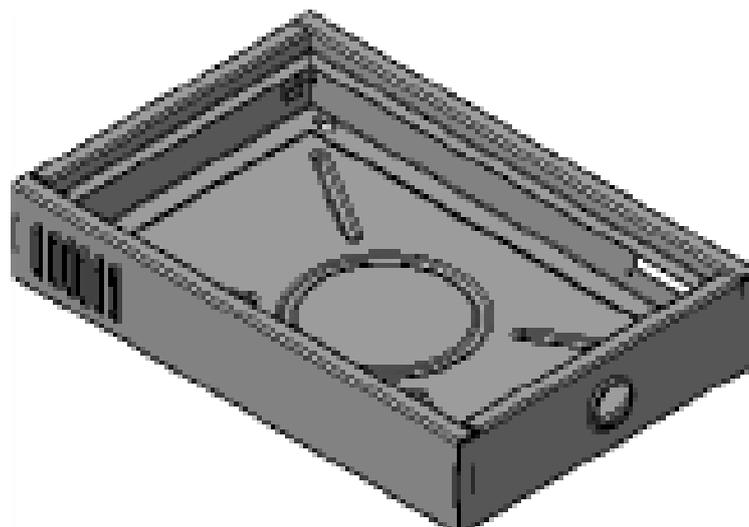
Построение трехмерной твердотельной модели заключается в последовательном выполнении операций объединения, вычитания и пересечения над простыми объемными элементами (призмы, цилиндры, пирамиды и т.д.), из которых и состоит большинство механических деталей. Многократно выполняя эти простые операции над различными объемными элементами, можно построить сложную модель.



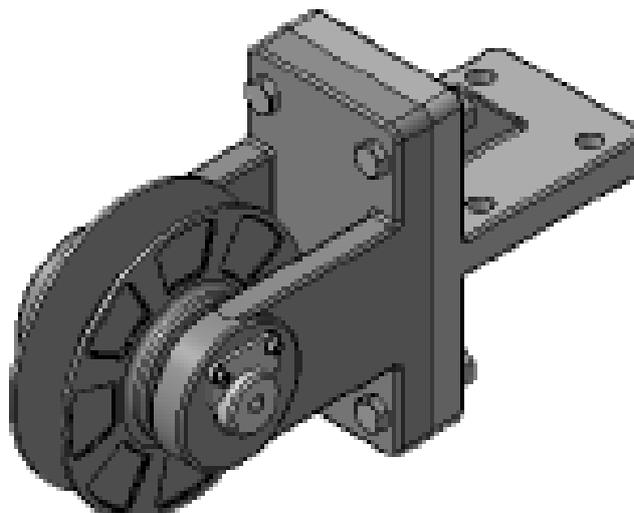
Технология поверхностного моделирования позволяет создавать изделия сложной формы. Поверхности можно создавать разными способами. Обычно вначале создаются пространственные сетки кривых, на основе которых формируются отдельные участки поверхности изделия. В процессе построения поверхности плавно сопрягаются друг с другом и сшиваются, образуя единую сложную поверхность.



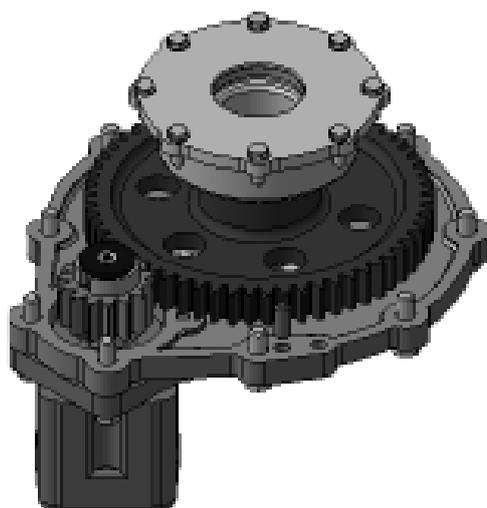
Поверхностной модели можно придать толщину, превратив ее в твердотельную модель. В таком случае принято говорить о гибридном моделировании. Особый вид моделирования представляют детали, изготавливаемые методом гибки из стального листа. Они создаются как твердые тела с помощью специальных команд для работы с листовыми деталями.



Трёхмерные сборки представляют собой модели, включающие в себя детали, под сборки и стандартные изделия. Сборки можно создавать методами проектирования "снизу вверх" и "сверху вниз". В первом случае вначале создаются отдельные компоненты, которые затем добавляются в сборку и точно позиционируются друг относительно друга с помощью специальных команд (сопряжений). Во втором случае компоненты сразу создаются на нужном месте в контексте сборки.



Дополнительные внешние модули (библиотеки) подключаются к системе по мере необходимости и обеспечивают решение прикладных задач - расчет и построение механических передач, анимация механизмов, построение трубопроводов, проектирование металлоконструкций и т.д.



Эскизы, контуры и операции

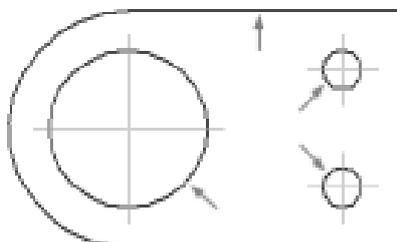
Для создания объемных элементов и самых простых поверхностей используется перемещение плоских фигур в пространстве. Плоская фигура, в результате перемещения которой образуется объемное тело или поверхность, называется эскизом, а само перемещение - операцией.

Эскизы

Эскиз может располагаться на одной из стандартных плоскостей проекций, на плоской грани созданного ранее элемента или поверхности) или на вспомогательной плоскости. Эскизы создаются средствами модуля плоского черчения и состоят из одного или нескольких контуров.

Контур - одно из основных понятий при описании эскиза. При построении эскиза под контуром понимается графический объект (отрезок, дуга, сплайн, прямоугольник и т.д.) или совокупность последовательно соединенных графических объектов.

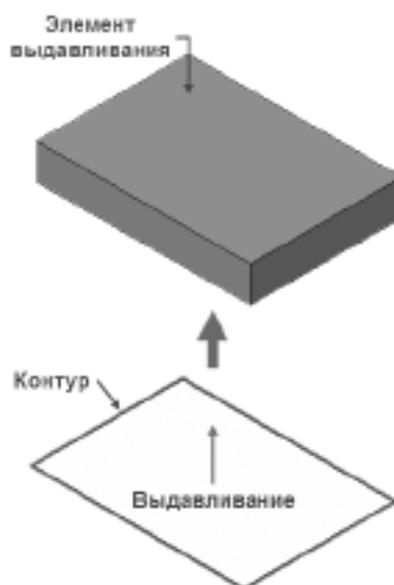
Например, в таком эскизе - 4 контура



Операции

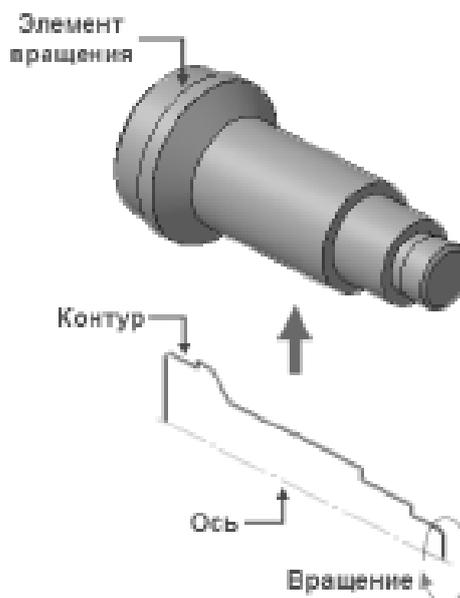
Система КОМПАС 3D располагает разнообразными операциями для построения объемных элементов и поверхностей, четыре из которых считаются базовыми.

Операция выдавливания - выдавливание эскиза перпендикулярно его плоскости.

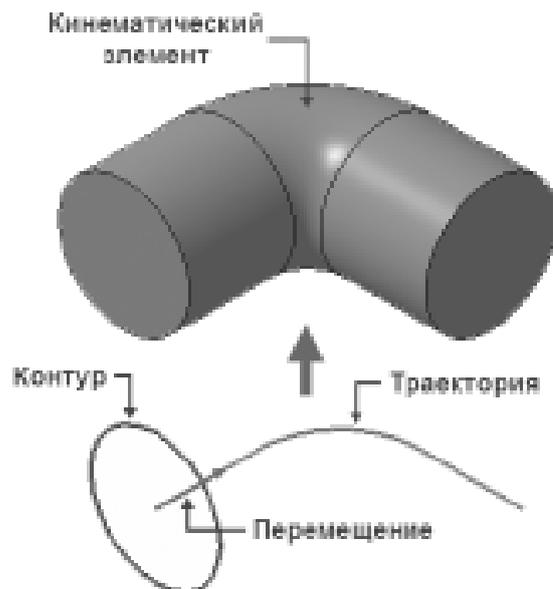


Операция вращения - вращение эскиза вокруг оси, лежащей в его плоскости.

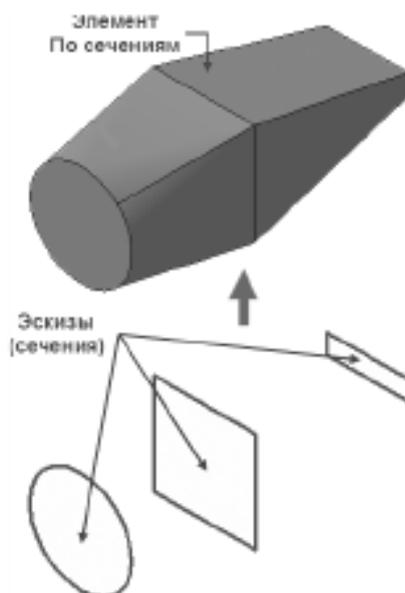
Эскиз тела вращения состоит из одного или нескольких контуров со стилем линии Основная и оси вращения в виде отрезка со стилем линии Осевая. Ни один из контуров не должен пересекать ось вращения или ее продолжение.



Кинематическая операция - перемещение эскиза вдоль направляющей.



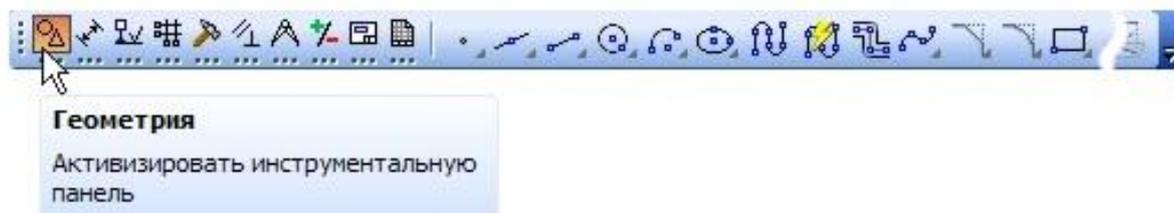
Операция по сечениям - построение объемного элемента или плоскости по нескольким эскизам (сечениям). Операции имеют дополнительные возможности (опции), которые позволяют изменять или уточнять правила построения объемного элемента.



Интерфейс системы (то есть набор меню, панелей и их состав) в значительной степени определяется типом активного документа. Например, при работе со спецификацией или с текстовым документом на экране не показываются панели, отвечающие за черчение, редактирование и оформление графических документов.

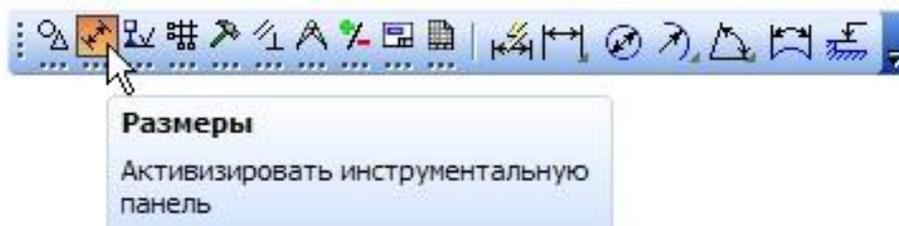
1. *Панель Геометрия*

При работе с графическими документами на Панели переключения по умолчанию активна кнопка Геометрия и открыта одноименная инструментальная панель. На этой панели расположены команды, с помощью которых можно создавать графические объекты: точки, вспомогательные прямые, отрезки, окружности и т.д.



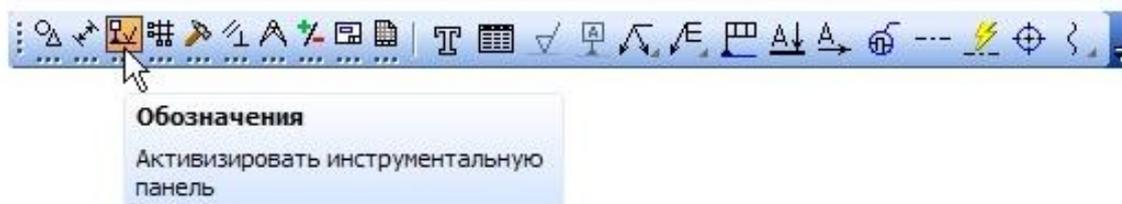
2. *Панель Размеры*

На панели Размеры расположены команды, с помощью которых в графических документах можно проставлять размеры: линейные, диаметральные, радиальные и т.д.



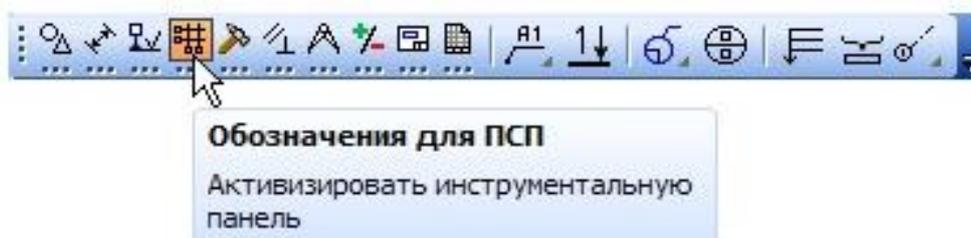
3. *Панель Обозначения*

На панели Обозначения расположены кнопки команд, позволяющих оформить графический документ: сделать текстовые надписи, создать таблицы, проставить знаки шероховатости поверхностей, обозначения баз и т.д.



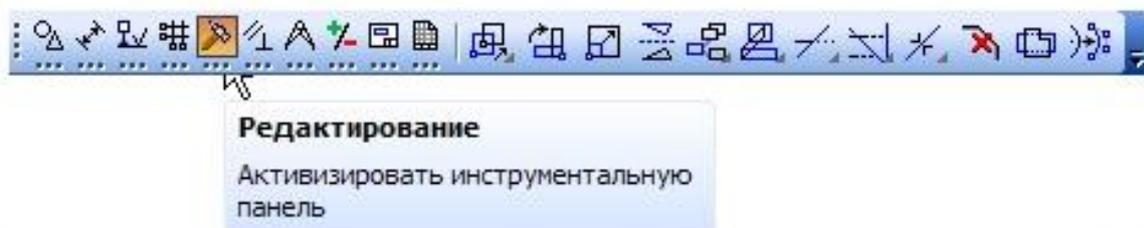
4. *Панель Обозначения для ПСП*

На панели Обозначения для ПСП расположены кнопки дополнительных команд, которые используются при оформлении строительных чертежей.



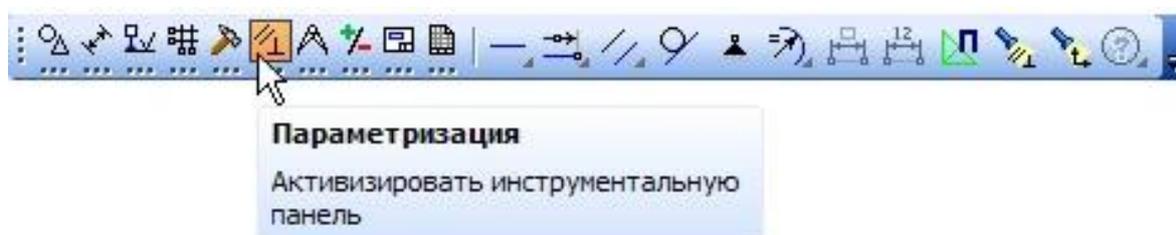
5. *Панель Редактирование*

Команды инструментальной панели Редактирование позволяют изменять графическое изображение: перемещать, вращать, копировать, делать зеркальные копии и т.д.



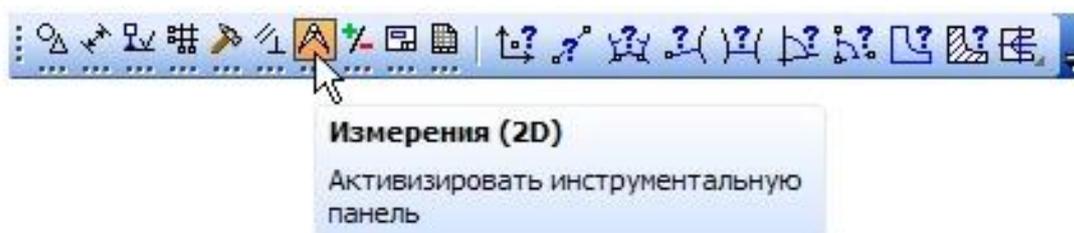
6. *Панель Параметризация*

Команды инструментальной панели Параметризация используются в параметрическом режиме черчения. Этот специальный режим не рассматривается в данном учебнике. О нем подробно рассказано в документе Азбука КОМПАС-3D.



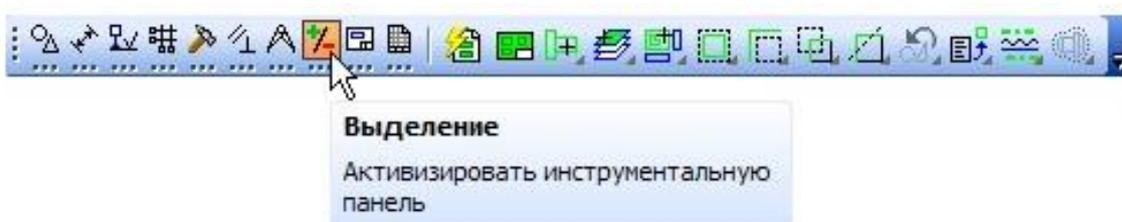
7. *Панель Измерения (2D)*

Команды панели Измерения (2D) выполняют различные сервисные функции: измеряют координаты точек, расстояния между точками, углы наклона отрезков, площади, периметры и т.д.



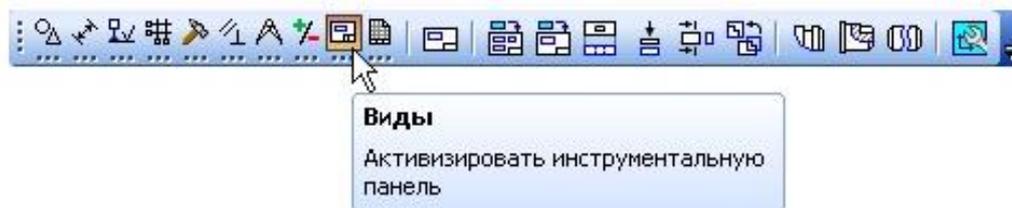
8. *Панель Выделение*

В системе КОМПАС-График действует следующее правило: прежде чем выполнить над объектом операцию редактирования (удалить, переместить и т.д.), его необходимо выделить. На панели Выделение представлены различные команды выделения объектов.



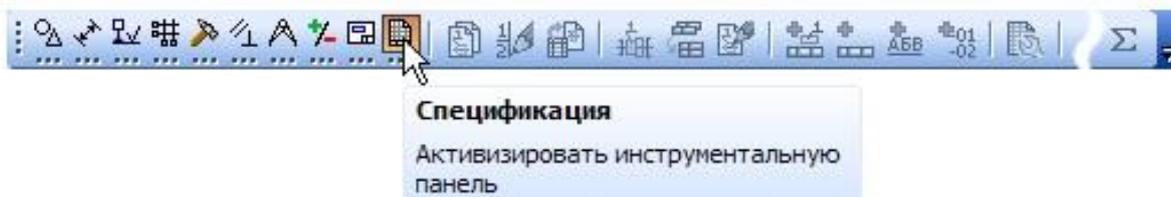
9. *Панель Виды*

Команды панели Виды используются при автоматическом создании чертежей при наличии трехмерной модели и практически не используются в ручном режиме.



10. Панель Спецификация

Команды панели Спецификация используются в режиме создания спецификаций.



11. Дерево модели

Дерево модели - это графическое представление набора объектов, составляющих модель. Корневой объект Древа - сама модель, т.е. деталь или сборка. Пиктограммы объектов автоматически возникают в Дереве модели сразу после создания этих объектов в модели. В окне Древа отображается либо последовательность построения модели (слева), либо ее структура (справа). Способом представления информации можно управлять с помощью кнопки Отображение структуры модели на Панели управления.

4.4. Программное обеспечение NX (UNIGRAPHICS)

NX запустить программу и создать двумерные рисунки. Прежде чем начать выполнять различные построения, необходимо познакомиться с несколькими типовыми функциями, с которыми мы встретимся во всех модулях Unigraphics. По своему назначению эти функции являются вспомогательными; они не работают сами по себе, а вызываются для обслуживания других, основных функций. Такими вспомогательными функциями являются: функции выбора объектов Class Selection, функции определения точки, вектора, плоскости, системы координат.

Многие функции в различных модулях, например ObjectDisplay, Blank, Delete, Transform, Information, Attribute, Move/CopytoLayer и др., начинаются с выбора объектов, над которыми будет выполнена желаемая операция. Выбор объектов может производиться по имени объекта, с использованием фильтров, в определенном регионе. Можно выбрать сборку по одному ее

компоненту, произвести выбор всех объектов по установленному фильтру или только оставшихся объектов, выбрать связанные в цепочку объекты.

При выборе объектов в строке состояния выводится информация об объектах. В ней указываются их имена, типы и общее количество выбранных объектов. Если выбираются копированные объекты, выводится информация о том, какие это объекты: старые или более новые.

Функция определения точки Point Const- Constructor обеспечивает стандартный способ задания точек, применяемый при работе со всеми модулями Unigraphics. Эта функция позволяет создавать объекты-точки и указывать позиции в трехмерном пространстве.

Диалоговое окно Point Constructor позволяет выбрать точку одним из методов, представленных в виде иконок, или ввести координаты в абсолютной или в рабочей системе координат. Также можно использовать режим построения точки относительно ссылочной точки.

Смещение относительно ссылочной точки может рассчитываться в прямоугольной, цилиндрической, сферической системе координат, по вектору и вдоль кривой. Для быстрого обнуления значений полей координат используется кнопка Reset.

Функция Vector Constructor используется для определения направления (построения единичного вектора). Единичные векторы имеют только компоненты, задающие направление; начальная точка и длина вектора не сохраняются. Эта функция используется во многих приложениях системы.

В диалоговом окне выделена область задания единичного вектора различными методами, представленными с помощью иконок. Можно работать также в декартовой (по компонентам I, J, K) или сферической (по компонентам Phi и Theta) системе координат.

Внизу окна после задания вектора активизируется опция Cycle Vector Direction, которая циклически меняет направление вектора, показывая все доступные варианты направлений.

Функция Plane предназначена для задания плоскости. Ее диалоговое окно отличается от окон задания точки и вектора. Оно представляет собой набор различных способов задания плоскости:

- Three Points - по трем заданным точкам
- Two Lines - по двум прямым
- Point, Perpendicular Curve - перпендикулярно кривой и через точку
- Plane of Curve - совпадение с плоскостью кривой
- Plane of WCS - плоскость рабочей системы координат
- Plane of CSYS - плоскость XY существующей системы координат
- Principal Plane - выбор из набора базовых плоскостей

- Existing Plane - существующая плоскость
- Two Tangent Faces - касательно к поверхностям базовых тел
- Point, Tangent Face - через точку и касательно к поверхности тела
- Coefficients - задание аналитического уравнения плоскости с помощью

коэффициентов A, B, C, D

- Parallel Through Point - параллельно заданной плоскости и через точку
- Parallel at Distance - параллельно заданной плоскости и на определенном

расстоянии с указанной стороны

- Perpendicular, Through Line - через прямую и перпендикулярно заданной плоскости

Функция CSYS Constructor позволяет создавать ассоциативные системы координат. Диалоговое окно этой функции содержит панель с иконками различных способов определения системы координат.

Способы задания системы координат могут быть следующими:

- Three Points - тремя точками
- Two Vectors - двумя векторами
- Point, Two Vectors - точкой и двумя векторами
- X Point and a Z-Axis - точкой на оси X и направлением оси Z
- CSYS of Object - на основе системы координат выбранного объекта
- Through Point, Perpendicular to Curve - через точку и перпендикулярно кривой
- Plane and Vector - плоскостью и вектором
- Three Planes - тремя выбранными точками
- Offset from CSYS - смещением по осям X, Y, Z относительно выбранной системы координат

- Absolute CSYS - по абсолютной системе координат

- CSYS of Current View - на базе системы координат текущего вида

В основе большинства геометрических элементов трехмерной модели лежит плоский эскиз, который, вытягиваясь в пространство по определенному закону, формирует объемную геометрию.

Процесс создания эскиза включает в себя выбор эскизной плоскости, ориентацию, создание эскизной геометрии, затем создание размеров и наложение на эту геометрию ограничений (Geometric Constraints).

Эскизы можно использовать для следующих целей:

- профиль или типовое сечение вашей конструкции;
- формирование элементов деталей путем заметания, вытягивания или вращения контура эскиза с образованием твердого или листового тела;

- создание двухмерных компоновок концы при и большого масштаба, которые могут содержать сотни или даже тысячи кривых эскиза;
- построение конструктивных геометрических элементов, таких как траектория движения или дуга зазора, которые не будут использоваться для построения элемента детали.



Создавать эскизы можно на основе любого существующего плоского объекта, а также на кривой. В последнем случае в точке кривой, где будет привязан эскиз, система создаст плоскость, расположенную по нормали к кривой. Данный тип расположения эскизов используется для создания тел протягиванием эскиза вдоль траектории.

Панель инструментов Прямой эскиз (Sketch) и Среда эскиза (Sketch in Task Environment) позволяют создавать и изменять эскизы двумя способами.

Siemens PLM Software рекомендует следующее.

С помощью панели инструментов Прямой эскиз можно выполнить следующие действия:

- создать или изменить эскиз в приложениях Моделирование, Модуль проектирования форм или Листовой металл.
- посмотреть в режиме реального времени, как изменение эскиза влияет на модель.

Используйте Среда эскиза для выполнения следующих действий:

- изменение внутреннего эскиза;
- эксперименты с изменениями эскиза с возможностью отменить изменения;
- создание эскиза в других приложениях.

Создание эскиза

Диалоговое окно Создать эскиз (Create Sketch) Используйте команду Прямойэскиз(Sketch), чтобы задать плоскость, ориентацию и начало координат эскиза. Эту команду можно найти: Вставка >Эскиз...(Insert>Sketch...) или на панели инструментов Прямойэскиз (Direct Sketch). Но можно, просто выбрать на этой панели команду рисования какого-либо двумерного объекта, и начать его рисовать на любой плоской

грани тела или плоскости. В этом случае направление системы координат и её начало будут приняты по умолчанию.

В нем можно выбрать:

Тип (Type):

На плоскости. Позволяет расположить ваш эскиз на существующей плоскости или грани или на новой плоскости или СК.

По траектории. Помещает эскиз по траектории, создавая ввод для команд типа Переменное замечание.

Плоскость эскиза:

Метод плоскости

Контекстный. Позволяет выбрать плоскость или плоскую грань, которая появляется перед эскизом в порядке построения. Эта опция настраивает ориентацию эскиза и начало координат.

Существующая плоскость. Позволяет выбрать плоскость или плоскую грань, которая появляется перед эскизом в порядке построения. Эта опция требует от вас выбрать ориентацию эскиза и начало координат.

Создание плоскости. Позволяет задать плоскость с помощью диалогового окна Плоскость или списка Контекстный. Создать ассоциативную СК. Позволяет создать новую ассоциативную СК.

Ориентация эскиза:

Ссылка. Задаёт горизонтальное или вертикальное ссылочное направление на эскизе.

Выберите ссылку. Задаёт горизонтальную или вертикальную ссылку для эскиза. Любое горизонтальное или вертикальное ограничение, которое вы добавляете в эскиз, ориентируется по этому ссылочному направлению. Если это возможно, система NX наследует ссылочное направление у выбранной грани или плоскости. Чтобы изменить контекстное направление, выберите соответствующее ребро, координатную ось, координатную плоскость или грань.

Начало эскиза:

Задать точку. Задаёт положение начальной точки нового эскиза. Если вы не задали точку, система NX наследует начальную точку эскиза из ближайшей контрольной конечной точки выбранной плоскости или плоской грани.

Настройки:

Создать промежуточную базовую СК. Автоматически создаёт промежуточную базовую СК во время создания или перепривязки эскиза.

Выберите эту опцию для ассоциации промежуточной базовой СК и базового элемента, используемого для создания эскиза. Эта опция также

обеспечивает независимость эскиза, поэтому если вы удалите базовый элемент, то эскиз сохранится.

Ассоциативное начало. Доступно только тогда, когда выбрана опция Создать промежуточную базовую СК. Связывает начало эскиза с выбранным объектом. Проецировать от начала рабочей детали. Наследует начальную точку эскиза изначальной точки рабочей детали. Используйте эту опцию для создания эскиза в абсолютной системе координат. Текущая плоскость эскиза должна быть параллельна на одной из трех основных плоскостей. Опция Начало эскиза не применяется в режиме "Эскиз на траектории".

Основные инструменты эскиза.

После ввода всех необходимых данных можно приступить к созданию геометрии в эскизе. Необходимые инструменты можно найти Вставить>Кривая>... (Insert > Sketch Curve > ...).

Ниже перечислены основные из них:

Используйте команду **Профиль** для создания серии связанных линий и/или дуг в режиме цепочки. В режиме **цепочки** конец предыдущей кривой является началом следующей кривой.

Используйте команду **Отрезок** для создания прямых с логическим ограничением.

Используйте команду **Дуга**, чтобы создать дугу следующими двумя способами.

- Путем указания начальной, конечной точек и радиуса дуги.
- Путем указания центра дуги, начальной и конечной точек.

Используйте команду **Окружность** для создания окружностей следующими двумя способами.

- Центральная точка и диаметр
- Две точки на окружности и диаметр

Когда вы плавно соединяете окружность с другими элементами, вы можете сделать ее касательной ко всем типам кривых и ребер, если включено ограничение Касательно в команде Контекстные ограничения и размеры.

Используйте команду **Прямоугольник** для создания прямоугольника одним из следующих трех способов.

По двум точкам. Прямоугольник строится по двум точкам диагонали. Стороны прямоугольника параллельны осям ХС и УС эскиза.

По трем точкам. Прямоугольник строится по начальной точке и двум точкам, которые определяют ширину, высоту и угол. Прямоугольник может быть расположен под любым углом к осям ХС и УС.

От центра. Прямоугольник строится по точке центра, второй точке, которая определяет угол и ширину, и по третьей точке, которая определяет высоту.

Прямоугольник может быть расположен под любым углом к осям ХС и УС.

Используйте команду **Многоугольник** для создания многоугольника, настроив следующие параметры.

- Центральная точка
- Число сторон
- Радиус
- Угол вращения

Многоугольники могут быть созданы следующими способами.

- Вписанный радиус
- Описанный радиус
- Сторона многоугольника

Используйте команду **Сплайн** студии для динамического создания сплайна на основе точек или полюсов. Функции построения сплайна в основном соответствуют описанию построения в разделе Сплайн студии в справочнике по моделированию со следующими исключениями:

- здесь отсутствует опция Ассоциативно;
- степень сплайна по умолчанию равна 3.

Используйте команду **Аппроксимированный сплайн** для создания сплайна путем его фитинга по заданным точкам.

Используйте команду **Точка эскиза** для создания точек на эскизе.

Используйте команду **Кривая смещения** для смещения цепочки кривых, проецированных кривых или кривых и ребер в текущей сборке и для установки для геометрии ограничения Смещение. Эскиз определяет исходные и смещенные цепочки как символы в графическом окне и выборочно создает размер смещения между базой и цепочкой. Вы можете оставить концы цепочки свободным или зафиксировать их с помощью опции

Ограничение на конце. Вы можете также разделять и объединять исходные цепочки. Команда **Проецировать** кривую позволяет проецировать внешние кривые, ребра или точки эскиза на эскиз вдоль нормали плоскости эскиза.

Вы можете:

- Вы можете создать как ассоциативную, так и не ассоциативную проекцию кривой на эскиз.

Создайте не ассоциативные кривые или ребра проекции из другой части сборки.

Создайте ограничения между спроецированными и не спроецированными кривыми. Не спроецированные кривые могут перемещаться в зависимости от ограничений эскиза, а спроецированные кривые всегда имеют фиксированное положение.

Изменяйте, удаляйте или заменяйте кривые, спроецированные на эскиз.

Используйте команду **Быстрая обрезка** для обрезки кривой до ближайшего физического или виртуального пересечения в одном из двух направлений. Вы можете выполнить следующие действия.

Провести курсором над кривой, чтобы увидеть предварительное изображение обрезки.

Выберите отдельные кривые для обрезки.

Удерживая левую кнопку мыши нажатой, перетащите курсор по нескольким кривым, чтобы одновременно обрезать их. Обрезка кривой, которая не имеет пересечений, приводит к ее удалению.

Размеры. С помощью размеров эскиза можно задать следующие параметры:

размер объекта эскиза;

зависимости между двумя объектами в эскизе;

зависимости между двумя эскизами;

зависимости между эскизом и другим элементом.

Размеры эскиза отображаются в виде чертежных размеров: они включают текст размера, линии выноски и стрелки. Тем не менее, размеры эскиза отличаются от чертежных размеров, поскольку можно изменить значение размера. Это позволяет управлять элементом, производным от эскиза. Размеры эскиза также создают выражения, которые можно изменять в диалоговом окне.

Выражения. Если выражение имеет значение 0, перпендикулярные, горизонтальные, вертикальные и угловые размеры сохраняют свое направление. Если для этих типов размеров ввести отрицательные значения, то будут получены те же результаты, что и при использовании команды **Альтернативное решение**. Более подробно создание размеров будет рассмотрено на конкретном примере.

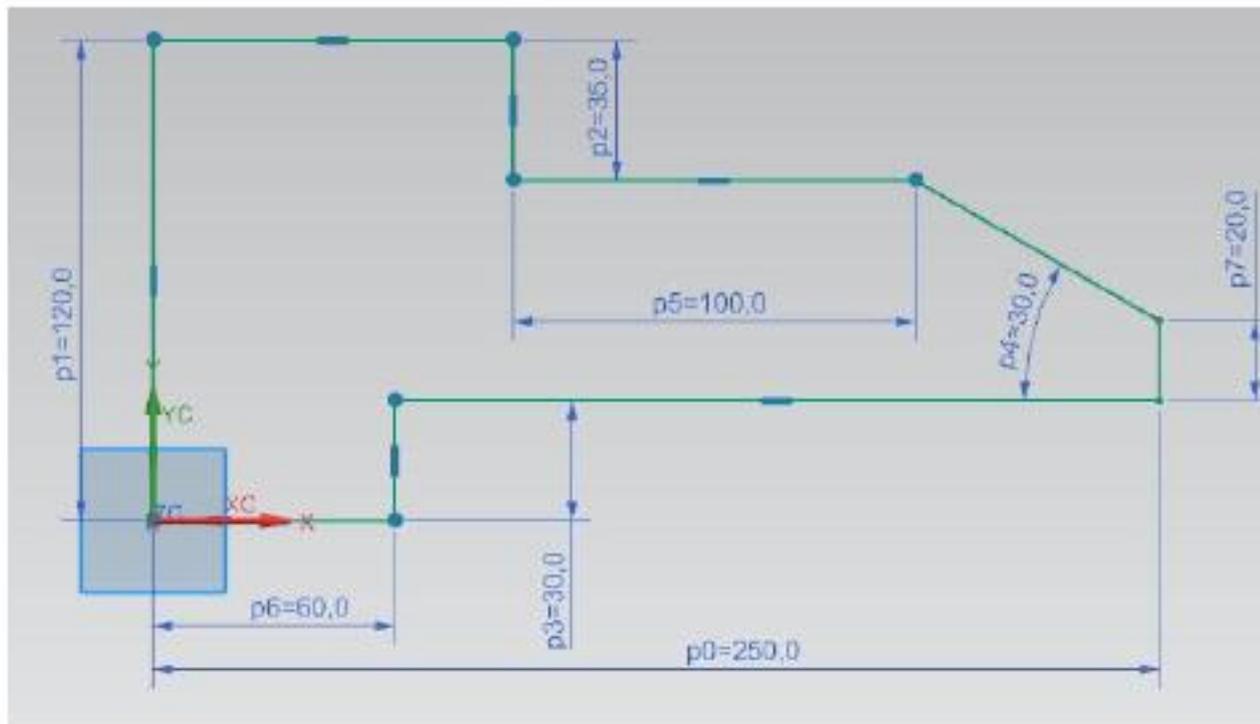


Рис. 4.14. Эскиз, построенный на плоскости

Ограничения. Используйте команду Ограничения для добавления геометрических ограничений к геометрии эскиза. Эти ограничения задают и поддерживают условия для геометрии эскиза или между эскизами. С помощью ограничений можно выполнять следующие действия:

- придать прямой вертикальное или горизонтальное положение;
- гарантировать параллельность нескольких прямых друг другу;
- придать нескольким дугам одинаковый радиус;
- позиционировать эскиз на месте или относительно внешних объектов.

Более подробно создание ограничений будет рассмотрено на конкретном примере.

В главном меню выбираем **Insert > Sketch** или из панели инструментов иконку

Sketch. В строке подсказки появилась надпись: **Choose Create to create a sketch** (Выберите опцию «Создать» для создания эскиза). Следуем этому руководству и выбираем данную опцию. В появившемся меню предлагается в качестве плоскости эскиза выбрать любую координатную плоскость. Выбираем плоскость X-Y текущей системы координат. Дадим эскизу имя **CORE** (Сердечник).

Теперь все иконки в окне **Sketch Tools** стали цветными (активизировались). На экране появились автоматически созданные объекты: одна **Datum Plane** (Плоскость назначения) и две **Datum Axis** (Ось назначения). С помощью видовой функции **Pan** (щелчком по правой кнопке мыши или

вызвав из панели инструментов иконку) передвинем вид в удобное для нас место графического окна. Затем можно приступить к эскизным построениям. Первым делом необходимо добавить в эскиз уже созданную кривую. Воспользуемся функцией Add Extracted Curve to Sketch, выбираем кривую.

Перенесем первоначальную кривую на слой 2, который имеет статус «невидимый». Для этого, не выходя из работы с эскизом, воспользуемся функцией Edit -> Object Display (или иконкой Появится типовая функция выбора объекта. Вызываем опцию Type. В меню выбора по типу объектов отмечаем Curve. ОК. В графическом окне указываем кривую. Появляется иконка перечисления выбранных объектов. При выбранном первом объекте в строке состояния появляется сообщение Spline: SI (newer). При выбранном втором объекте - сообщение Spline (older).

Подтверждаем выбор второго объекта. В строке состояния появляется сообщение: Spline selected.

В окне Edit Object Display в строку Layer заносим 2 - номер слоя, на котором теперь будет находиться первоначальная кривая. Выполним оставшиеся построения элементов сечения сердечника. В окне меню Sketch Tools на панели Curve Construction выбираем иконку Basic Curves. Выбираем тип построения Line и при включенном режиме String Mode (построение цепочкой без разрывов), начиная с верхней границы кривой, осуществляем приблизительное построение сечения.

По завершении построения нажимаем клавишу Break String. Получили замкнутый профиль. Cancel При построении курсором указывались положения граничных точек отрезков. При этом, если отклонения от вертикали или горизонтали составляли меньше допустимого значения угла, на такие отрезки автоматически назначались условия вертикальности или горизонтальности. Значение допустимого угла отклонения устанавливается в настройке эскиза: Preferences Sketch, строка Snap Angle. Здесь же устанавливается число знаков после запятой в размерах на эскизе, высота текста в этих размерах и некоторые другие значения.

Определение геометрических зависимостей в эскизе. Следующим действием будет задание геометрических условий для элементов построенного сечения. Выбираем в меню Sketch Tools опцию Constraints, а в появившемся меню - иконку Geometric. Теперь выбираем отрезки, которые должны быть горизонтальными (не будем выбирать только отрезок, отходящий от нижней границы кривой). Нужно выбрать отрезки, на которые данное условие не было наложено автоматически, но ничего страшного не произойдет, если в наш выбор попадут и такие отрезки. В окне появится перечень допустимых геометрических условий для выбранных объектов.

Выберем условие *Horizontal* и для его применения нажмем *Apply*. Аналогично выполняется назначение условия вертикальности на соответствующие элементы сечения. Назначим условие касания замыкающего отрезка к кривой в граничной точке. Выбираем этот отрезок и выбираем кривую. В появившемся меню выбираем *Accept Extracted Curve*. В окне меню *Constraints* выбираем единственное предлагаемое условие *Tangent*. *Apply*.

Надо сказать, что назначение данного условия не было обязательным - можно было обойтись условием горизонтальности замыкающего отрезка. Поскольку при построении кривой были заданы условия наклона касательной в граничных точках, сочетание этих условий и определение граничащих отрезков в качестве вертикального и горизонтального дадут тот же результат.

Нанесение размеров в эскизе. Переходим к этапу простановки размеров. Не выходя из меню *Constraints*, выбираем иконку (*Dimensional*). Вы заметили, что в графическом окне на границах отрезков изображаются символы имеющихся степеней свободы этих углов. Наша задача - проставить размеры, чтобы эскиз был полностью определен, т.е. чтобы у его элементов не оставалось степеней свободы.

В меню *Constraints* устанавливаем метку *Delay Evaluation* (Отложить обновление эскиза). Выбираем иконку *Inferred* - размеры, тип которых распознается самой системой. Указывая один отрезок, получаем длину этого отрезка. Указывая второй объект, получаем линейный или угловой размер. Для простановки отдельных типов размеров можно также использовать соответствующие иконки: *Horizontal*, *Vertical*, *Angular* и прочие. Когда объекты для простановки размеров заданы, в окне *Current Expression* появляется имя этого размера (параметра), присвоенное системой, и текущее значение размера. В окно текущего значения вводим нужное значение и нажимаем *Enter*. Задаем все размеры, кроме диаметральных размеров. После нажатия *OK* в меню *Constraints* происходит обновление эскиза по заданным размерам.

Если требуется задать радиусные или диаметральные размеры относительно оси вращения импеллера, то необходимо создать вертикальный отрезок - ось - и определить его в качестве ссылочного объекта. Для этого после построения вертикальной оси выбираем иконку *Convert To/From Reference*, указываем этот вертикальный отрезок и нажимаем *OK*. У отрезка изменился цвет и тип линии.

Заходим опять в меню *Constraints* > *Geometric*, указываем на любую концевую точку оси, указываем вертикальную *Datum Axis* и выбираем

условие Point on Curve Apply. Теперь определяем все необходимые размеры отдельных элементов относительно оси. Окончательно эскиз выглядит, как показано.

Заметим, что в строке состояния имеется сообщение о необходимости определить еще два размера. Остались неопределенными длина и вертикальная привязка оси вращения. Эти условия можно оставить заданными, но лучше их как-то определить.

Plane - Плоскость. Вы можете создать бесконечную плоскость, используя команду Plane Constructor. Созданная плоскость изображается треугольником с разорванными сторонами. Вершина при прямом угле указывает на базовую точку плоскости. Короткая сторона ориентирована вдоль оси X, а длинная - вдоль оси Y рабочей системы координат WCS.

Символ плоскости обозначает плоскую бесконечную поверхность. Она может использоваться для получения сечения кривой и поверхности и обрезки поверхностей. Символ не привязан к масштабу изображения, он будет выглядеть одинаково при разных масштабах изображения. Плоскость может быть удалена, погашена, иметь другой цвет, т.е. ей можно манипулировать как любым геометрическим объектом.

Команда создания плоскости имеет варианты построения:

Опции построения плоскости	
Three Points	Через три точки
Two Lines	Через две прямые
Point, Perp Curve	Через точку, перпендикулярно кривой
Plane of Curve	Через существующую окружность, конус или сплайн, лежащий в одной плоскости
Plane of WCS	Плоскость XY WCS
Plane of CSYS	Через существующую координатную плоскость
Principal Plane	Параллельно базовым плоскостям WCS
Existing Plane	Существующая плоскость
Two Tangent Faces	Касательно двум граням
Point, Tangent Face	Через точку, касательно грани
Coefficients	По коэффициентам
Parallel Thru Pt	Через точку, параллельно плоскости
Parallel at Dist	Параллельно плоскости на дистанции
Perp, Thru Line	Перпендикулярно плоскости через прямую

Snap Point Tool - Автоматического определения типа точки

Методы автоматического определения типа точки позволяют вам задать точку или положение точки во время создания или редактирования геометрических объектов при использовании функций Координатной плоскости, Координатной оси, Сплайна по точкам, Сплайна по полюсам и X-Форма.

Для автоматического определения типа точки вы можете использовать следующие методы:

- Конечная точка
- Средняя точка
- Контрольная точка
- Точка пересечения
- Центр окружности
- Точки в квадрантах окружности
- Существующая точка
- Точка, ближайшая к кривой
- Точка, ближайшая к поверхности

При использовании вышеуказанных функций панель определения типа точки появляется автоматически, а выпадающее меню в Edit > Snap Point становится активным. Для некоторых функций панель опций точки захвата не появляется автоматически и вы должны сначала вызвать ее.

Меню автоматического определения типа точки выглядит как панель с набором иконок, которые вы можете выбирать для указания метода задания точки. Вы можете выбрать любой метод задания точки, который наиболее подходит вам во время процесса создания или редактирования. Например, вы используете опцию [Spline by Points](#) для создания сплайна, чьи определяющие точки либо уже существуют, либо являются центрами окружностей. Вы можете установить методы автоматического определения типа точки на Arc Center (Центр окружности) и Existing Point (Существующая точка), как показано на нижнем рисунке.

Визуальный маркер и подсказка на курсоре. Когда вы перемещаете курсор в графическом окне, то система показывает значок в зависимости от выбранного вами метода определения типа точки. Система изображает значок (справа внизу), обозначающий метод определения типа точки (Near to Curve).

Графический интерфейс. Панель инструментов: Главное меню. Здесь отображаются заголовки меню, в которых содержатся различные команды NX.

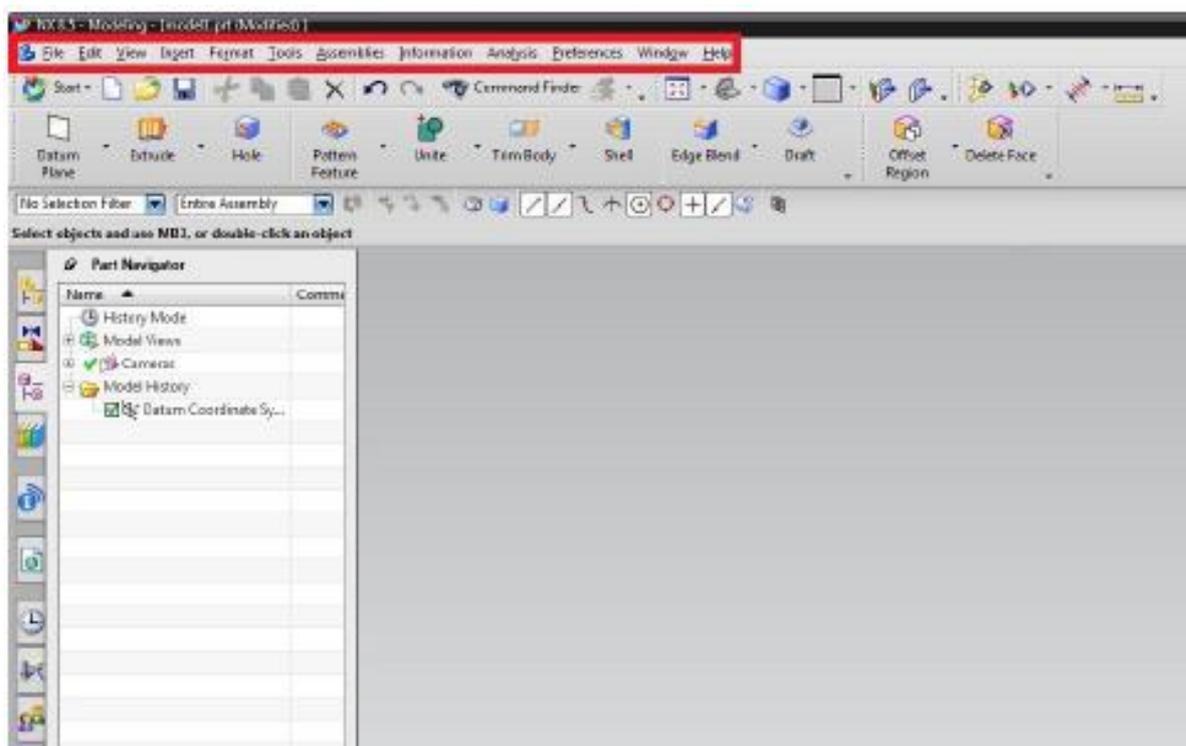


Рис. 4.15. Главное меню

Область для различных инструментальных панелей. В этой области располагаются инструментальные панели, на которых расположены кнопки для вызова различных команд. Эти панели могут располагаться в верхней, нижней, левой и правой области окна NX.

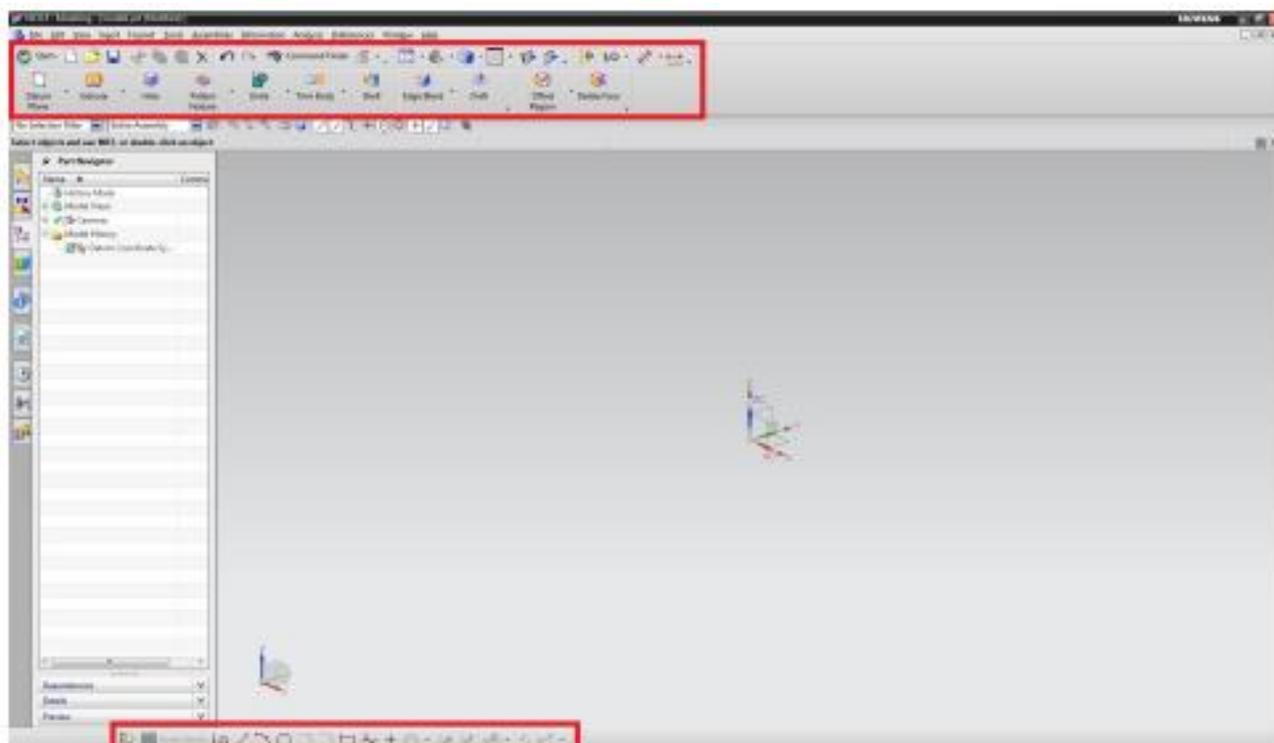


Рис. 4.16. Область для различных инструментальных панелей.

Область для различных инструментальных панелей. Панель выбора. Здесь сгруппированы команды, предназначенные для фильтрации и эффективного выбора объектов.

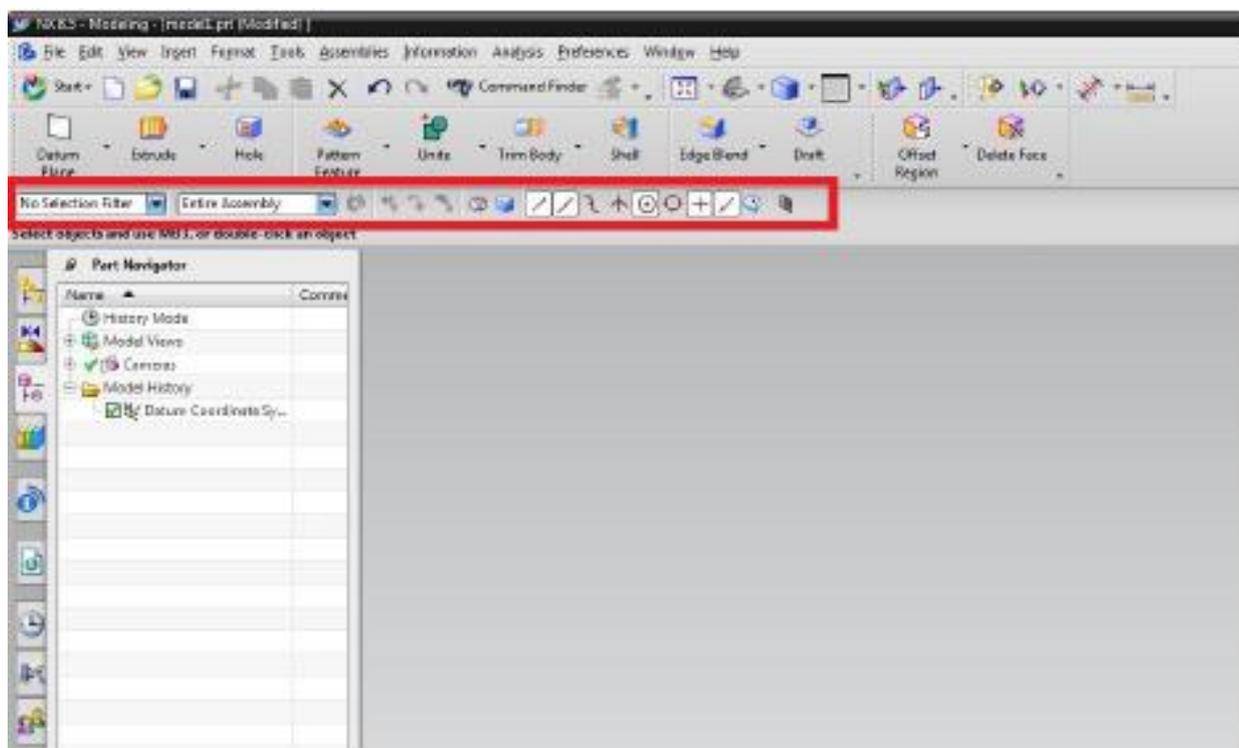


Рис. 4.17. Панель выбора

Строка подсказки. В этой строке выводятся подсказки пользователю по текущей команде. Как правило, это подсказка для дальнейших действий пользователя.

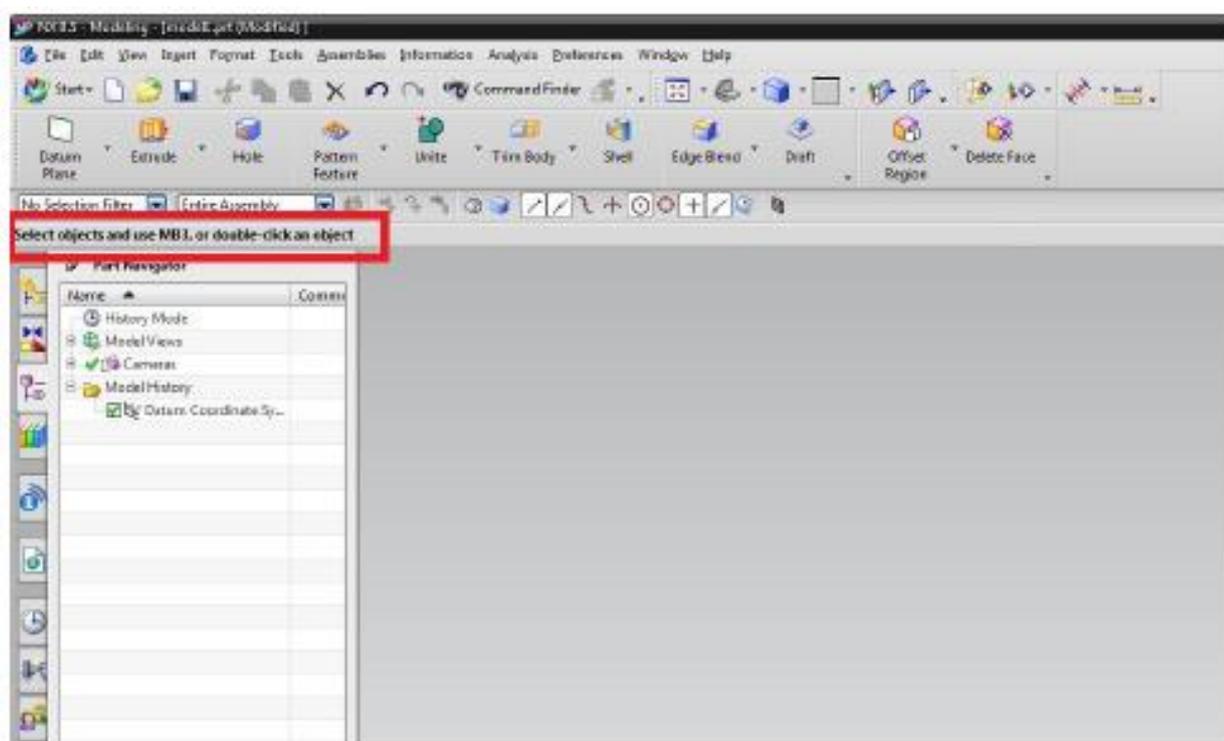


Рис. 4.18. Строка подсказки

Графическая область. В этом окне производится построение модели, сборки, чертежа и т.д.

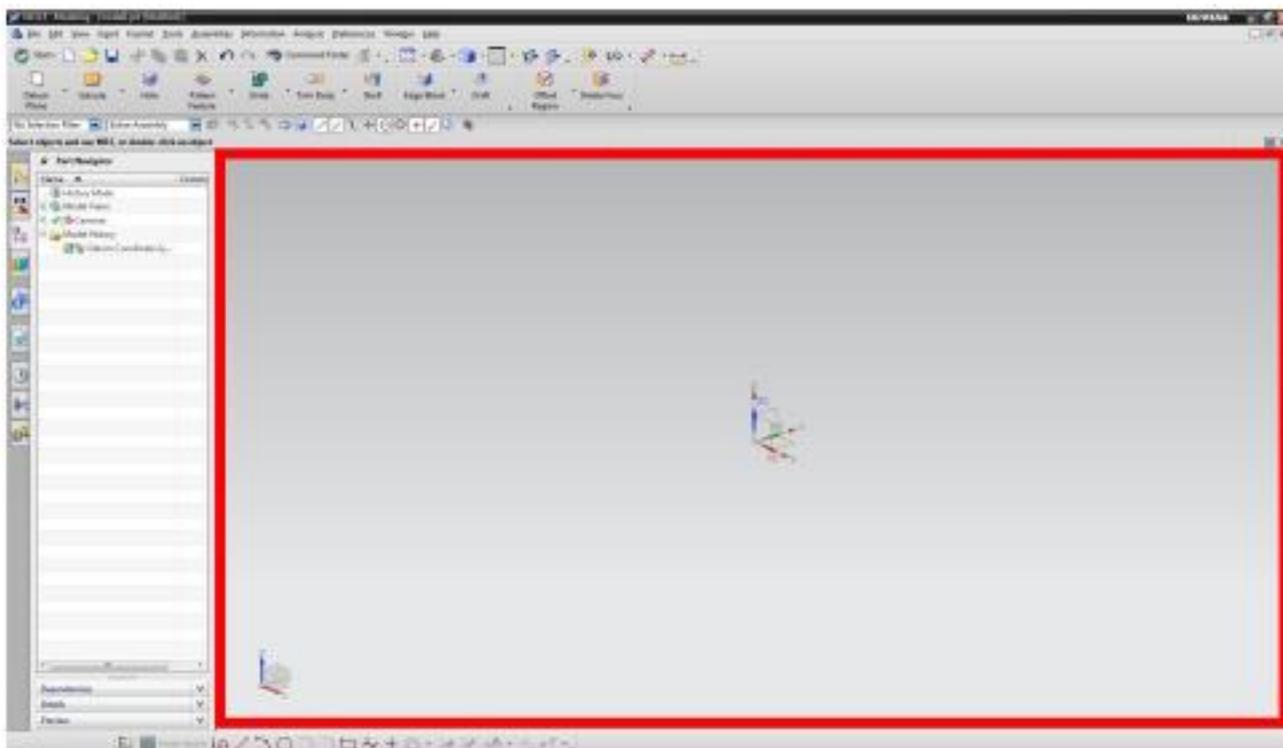


Рис. 4.19. Графическая область

Панель ресурсов. На этой панели с группированы кнопки навигатора модели и сборки, истории, браузера, справки, ролей и ряд других.

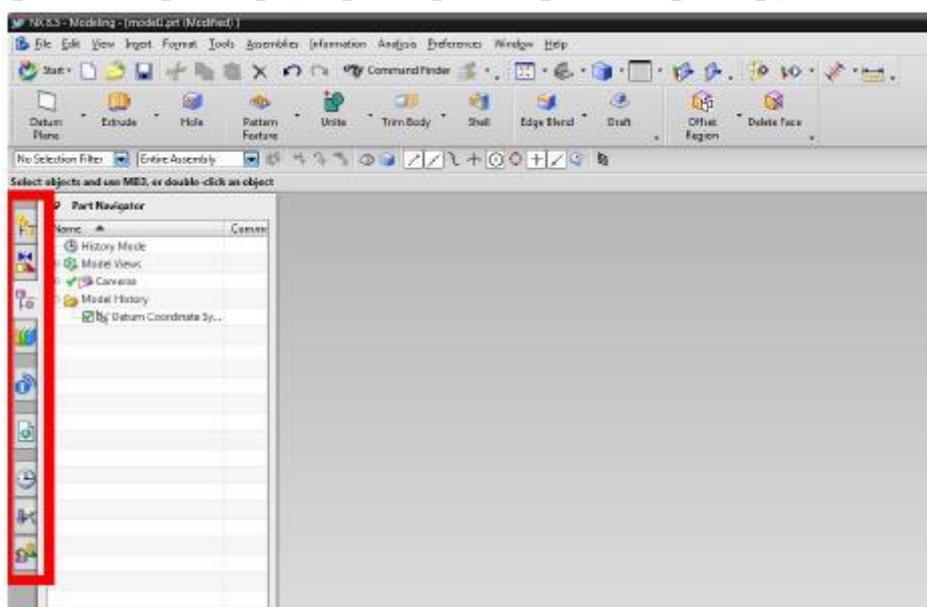


Рис. 4.20. Панель ресурсов

Навигаторы - отображают информацию, такую как элементы в детали и компоненты в сборке.

Можно использовать навигаторы для управления и изменения данных, просмотра и изменения порядка создания, и для выбора объектов, таких как элементы, инструменты и операции.

Инструменты "HD3D" -обеспечивает доступ к инструментам "HD3D", которые позволяют отображать и взаимодействовать с информацией непосредственно в 3D модели. Интегрированный веб-браузер - обеспечивает доступ в Интернет из программы.

Палитры - обеспечивают доступ к стандартным и часто используемым данным модели. Можно использовать палитры для доступа к пользовательским шаблонам, ролям, системным сценам визуализации и системным материалам.

4.5. Программное обеспечение CIMATRON

Cimatron - интегрированная CAD/CAM-система, предоставляющая достаточно полный набор средств конструирования, инженерного анализа, черчения и разработки управляющих программ к станкам с ЧПУ.

Cimatron применяется таким из ападным и фирмами, как Моторола, Фольксваген, Дженерал Моторс, АГФА, ЭПСОН и др. В настоящее время в России и других странах СНГ Cimatron эффективно используется в авиационной и автомобильной промышленности, в машиностроении, в литейных и штамповочных производствах, для создания механического окружения электроники и товаров на родного потребления.

Cimatron - это семейство из пяти базовых модулей, которые могут быть до полнее ны в соответствии с требованиями пользователей. Все эти модули являются полностью интегрированными инструментами для большинства стадий подготовки производства и на различных аппаратных платформах от PC Pentium Типографических станций HP/Apollo, Silicon Graphics, Sun и IBM.

Поверхностное и каркасное моделирование в Cimatron имеет полный набор геометрических элементов: от точек, линий и окружностей до сложных кривых и поверхностей Bezier, Gregori и NURBS. Удобные инструменты создания, редактирования и анализа поверхностей позволяют легко строить и модифицировать сложные скульптурные поверхности.

Система предоставляет пользователю мощные и гибкие функции построения галтельных сопряжений, обрезки поверхностей и многое другое (в стилизованном виде характерные особенности модели представлены. твердотельное проектирование. Аппарат параметрического твердотельного

моделирования системы Cimatron позволяет автоматизировать работу конструктора уже на этапе эскизного концептуального проектирования.

Эффективная и наглядная система сигнальных линий для задания условий параллельности, касательных, нормалей и т.п. делает проектирование намного более удобным. Возможности оперировать алгоритмом построения, добавлять и перемещать элементы в протоколе моделирования позволяет осуществлять полный контроль над процессом проектирования, а возможности задания алгебраических взаимосвязей между размерами - создавать параметрические модели любой сложности.

Особенно важно, что система позволяет конструктору вести эскизное проектирование, не проставляя все размеры сразу, а лишь заботясь о топологии детали, в результате значительно сокращаются сроки концептуальной проработки проекта. В любой момент можно проставить размеры объекта или полностью изменить схему их простановки.

При создании сборок проектирование может выполняться как “сверху-вниз”, так и “снизу-вверх”. При работе с твердотельными сборками возможно задание параметрических соотношений между объектами, входящими в сборку, редактирование деталей в режиме сборки, проверка на взаимное пересечение объектов и многое другое.

Подсистема черчения разработана так, чтобы обеспечить интуитивную работу, минимизируя количество повторений одних и тех же операций, и ускорить каждый этап чертежного процесса. Все чертежные данные хранятся в базе данных, единой для всех подсистем Cimatron, структура, которой обеспечивает полную интеграцию всех подсистем быстрый доступ к данным. Все размеры, допуски, надписи и штриховка полностью ассоциативны с геометрией изделия. Cimatron обеспечивает получение видов трехмерной модели под любым желаемым углом проецирования.

Изменения в модели автоматически отражаются на видах. Интерфейс системы обеспечивает простое и удобное построение и перемещение видов в пределах чертежа.

Такие возможности твердотельного проектирования, как автоматическая генерация сечений моделей, ассоциативность размеров позволяют увеличить скорость процесса подготовки чертежей в несколько раз.

Система обеспечивает автоматическое формирование спецификаций сборочных единиц в полном соответствии с требованиями ЕСКД, а также передачу данных в системы управления производством. Интеграция подсистем обработки и моделирования гарантирует изготовление детали точно в соответствии с требованиями. На основе с проектированной модели

подсистема NC создаст управляющую программу для любого вида механической обработки: 2.5-5 координатного фрезерования, сверления, листо-штамповки, токарной и электроэрозионной обработок. Разработка NC-программ оптимизирован на как с точки зрения создания траектории движения инструмента, так и с точки зрения работы с данными проектирования. Любые изменения модели немедленно отображаются на траектории движения инструмента.

При фрезеровании сложных поверхностей подсистема программирования оборудования с ЧПУ позволяет автоматически выполнять контроль на зарезание, рассчитывать зоны, не обработанные заданным инструментом, вычислять траекторию движения для другого инструмента, выполняющего подбор.

Имитация обработки позволяет проверить и отладить управляющую программу до выхода на станок. Главным отличием проектирования в Cimatron от использования 2D-систем является первичность трехмерной модели (3D), а не чертежа. Создание управляющей программы для механообработки или литейной формы, анализ прочности детали или подготовка данных для полимерной модели, - все эти приложения системы используют предварительно построенную проектировщиком 3D-модель.

Принципы создания 3D модели в Cimatron.

Рассмотрим создание простейшей прямоугольной твердотельной модели. Для этого наметим следующую последовательность (сценарий) построения модели. Сначала создадим базовый компонент - кубик затем удалим материал на верхней грани, потом добавим материал - построим на дне углубления бобышку, и, наконец, удалим материал по всей высоте и получим цилиндрическое отверстие.

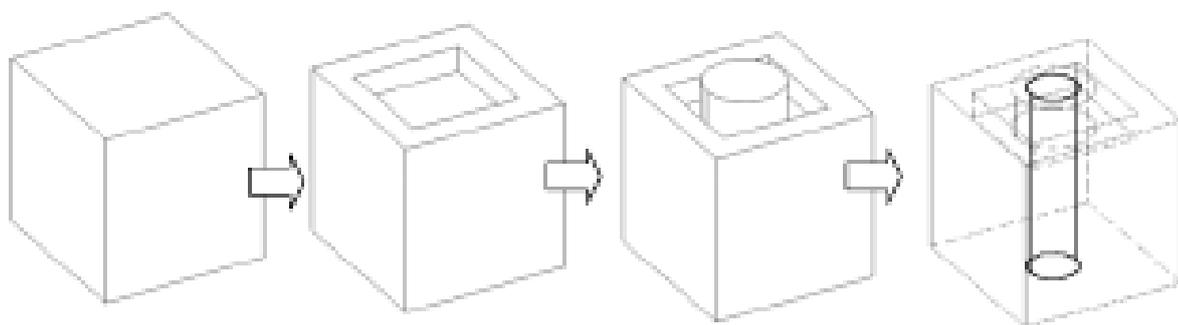


Рис. 4.21. Сценарий создания модели

Cimatron E — подсистемы и модули.

Базовые системы.

Drafting	Система предоставляет полные возможности черчения.
----------	--

Solution	Включает в себя возможности создания эскизов и чертежей и позволяет просмотреть и проверить геометрию 3D-модели. Drafting Solution поддерживает только возможность чтения для всех поддерживаемых модулей интерфейсов данных. Система может быть расширена до Designer Solution.
Designer Solution	Система предоставляет полные возможности 3D-проектирования. Включает: 3D-каркасное, поверхностное и твердотельное гибридное параметрическое моделирование, поддержку сборок. Система включает Drafting Solution (модуль черчения) и может быть расширена до Master Solution.
NC Solution	Система предоставляет полные возможности фрезерования, визуализацию и верификацию обработки. Создание траектории движения инструмента для 2,5 координатного фрезерования импортированных моделей. Полные возможности гибридного моделирования, ограниченные требованиями САМ-среды. Система может быть расширена до Master Solution.
Master Solution	Master Solution предоставляет инфраструктуру, которая соединяет все модули для проектирования и обработки. Включает 3D-каркасное, поверхностное и гибридное твердотельное параметрическое моделирование, ассоциативное черчение, связь с подсистемой ЧПУ и позволяет управлять траекториями движения инструмента. Система позволяет создавать траектории движения инструмента и поддерживает до 2,5 координат при фрезеровании. Базовая система включает в себя визуализацию и верификацию обработки.
Student Package	Система предоставляет ограниченные возможности и используется только в учебных целях. Система позволяет использовать большинство возможностей Cimatron E и выполнять весь процесс проектирования и подготовки производства оснастки, но не предназначена для промышленного использования.
View Only	Полная система предоставляющая возможности чтения и просмотра. Система поддерживает возможность чтения всех стандартных форматов: IGES, DXF, DWG, SAT, STL, STEP,

Дополнительные модули.

Mold Design	Модуль проектирования пресс-форм, основанный на трехмерной твердотельной технологии. Автоматизирует процесс проектирования пресс-форм и их составных элементов. Предлагает инновационный параметрический и полностью ассоциативный подход к процессу проектирования пресс-форм. Приложение включает опциональные каталоги из списка доступных каталогов.
Mold Design Catalogs	Объемные параметрические детали пресс-формы из каталогов HASCO и DME.
Quick Compare	Модуль содержит интерактивные инструменты для автоматического сравнения и выявления инженерных изменений в двух наборах геометрии. Различия и изменения графически помечаются и сохраняются в файле на различных слоях.
Quick Electrode	Модуль для проектирования электродов и автоматизации процесса подготовки электроэрозионной обработки. Модуль используется для определения областей прожига, проектирования электродов, управления, документирования и производства.
Quick Split	Модуль предоставляет интерактивные средства для автоматического разделения исходной модели на матрицу и пуансон, вставки и ползуны, генерирует линии разъема и позволяет экспортировать спроектированные детали оснастки в среду сборки. Модуль предоставляет возможность сократить время проектирования поверхностей разъема и выполнить анализ углов уклона поверхностей.
Lathe 2X	2-координатная токарная обработка.
Quick Drill	Приложение для автоматизации процесса сверления. Выявляет, сортирует и связывает отверстия со сверлильными циклами и режущим инструментом. Создает таблицы отверстий и траектории инструмента

	для сверления.
3X - MILL	Базовый модуль 3-координатного фрезерования. Генерирует путь движения инструмента для фрезерования карманов, профильного фрезерования, пошаговой позиционной обработки, сверления. Реализованы различные способы фрезерования поверхностей и 4-5-координатное позиционирование.
4/5X - MILL	Полный модуль 4- и 5 - координатного фрезерования. Включает функции как позиционного, так и непрерывного контурного фрезерования по 4-5 координатам. Поддерживает фрезерование поверхностей концом и боковой стороной инструмента.
5X-SIMULATOR	Визуализация и контроль процесса обработки вплоть до 5-координатного фрезерования.
WIRE 2X	Проволочная электроэрозионная обработка по 2-м координатам.
WIRE 4X	Проволочная электроэрозионная обработка по 4-м координатам.
Magics STL FIX	Вывод данных в формат STL, основанный на экспортировании STL-файлов непосредственно из системы Cimatron и активизация Cimatron Magics STL FIX для расширенной интерпретации и манипуляции STL-файлами.

Cimatron E - проектирование формообразующих (описание процесса работы).

Работа ведется через меню подсистемы Quick Split. Первая используемая операция этого меню - задание усадки. Усадка задается вводом коэффициентов масштабирования модели детали по осям произвольной системы координат и пересчитывается в значение объемной усадки.

Затем выполняется разделение модели на наборы формообразующих поверхностей. Для этого конструктор задает сначала главное направление разреза, а после этого - все остальные направления до тех пор, пока "неразделенных" поверхностей не останется (после разделения они меняют цвет и положение на экране соответственно заданному направлению).

Направления разреза задаются различными способами:

- касательно к линии,
- по нормали к линии или плоскости,
- вдоль прямой или оси произвольной системы координат,
- по углу к заданной плоскости,
- по двум точкам или вдоль оси цилиндра или конуса.

При этом определяется, к какому формообразующему набору, соответствующему главному направлению разъема (пуансону или матрице), должны относиться вертикальные поверхности. При необходимости поверхности переносятся из одного набора в другой одним действием: указывается поверхность, а затем - набор, к которому ее нужно перенести.

После разделения модели, передвигая "ползунок", производится динамическая визуализация перемещения наборов формообразующих поверхностей вдоль заданных направлений разъема.

Когда модель разделена, можно выполнить операцию анализа углов уклона поверхностей модели, что позволит выявить вертикальные зоны или поднутрения. Анализ производится одновременно для каждого формообразующего набора относительно соответствующего направления разъема. В результате на модели создается цветовая карта углов уклона - каждому интервалу значений углов соответствует свой цвет. Значения углов и цветов задаются пользователем.

Команда построения наружных и внутренних линий разъема (единых или в виде составных кривых) работает в автоматическом или интерактивном режиме. Поверхности разъема также могут быть созданы автоматически. При интерактивном их построении могут быть использованы любые операции Simatрон E по созданию поверхностей. Поверхности разъема, как, впрочем, и вся другая геометрия, ассоциативно связаны с линией разъема - любое изменение линии разъема приводит к соответствующему изменению поверхности, что очень удобно при работе со сложными деталями, когда прорабатываются несколько вариантов.

Далее определяется заготовка формообразующего блока и выполняется ее разделение по формообразующим поверхностям. Заготовка создается как твердотельный объект, а после разделения становится также набором поверхностей. К ранее полученным наборам формообразующих поверхностей добавляются соответствующие поверхности заготовки блока, и производится экспорт этих наборов в отдельные файлы деталей. В структуре проекта при этом создаются соответствующие объекты - формообразующие детали.

Последующие этапы работ могут выполняться специалистами параллельно. Напомним, что все данные и файлы данных располагаются в

единой базе данных, к которой имеют доступ все участники конкретного проекта.

Cimatron E - проведение инженерных изменений (описание процесса работы).

Для выявления изменений импортированных моделей в Cimatron E используется объект "мастер-деталь" и модуль Quick Compare.

Полученная модель, содержащая изменения, импортируется в систему, и соответствующий объект появляется в текущем проекте. После загрузки мастер-детали через Quick Compare загружается импортированная модель, содержащая изменения. Сравнение моделей происходит во время загрузки и на экран в режиме просмотра выводится уже результат: окрашенные разными цветами неизменные, измененные и новые поверхности модели. Критерием "изморённости" является указываемая пользователем точность, значение которой должно быть установлено в соответствии с минимальным значением точности на конструкторском чертеже детали. Переключение Quick Compare в режим обновления данных приводит к автоматическому обновлению объекта "мастер-деталь" и соответствующей модели. После этого начинается непосредственно отслеживание изменений во всех разработанных пользователями документах Cimatron E.

Вторым этапом процедуры отслеживания изменений является обновление объекта "рабочая деталь". При загрузке соответствующей модели система сразу же распознает, что в исходных данных (мастер-детали) произошли изменения и выводит сообщение, что модель рабочей детали не обновлена. После нажатия на кнопку "обновить" система обновляет геометрическую модель и на ней воспроизводит все выполненные пользователем при проектировании моделей формообразующих деталей оснастки действия.

Здесь необходимо отметить, что проектирование моделей формообразующих деталей является наименее формализованным итерационным процессом (например, могут указываться противоположные условия - вертикальные поверхности перенести к пуансону, а затем часть их перенести к матрице и т.п.) и на практике здесь часто требуется вмешательство пользователя. Если решатель системы выдает сообщение о возникшей на определенном этапе воспроизведения действий пользователя некорректности, с этого места вносятся необходимые коррективы. Те поверхности детали, которые не были разнесены по наборам формообразующих поверхностей автоматически, можно перенести к нужному набору несколькими нажатиями кнопок мыши. Как отмечалось,

такая необходимость может возникнуть при обработке системой, например, противоположных условий - в этом случае она остановится и предложит пользователю сделать выбор. После внесения корректив воспроизведение действий пользователя можно возобновить. Даже для сложных моделей процесс обновления занимает всего несколько минут.

Следующим этапом отслеживания изменений является обновление всех остальных выпущенных документов (моделей оснастки, электродов, чертежей, управляющих программ). При загрузке каждого такого документа система выводит сообщение, что он не обновлен и не позволяет далее производить с ним какие-либо действия. Выполнение операции "обновить" происходит полностью автоматически и делает документ доступным для выполнения любых действий.

Системы для проектирования обработки на станках с ЧПУ.

[CAM модуль Cimatron](#) - мощная система, предоставляющая полный набор средств для проектирования 2.5, 3-х, 4-х и 5-ти координатной фрезерной и сверлильной обработки с ЧПУ.

[Vericut](#) - мировой лидер в области контроля и оптимизации управляющих программ для станков с ЧПУ.

[Fikus for WireEDM](#) - проектирование 2-х и 4-х координатной электроэрозионной прволоочной обработки с ЧПУ.

[Fikus for Lathe](#) - проектирование токарной обработки с ЧПУ.

[NC Manager](#) - простое, но мощное средство просмотра и имитации выполнения управляющих программ для станков с ЧПУ.

[Copy Mate](#) - комплексное решение копирования изделий.

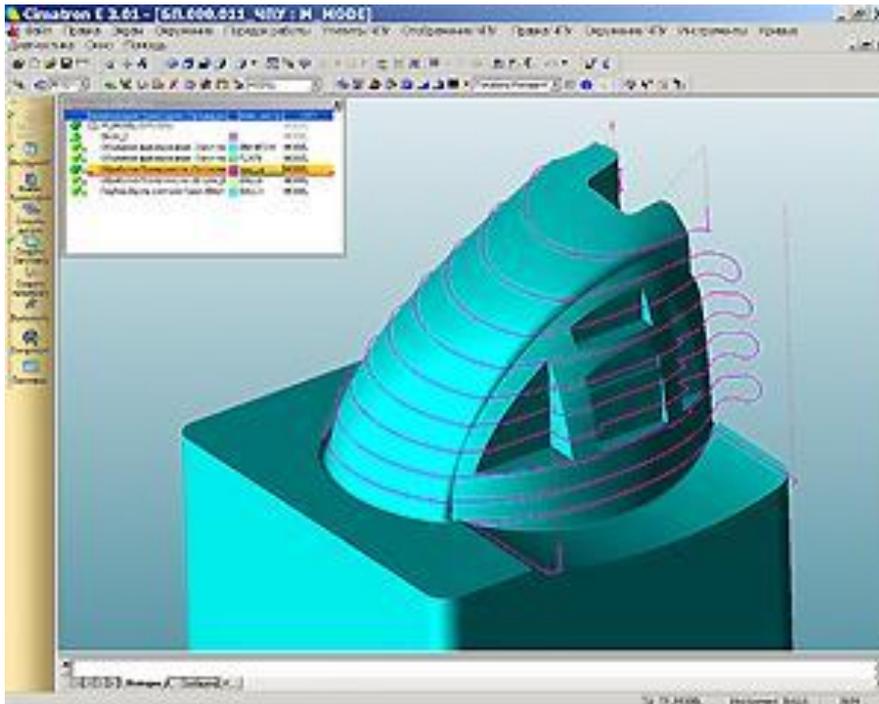
[IMSPost](#) - универсальный генератор постпроцессоров для оборудования с ЧПУ.

Cimatron E обеспечивает решение следующих задач при программировании обработки на станках с ЧПУ:

- Широкий выбор стратегий обработки (от 2,5 - координатной обработки по контуру до 5-ти координатной объемной выборки сложно профильных колодцев);
- Задание режущего инструмента цилиндрической, конической, сферической и тороидальной формы;
- Формирование траектории движения инструмента с учетом стратегий обработки, выбранных поверхностей, режущего инструмента, автоматического контроля зарезаний и оптимизации траектории инструмента с учетом текущего состояния заготовки;

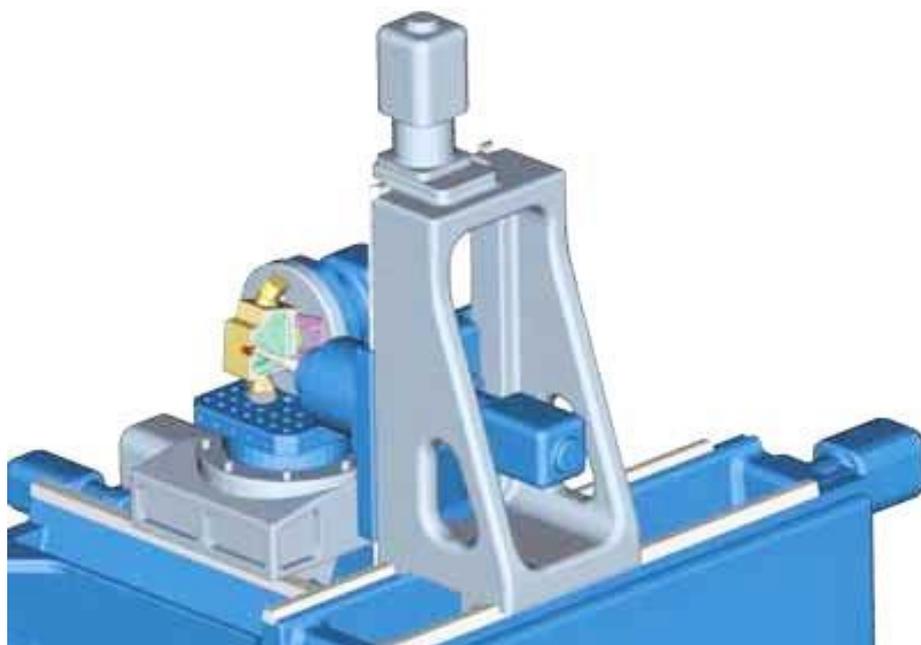
- Автоматическое отслеживание изменений, вносимых в модель обрабатываемого изделия. При этом модель может быть создана в Cimatron E или импортирована из других систем;
- Использование технологических шаблонов для формирования траектории инструмента;
- Оперативное редактирование траектории при изменении задания на обработку, без внесения изменений в геометрию модели и повторного расчета траектории;

Поддержка алгоритмов высокоскоростной резки (HSC)



- Реалистичная визуализация процесса обработки изделия (детали) на станке;
- Автоматическое сравнение модели обработанной детали с конструкторской моделью и формирование цветовой "карты распределения припусков" для детального анализа результатов обработки;
- Реалистичная визуализация перемещений исполнительных органов станка при обработке детали, с одновременным контролем столкновений инструмента и державки с приспособлениями и узлами станка;
- Формирование управляющей программы для конкретной модели станка с ЧПУ с помощью соответствующего постпроцессора;
- Генерация постпроцессоров для любых моделей станков с ЧПУ с помощью генератора постпроцессоров IMSpost.

Для повышения эффективности использования оборудования с ЧПУ контроль процесса обработки необходимо осуществлять на компьютере, до реального выхода на станок. Для этих целей используется виртуальный производственный комплекс VERICUT (разработка компании CGTech, США).



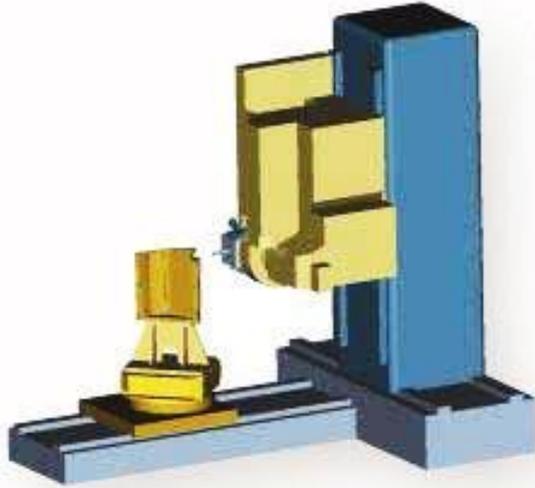
VERICUT использует в качестве входной информации управляющую программу для станка с ЧПУ. Выполняется реалистичная имитация процесса обработки, обнаружение зарезаний и контроль столкновений инструмента и державки с заготовкой, приспособлениями и узлами станка. Имеется возможность сравнения спроектированной детали с деталью, полученной после обработки. Выполняется оптимизация режимов резания с целью сокращения времени обработки и обеспечения равномерной нагрузки на инструмент.

Верификация

Верификация обеспечивает реалистичную имитацию и контроль для фрезерной и токарной обработки, а также обнаружение таких ошибок, как неправильное построение траектории инструмента, недостаточная точность обработки, врезание на ускоренной подаче, столкновения инструмента или державки, столкновения с зажимным приспособлением и оснасткой, ошибки постпроцессора.

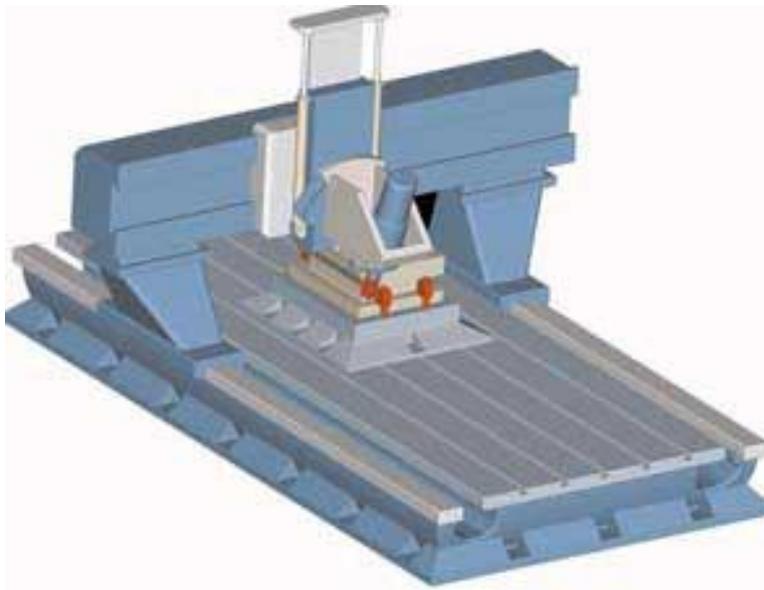
В любое время можно изменять вид и масштаб модели, выполнять сечения, устанавливать полупрозрачный режим. Можно измерять толщину стенок, объем, расстояния, углы и др.

Верификация управляющих программ выполняется для широкого спектра систем ЧПУ. При этом поддерживаются команды коррекции инструмента, сверлильные циклы, подпрограммы и т. д. Имеются средства для создания и редактирования описаний систем ЧПУ, а также для конвертирования УП.



Оптимизация режимов резания

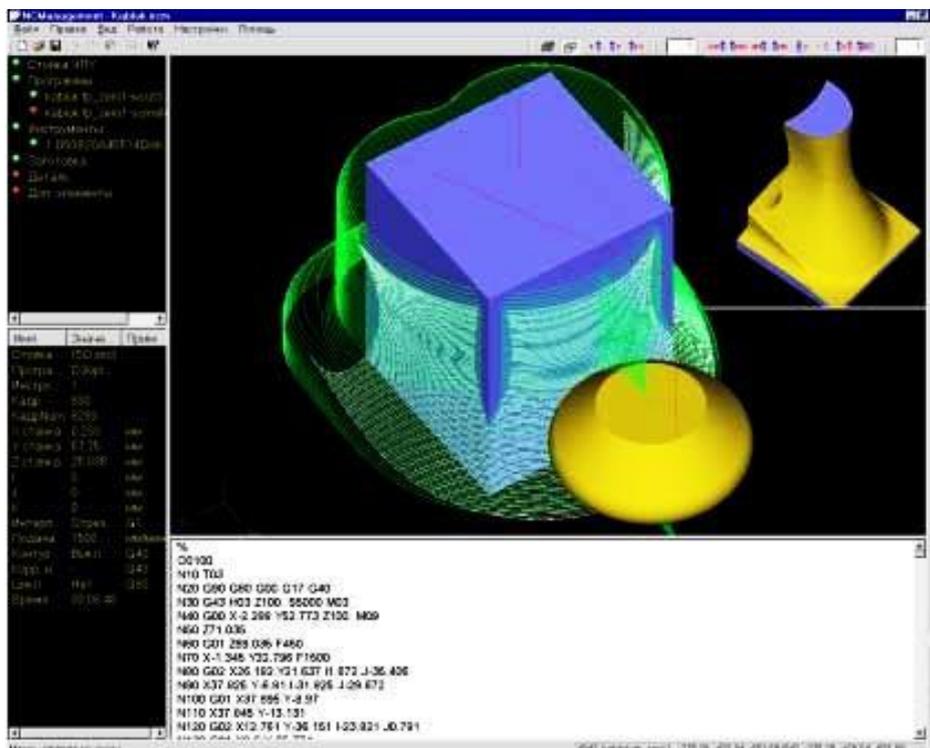
Оптимизация выполняется путем корректировки значений подачи с учетом условий резания и удаляемого припуска, и дает возможность значительно сократить общее время обработки детали. Она может применяться для черновой, получистовой, чистовой и высокоскоростной обработки. При оптимизации используется встроенная база знаний.



Реалистичная имитация работы станка.

При многокоординатной обработке совместная работа линейных и поворотных исполнительных органов станка может привести к столкновениям и поломке инструмента, приспособлений или узлов станка. Реалистичная имитация работы станка, с контролем столкновений, помогает избежать таких ситуаций. Система контролирует столкновения инструмента, державки, шпинделя, зажимного приспособления, заготовки, исполнительных органов и узлов станка. Имеющаяся в системе библиотека

станков содержит широкий спектр моделей многокоординатного оборудования. Можно создавать собственные описания станков или редактировать имеющиеся.



Simatron E - высокоскоростная обработка.

Simatron E позволяет полностью использовать новые возможности технологического оборудования для повышения производительности обработки резанием. Речь идет о высокоскоростной фрезерной обработке.

Разработка УП в Simatron E может производиться для моделей любого типа: каркасных, поверхностных, твердотельных, гибридных. При расчете траектории инструмента система учитывает геометрию не только детали, но и заготовки. Модель исходной заготовки также может быть построена или задана в Simatron E или импортирована через интерфейсы обмена данными. После каждого перехода геометрия оставшейся заготовки пересчитывается системой автоматически. Таким образом, система в любой момент времени "знает" о каждом гребешке или ступеньке, оставшейся после предыдущего перехода.

Это знание необходимо для расчета УП для HSC, так как одним из главных факторов реализации HSC является обеспечение постоянства нагрузки на инструмент и органы станка в целом, предотвращающее появления динамических проблем и обеспечивающее высокое качество обработки.

Основным принципом при реализации постоянства нагрузки является выполнение условия постоянства срезаемых припусков, что достигается возможностью создания системой дополнительных проходов при любой из выбранных стратегий обработки. Однако есть и другой вариант увеличения равномерности нагрузки - снижение или увеличение рабочих подач в зависимости от размеров припуска или направления движения инструмента в плоскости, проходящей через его ось. Правила для автоматического изменения системой значения рабочей подачи задаются в специальных технологических таблицах.

Второй момент при реализации HSC - исключение торможений в конце кадра, генерируемых УЧПУ. Эти торможения возникают при наличии в траектории инструмента острых углов свыше определенных значений и предохраняют станок от возникновения динамических проблем при обработке. Острые углы в траектории возникают в большинстве случаев при черновой обработке (выборка большого объема материала, когда поверхности заготовки не эквидистанты поверхностям детали), при переходе инструмента от одного рабочего прохода к другому при любых видах обработки, при обработке деталей с острыми углами, кромками при выполнении подходов и в резаний. Cimatron E для решения указанных проблем предлагает такие средства, как специальные стратегии черновой обработки (даже при обработке деталей, состоящих из элементов формы типа "кирпич", в траектории не будет ни одного острого угла), создание гладких сопряжений между проходами (несколько вариантов), создание "петель" при обработке острых углов детали, трохoidalная обработка (обеспечивает создание траектории инструмента без острых углов независимо от геометрии детали), различные виды "гладких" подходов и врезание, (например, врезание по спирали).

Третий и очень важный момент при реализации HSC – поддержка NURBS-интерполяции (сплайновой интерполяции), которую, естественно, должно поддерживать устройство ЧПУ станка. Это вид интерполяции обеспечивает резкое сокращение длины УП, улучшение динамики станка при отработке УП, перемещение инструмента при обработке поверхности по законам ее создания в CAD-системе.

Высокоскоростные станки уже не являются редкостью в нашей стране. Предприятиями все активнее приобретается современное зарубежное оборудование. Да и отечественные производители уже выпускают станки с высокими значениями подач, поставляют необходимый режущий инструмент и оснастку. Эффективность такого вида обработки доказана практикой,

поэтому применяемая для разработки УП САМ-система должна позволять использовать возможности HSC на 100%.

4.6. Программное обеспечение CATIA

CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) - система автоматизированного проектирования (САПР) французской фирмы Dassault Systemes.

Это комплексная система автоматизированного проектирования (CAD), технологической подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE), включающая в себя передовой инструментарий трёхмерного моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую базу данных текстовой и графической информации.

Система позволяет эффективно решать все задачи технической подготовки производства - от внешнего (концептуального) проектирования до выпуска чертежей, спецификаций, монтажных схем и управляющих программ для станков с ЧПУ.

В настоящее время CATIA занимает около 70% мирового рынка систем автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства в авиакосмической промышленности и более 45% - в автомобилестроении.

Портфель продуктов CATIA V5 включает более 300 функциональных модулей, которые могут быть классифицированы и сгруппированы по следующим параметрам:

- платформы
- области применимости (домены)
- конфигурации
- отдельные продукты.

Платформы представляют собой некоторые подмножества продуктов, которые позволяют решать одни и те же задачи разработчиков на разном уровне функциональности, производительности и, соответственно, с разным уровнем затрат. Определены три платформы: P1, P2 и P3.

Платформа P1 представляет собой набор модулей классической «средней» CAD/CAM- системы, которая, однако, является частью единой PLM-среды (Product Lifecycle Management - управление жизненным циклом изделия) и в любое время может быть дополнена продуктами из других платформ с целью повышения производительности и функциональности решений.

Вместе с PDM (Product Data Management - система управления данными об изделии) системой ENOVIA-SmarTeam, продукты CATIA V5 на основе платформы P1 являются относительно дешевыми PLM-решениями для малых и средних предприятий. Возможно также использование платформы P1 как решения начального уровня для больших предприятий. В этом случае по мере развития бизнеса платформа может быть модифицирована до более высокого уровня.

Платформа P2 - это высокоразвитая «тяжелая» CAD/CAM/CAE-система класса high-end. Она обеспечивает коллективную разработку изделий различной степени сложности. Также в платформе P2 используется технология накопления знаний и управления цифровым макетом изделия (DMU - Digital Mock-Up).

Платформа P3, в свою очередь, включает специализированные модули наивысшей производительности для целевого использования в различных отраслях промышленности.

Наличие различных платформ в CATIA V5 является уникальным средством для расширения ее пользовательской базы по принципу «одна система - разные возможности» и для быстрого наращивания производительности.

Области применимости (домены) - объединяют в себе программные продукты, характерные для решения конкретной совокупности задач в процессе жизненного цикла изделия. Выделяются следующие семь областей применимости:

- Машиностроительное проектирование (Mechanical Design)
- Разработка дизайна изделий (Shape Design and Styling)
- Системный синтез промышленных изделий (Product Synthesis)
- Проектирование систем и коммуникаций (Equipment and Systems Engineering)
- Инженерный анализ (Analysis)
- Программирование обработки на станках с ЧПУ (NC Manufacturing)
- Управление проектированием и обмен данными (Infrastructure).

Области, выделенные жирным шрифтом, на простых примерах разбираются в настоящей разработке.

Кроме продуктов CATIA, составляющих эти области, существуют многочисленные специальные продукты, предназначенные для работы вместе с продуктами CATIA и разработанные партнерами Dassault Systemes, а также продукты для программ обучения пользователей и продукты для разработки приложений для программы CATIA (CAA-RADE - Component Application Architecture).

Развитие САА V5 поддерживается благодаря множеству сторонних разработчиков прикладных программных продуктов, которые осознали ценность PLM для своих заказчиков и широкие возможности обогащения функциональности V5 PLM за счёт их опыта и знаний. Лидеры рынка в каждой из специфических дисциплин добавляют новые возможности для всего сообщества V5.

Конфигурация - это заранее сформированный и неделимый при поставке набор модулей, предназначенный для решения конкретных задач из какой-либо области применимости и лицензируемый как один продукт. При этом стоимость конфигурации значительно ниже суммы стоимости входящих в него модулей при их отдельной продаже. Конфигурации существуют для всех трех платформ и являются основой каждого рабочего места CATIA V5, которое потом может дополняться любым количеством отдельных продуктов.

Отдельные продукты - это модули, которые продаются отдельно в виде дополнений к конкретным конфигурациям. Каждый модуль CATIA V5 соответствует определенной платформе и области инженерной деятельности. При этом модуль, в зависимости от его назначения, может участвовать в различных конфигурациях как данной области, так и других областей. Некоторые модули не входят ни в одну из конфигураций и могут добавляться к нужной конфигурации при необходимости. Существует так называемая «матрица пререквизитов», определяющая условия совместной работы данного продукта с другими продуктами и конфигурациями. При выполнении этих условий отдельный продукт может быть добавлен к имеющейся конфигурации одним из возможных способов:

- в виде прикрепленного продукта (Add-one)
- в виде свободного продукта (Shareable).

Прикрепленный продукт становится частью данной конфигурации и не может быть перенесен в другую конфигурацию. Свободный продукт может свободно перемещаться по рабочим местам с различными конфигурациями, но его цена в 1.5 раза выше, чем у прикрепленного.

Название CATIA является аббревиатурой от Computer Aided Three Dimensional Interactive Application, что можно (с учетом смысловых акцентов) перевести как «компьютерный комплекс трехмерных интерактивных инженерных приложений». Саму систему можно отнести к классу CAD/CAM/CAE.

Экран системы CATIAV5 выглядит так, как показано на рис. 4.22. При этом расположение команд, показанное на рисунке, соответствует расположению по умолчанию, после инсталляции системы. Впоследствии

иконки с командами могут перемещаться пользователем на другие места экрана, скрываться и т.д.

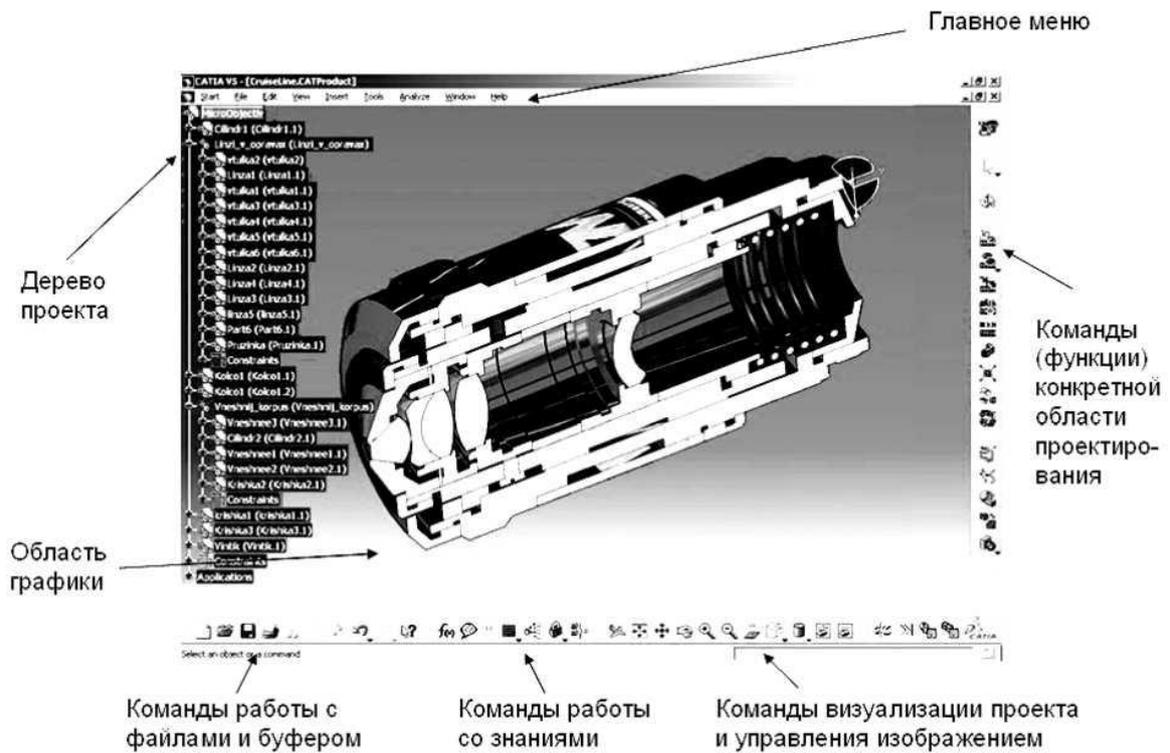


Рис. 4.22 Экран системы САТIAV5 (модель микрообъектива)

Дерево проекта. Важным элементом представления информации проекта является дерево проекта. Оно содержит состав всех компонентов проекта в структурированном виде. Элементами дерева проекта являются:

- Механические сборочные единицы и детали, геометрические компоненты деталей;
- Объекты специальной предметной области (электрожгуты, кабели, трубопроводы, конструкции и т.д.);
- Чертежи, листы и виды чертежей;
- Технологические процессы обработки на станках с ЧПУ (последовательность процедур и используемый инструмент);
- Механические связи между элементами сборки (соосность, совмещение плоскостей, фиксация расстояний и др.);
- Представление знаний - параметры, формулы, правила и базы правил;
- Дополнительные средства описания проекта - 3D-аннотации, закладки, множества, сцены, гиперссылки, слайды, фильмы и др.

Например, закладка - это разновидность ссылок, которые позволяют организовать быстрый доступ к элементам проекта, находящимся где-то глубоко в его структуре. Ярлык удаленного доступа к этим элементам может быть помещен «на видное место» - в специально предназначенный для закладок раздел дерева проекта.

Другой важный дополнительный элемент - сцены. В проекте бывают

ситуации, которые нужно фиксировать, как «кадры из фильма». Только применительно не к графическому образу, а ко всему состоянию продукта в инженерном смысле - то есть не в виде слайдов, а в виде состояния модели. Это бывает нужно для анализа, контроля, презентации и других целей. Например, в виде сцены может быть сохранена модель космического аппарата в момент стыковки с межпланетной космической станцией. Сцена может быть загружена для выполнения специфических задач и «выключена» после их завершения. Все данные, входящие в сцену, динамически обновляются по мере изменения содержания проекта.

Еще один дополнительный элемент - гиперссылки. К описанию продукта могут относиться присоединенные документы внешнего происхождения, открывать и редактировать которые могут только соответствующие приложения. Например, таблицы Excel, документы Word, иллюстрации JPEG, TIFF, BMP, видеоклипы AVI, MPEG, звуковые файлы WAV, адреса в Интернете и многие другие. Ссылки на них можно хранить в спецификации продукта и обращаться к ним прямо из структуры данных. Для этого служит встроенный интерфейс OLE.

Наиболее часто встречаемый пример применения гиперссылок - это интеграция проектных данных с документами. Деталь или сборка, кроме данных о самой себе, имеет массу процедурных, отчетных и сопроводительных документов - служебных записок, технических условий, инструкций, сертификатов, протоколов. Все они могут быть «прикрепленными» к электронному проекту и даже меняться в зависимости от состояния проекта.

Платформы, предметные области, конфигурации и модули. В CATIAV5 существует деление компонент системы на три платформы: P1, P2 и P3. Платформа P1 позиционируется как решения «среднего класса» (middle-end), тогда как решения P2 и P3 соответствуют «высшему классу» (high-end). Существует также такая классификация: P1 - «средняя» система; P2 - «тяжелая» система; P3 - корпоративные решения. Решения уровня P1 стоят дешевле и требуют меньших ресурсов компьютера. Решения уровня P1 дают хорошую возможность безболезненно перейти на уровень P2 или P3, когда такая необходимость возникнет.

Решения уровня P1 имеют ряд ограничений в управлении данными проектов, формировании баз знаний, отслеживании связей между объектами проектирования и др. Эти ограничения отсутствуют в платформе P2. Платформа P3 реализует наиболее высокий уровень автоматизации проектных решений и включает набор приложений для различных отраслей промышленности, например, проектирование кузова автомобиля, проектирование авиационных конструкций из листового металла, изделий из ком-

позитных материалов и др.

Предметная область (или домен) CATIAV5 представляет собой определенный класс проектных решений. CATIAV5 обеспечивает автоматизацию решений в следующих предметных областях инженерной деятельности:

- Машиностроительное проектирование (Mechanical Design);
- Разработка дизайна изделий (Shape Design and Styling);
- Системный синтез промышленных изделий (Product Synthesis);
- Проектирование производственных и коммуникационных систем (Equipment and Systems Engineering);
- Инженерный анализ (Analysis);
- Программирование обработки на станках с ЧПУ (NC Manufacturing);
- Управление проектированием и обмен данными (Infrastructure);
- Разработка приложений к CATIA (RADE Products);

Конфигурация - это набор модулей, обеспечивающих решение определенного круга задач в заданной предметной области инженерной деятельности. Каждая область может поддерживаться на разных платформах одной или несколькими конфигурациями. Исключение составляет область «Управление проектированием и обмен данными» (Infrastructure), которая является вспомогательной и не содержит конфигураций. Этой области соответствует ряд модулей, которые используются в конфигурациях для других областей.

Каждая из имеющихся в CATIAV5 конфигураций программных модулей, а также каждый из самих модулей (продуктов) соотносится с одной из трех платформ - P1, P2 или P3. Номер платформы присутствует в имени конфигурации или модуля в виде цифры в конце имени - например MD1, ER2 или TA3. Исключение составляют несколько модулей для платформ P2 и P3, где цифра в конце имени отсутствует - например, имя RTR или KWA.

Модуль - это программный компонент системы. Каждый модуль CATIAV5 соответствует определенной платформе и области инженерной деятельности. При этом модуль, в зависимости от его назначения, может участвовать в различных конфигурациях как данной области, так и других областей. Некоторые модули не входят ни в одну из конфигураций и могут добавляться к нужной конфигурации при необходимости.

Рассмотрим более подробно содержание ряда предметных областей CATIAV5.

Машиностроительное проектирование (Mechanical Design). Работая в рамках данной предметной области, пользователь CATIAV5 может решать следующий круг задач:

- твердотельное и каркасно-поверхностное моделирование деталей и сборочных единиц;
- формирование чертежно-конструкторской документации;
- простановка допусков и обозначений на модели с их контролем;
- импорт моделей призматических деталей с восстановлением дерева компонентов;
- проверка корректности и «лечение» импортируемой геометрии;
- проектирование формообразующих элементов пресс-форм и штампов;
- проектирование конструкции (пакетов) формообразующей оснастки;
- конструирование изделий из листового металла;
- проектирование сварных конструкций;
- проектирование сборок на основе каталогов и пользовательских библиотек;
- проектирование конструкций из листового металла в авиастроении;
- проектирование деталей из композитных материалов с использованием баз знаний;
- функциональное проектирование изделий из пластмасс (т.е. с учетом их назначения, на соответствующем семантическом уровне).

Таким образом, функциональность данной предметной области соответствует функциональности мощной САД-системы, расширенной рядом специализированных приложений.

Программирование обработки на станках с ЧПУ (NC Manufacturing). Функциональность данной области соответствует функциональности мощной САМ - системы. Работа в рамках этой области может быть охарактеризована следующими параметрами:

- Высокая эффективность программирования обработки за счет тесной интеграции построения и расчета траектории инструмента, верификации траектории и формирования управляющей программы;
- Эффективное управление изменениями за счет высокого уровня ассоциативности между проектированием детали, процессами ее обработки и используемыми ресурсами;
- Оптимизация траектории и сокращение времени обработки благодаря использованию возможностей высокоскоростной обработки (HSM);
- Простота в освоении за счет интуитивного пользовательского интерфейса;
- Высокий уровень автоматизации благодаря возможности использования типовых технологических решений и баз знаний;
- Уменьшение требований к подготовке технологов ЧПУ за счет наличия спектра интегрированных приложений (токарная обработка, 5- координатное

фрезерование и др.).

Система обеспечивает построение траектории инструмента для фрезерной (2.5-, 3-, 4- и 5-координатной) и токарной обработки, ее симуляцию (реалистичную имитацию процесса обработки) и верификацию (контроль точности обработки), формирование управляющей программы для требуемой модели станка с ЧПУ.

Инженерный анализ (Analysis). Функциональность данной области соответствует функциональности CAE - системы. Работа в рамках этой области может быть охарактеризована следующими параметрами:

- Интегрированное выполнение анализа: единый пользовательский интерфейс поддерживает CAE-функции в процессе проектирования;
- Не требуется преобразования геометрии: сокращается или устраняется необходимость преобразований из формата IGES или других форматов, что существенно сокращает цикл разработки;
- Взаимодействие «Конструктор/Расчетчик»: упрощается совместная работа конструктора и расчетчика (специалиста по инженерному анализу);
- Простота в освоении: достигается благодаря интуитивному пользовательскому интерфейсу;
- Ассоциативность: связь анализа с геометрией существенно упрощает выполнение итераций в процессе проектирования;
- Использование знаний: обеспечивает учет имеющегося практического опыта и гибкость при выборе вариантов проектирования;
- Открытость для стандартных решений: решения CATIAV5 являются базисом для стандартных промышленных CAE-решений (MSC, LMS, FTI, HKS, SAMTECH, MECALOG, ICEM)

Системный синтез промышленных изделий (ProductSynthesis). Под системным синтезом понимается процесс проектирования на уровне функциональных требований к изделию. В CATIA V5 средствами системного синтеза, в частности, являются:

- Средства поддержки цифрового макета изделия (DMU – Digital Mock-Up);
- Средства формализации, хранения и использования корпоративных знаний;
- Средства обеспечения эргономичности изделия, использующие для решения задач виртуальную модель человека (манекен).

Цифровой макет изделия (DMU) содержит в своей основе сборочную модель изделия, которая «обогащена» различными дополнительными сведениями о проекте. Кроме того, при работе в среде DMU пользователю доступны не обычные команды моделирования, а функции «обогащения» и

анализа модели изделия, а также оптимизации модели сборки. К таким функциям относятся:

- Добавление в проект различных приложений (сцен, видов, 3D-аннотаций, гиперссылок, фильмов и др.);
- Верификация проекта (контроль взаимопересечений объектов, анализ расстояний, сравнение объектов);
- Создание триангулированных «макетов» деталей / сборочных единиц и замещение 3D-моделей макетами для оптимизации работы с проектом (решение проблемы большихборок);
- Визуализация сборки/разборки изделия;
- Анализ и реалистичная визуализация кинематики механизмов.

Отметим, что DMU - это не просто «обогащенная» модель основной сборки, а «концептуализированная» модель, из которой исключены все второстепенные элементы, такие как геометрические компоненты построения деталей. Это достигается за счет использования специальных функций управления данными, содержащимися в предметной области Infrastructure, о которой упоминалось выше.

Средства работы со знаниями позволяют конструкторам и инженерам встраивать знания в проект и ускорять разработку за счет снижения числа ошибок, автоматизации и повышения эффективности проектирования. Они делают предприятие более независимым от постоянного наличия опытных специалистов, частично решают проблему кадров.

Можно отметить следующие проблемы, связанные с использованием имеющихся знаний:

- Нехватка знаний: индивидуальное искусство или опыт являются причиной узких мест, сдерживающих выполнение проектов, использующих эти знания;
- Формулирование знаний: предприятия не могут сохранить приобретенные знания и полученный ранее опыт. Специалисты, обладавшие знаниями, уходят и не оставляют их в документированном виде;
- Эффективное использование знаний: даже лучшие знания должны использоваться корректно, приводя к принятию решений, близких к оптимальным;
- Ресурсы знаний не востребуются: так как предприятие не знает реально, какими ресурсами знаний оно обладает, из них не извлекается выгода при реализации новых инициатив;
- Знания и стандарты предприятий: корпоративные стандарты предприятия могут быть несогласованными, сложными и неудобными для использования.

Наиболее простой формой представления знаний являются формулы, устанавливающие связь между различными параметрами объектов (деталей, сборок) и/или процессов. Более сложной формой являются правила типа «если - то» и «если - то - иначе». Например, если в данном классе проектируемых машиностроительных объектов не применяются отверстия диаметром меньше 10 мм, то можно установить правило «если ‘диаметр отверстия’ < 10 мм то «диаметр отверстия» = 10 мм» (синтаксис написания здесь условный). Система проверяет выполнение правил, и в случае их невыполнения выполняет предписанные действия. Таким образом, если неопытный конструктор задаст диаметр отверстия меньше допустимого, то система проверит и поправит его.

Синтаксис написания формул и правил в CATIAV5 достаточно прост и близок к естественному написанию. Кроме того, для создания формул и правил используются специальные диалоговые окна с перечнями возможных параметров и операций, так что пользователь не «пишет», а «компонует» формулы / правила, которые потом отображаются в дереве проекта и в любое время могут быть отредактированы.

Дополнительным специальным видом представления знаний являются темплейты - интеллектуальные шаблоны, определяющие конструкцию изделия и порядок проектирования.

Еще раз отметим, что при формировании баз знаний основная проблема состоит не в том, чтобы записать знания, а в том, чтобы извлечь их у предметных специалистов (конструкторов конкретного класса изделий).

Проектирование производственных и коммуникационных систем (Equipment and Systems Engineering). В данной предметной области система CATIAV5 решает спектр специальных задач, имеющих место при проектировании сложных изделий или систем (например, при проектировании самолета, корабля, автомобиля, производственного цеха). К таким задачам относятся:

- Проектирование электрических систем и электрожгутов (Electrical Harness), включая прокладку электрожгутов в цифровом макете изделия;
- Прокладка кабелей (Cabling);
- Концептуальная прокладка соединений между компонентами системы (Systems Routing);
- Прокладка трубопроводов (Piping - из стандартных компонентов, Tubing - со специальными (изогнутыми или гибкими) компонентами);
- Проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC);
- Проектирование волноводов для радионавигационных систем

(Waveguide);

- Проектирование металлоконструкций (Structures) - конструкции общего назначения, несущие фермы оборудования, палубы / переборки судна, технологическая оснастка;
- Проектирование подвесных систем (Hangers) для размещения систем вентиляции, кабелей, трубопроводов и др.;
- Проектирование кабельных каналов (Raceway&Conduit) для размещения линий кабельной связи;
- Планировка цехов и размещение оборудования (Plant Layout).

Все рассмотренные выше задачи по проектированию сложных изделий и систем в CATIAV5 решаются в трехмерном пространстве, на уровне виртуальных моделей. Таким образом, CATIAV5 устраняет необходимость физического макетирования деталей и узлов для анализа их форм, компоновки, прочностных характеристик и т.д. Это экономит предприятию материальные ресурсы, сокращает время проектирования и подготовки производства изделий. В конечном счете, виртуальное макетирование в CATIAV5 снижает стоимость продукции предприятия и сокращает время выхода этой продукции на рынок.

Построение моделей деталей в системе CATIAV5 базируется на принципах твердотельного, каркасно-поверхностного и гибридного моделирования, которые были описаны выше в п.2. Модели деталей, создаваемые в CATIAV5, размещаются в файлах (документах), которые имеют расширение CATPart.

В настоящий момент большинство достаточно мощных САД-систем примерно выровнялись по функционалу для проектирования деталей и методам построения их 3D моделей. По этой причине те особенности моделирования деталей, которые имеются в CATIAV5, можно считать не существенными.

Построение моделей сборок в CATIAV5 отличается большей спецификой и лишь в простейшем случае представляет собой чтение моделей деталей в файл сборки с последующим размещением этих моделей друг относительно друга. Для построения модели сборки в CATIAV5 содержится широкий спектр операций, который обеспечивает гибкость и эффективность процесса моделирования. Рассмотрим эти операции более подробно.

Управление контекстными деталями. Файл (документ) сборки в CATIAV5 имеет расширение CATProduct. Он включает в себя такие компоненты, как CATPart (детали), CATProduct (подсборки), файлы с данными во внешних форматах (IGES, STEP, VRML и др.) и т.д. Эти компоненты структурированы в дереве спецификации. При построении модели сборки все

компоненты позиционируются по отношению к другим компонентам. При этом некоторые компоненты могут нуждаться в параметрах или геометрических объектах, которые берутся из других компонентов. Такие компоненты (детали) проектируются с учетом контекстного окружения сборки. Они могут быть получены путем повторного использования эскиза или использованием «измерения между», например, расстояния между компонентами сборки для задания высоты призматической детали.

Контекстной деталью называется деталь, которая имеет геометрию, управляемую из других компонент сборки. Это означает, что изменение геометрии в другом компоненте может автоматически приводить к изменениям геометрии контекстной детали. Смысл использования контекстных деталей в составе сборки можно пояснить на примере, показанном на рис. 4.23. Здесь имеют место следующие контекстные связи:

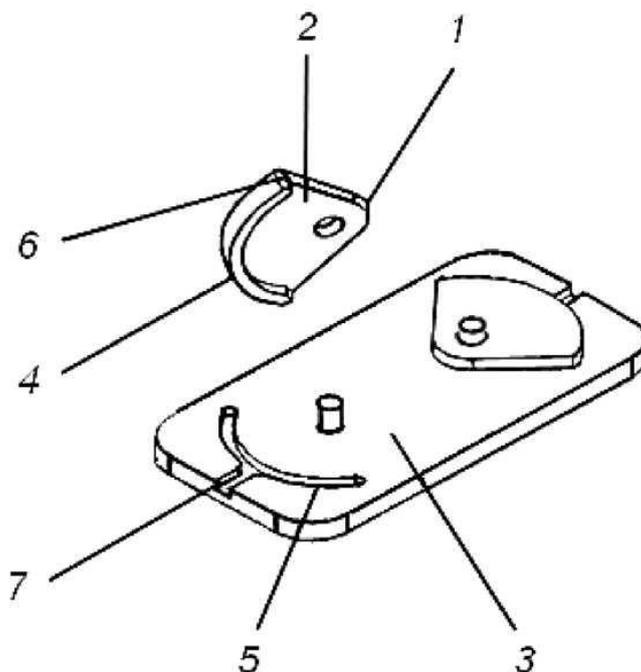


Рис. 4.23. Пример контекстной детали в сборке

1. Скругленное ребро 1 и расположенное рядом с ним отверстие являются контекстно (по смыслу) концентричными со штырем на нижней детали, имеющей вид основания. Эскиз скругленного ребра и отверстия, построенный в САПР, имеет явное ограничение на концентричность с данным штырем.
2. Нижняя грань 4 верхней детали контекстно (по смыслу) лежит на верхней грани 3 нижней детали. Поэтому эскиз грани 4 был построен на грани 3.
3. Ширина ребра жесткости 6 контекстно (по смыслу) контролируется ребрами в пазах 5 на нижней детали. Поэтому эскиз ребра жесткости 6 был спроецирован с ребер паза 5.

4. Высота ребра жесткости 6 контекстно (по смыслу) контролируется глубиной паза 7. Поэтому высота ребра жесткости 6 была задана смещением вверх плоскости основания паза.

В дереве сборки CATIAV5 контекстные детали отмечаются специальным образом. Так, если в иконке, которая соответствует данной детали, присутствует зеленая шестерня, то это означает «подлинный» (original) экземпляр детали, являющейся контекстной (управляемой из другой детали). Если же в иконке, которая соответствует данной детали, присутствует коричневая шестерня, то это означает вторичный или последующий экземпляр детали, являющейся контекстной. Это равнозначно детали вне имеющегося контекста. Смысл различий между «подлинным» и последующим экземплярами состоит в том, что геометрическое определение контекстных деталей обуславливается смежными (соседними) компонентами в сборке.

Контекстные элементы могут быть установлены при проектировании эскизов и компонент в контексте. Для того, чтобы создать контекстный элемент, необходимо (используем пример на рис. 4.23.):

- Установить в режиме Options опцию “Keep link with selected object”;
- Построить эскиз на грани другого компонента 3 для того, чтобы связать эскизируемую грань 4 с другим компонентом;
- Использовать геометрию другого компонента для построения эскиза - спроецировать ребра паза 5 на плоскость эскиза и связать элементы эскиза с ребрами другого компонента;
- Определить высоту создаваемого компонента по интервалу «верх-низ» другого компонента - в данном случае, паза 5.

Отметим, что для контекстных деталей ограничивающие связи (ограничения) сборки запрещены, если при этом есть потенциальный конфликт между геометрическими связями и ограничениями сборки. Ограничения сборки всегда запрещены, если какой-либо элемент эскиза является ассоциативным.

Помимо использования контекстных связей при построении эскизов, при создании контекстных деталей можно использовать параметрические элементы других деталей, участвующих в сборке.

При выполнении редактирования деталей следует помнить, что здесь имеют место два случая: редактирование контекстных деталей, которые имеют внешние ссылки и потому являются управляемыми, и редактирование деталей, которые управляют контекстными деталями. Так, в случае редактирования управляющей детали, если мы изменим ширину паза 5 в управляющей нижней детали (см. рис. 4.23), то это приведет к изменению ширины ребра жесткости 6, которое управляется ребрами паза. Все контек-

стные элементы в управляемых деталях синхронизируются с управляющей деталью простым нажатием команды Update.

Детали, которые контекстно зависят от других компонент, могут редактироваться в контексте или вне контекста сборки, в которой контекстные элементы были определены. В типовом случае редактируется «подлинный» (original) экземпляр контекстной детали, так как обычно множество контекстных элементов было определено здесь. Однако, можно также редактировать контекстную деталь через экземпляр детали, который не является «подлинным». Это бывает полезно при определении новых контекстных элементов, которые зависят от расположения на экземпляре, не являющемся «подлинным». Кроме того, существует возможность редактирования контекстной детали без открытия сборки. Однако при этом контекстные элементы не могут быть полностью обновлены, так как контекст (сборка и компоненты), в котором контекстные элементы были определены, недоступен. Важно ввести полные ограничения связей контекстных деталей для того, чтобы избежать непреднамеренных искажений геометрии.

Иногда возникает необходимость разорвать контекстные отношения между управляющей и управляемыми деталями. Контекстные отношения могут быть разорваны по следующим причинам:

- Деталь освобождается от связей и Вы хотите избежать непреднамеренных изменений;
- Проектирование «устоялось» и у Вас больше нет потребности управлять изменениями между деталями;
- Вы случайно удалили сборку или компоненты, которые задают контекст связанных элементов.

Разрыв контекстных отношений называется изоляцией. В CATIAV5 существует возможность как полной, так и частичной изоляции. Полная изоляция детали (команда IsolatePart) разрывает контекстные отношения с управляющими компонентами, так что изменения в управляющих деталях больше не приводят к изменениям в прежде управляемых деталях. При частичной изоляции (команда Isolate) можно изолировать отдельные контекстные элементы, так что другие элементы остаются управляемыми.

В ряде случаев необходим анализ взаимной зависимости деталей для понимания отношений между управляющими и управляемыми компонентами. Для этого в системе также предусмотрены специальные команды.

Создание и использование публикуемой геометрии. Публикуемая геометрия компонента подразумевает связывание с ним имени, так что оно будет распознаваться в других документах. Публикация геометрических элементов является способом, упрощающим проектирование в контексте.

Пользователь может переименовывать публикуемый элемент и затем создать для него связь. Изменение связей между такими элементами становится таким образом более стабильным и более интуитивным.

Могут публиковаться следующие геометрические элементы:

- Каркасные элементы (точки, линии, кривые, плоскости);
- Цельные эскизы;
- Геометрические компоненты в Part Design (Pad, Pocket и т.д.);
- Геометрические компоненты в Generative Shape Design (Extruded Surfaces, Offsets, Joins и др.);
- Геометрические компоненты в Free Style Design (Planar Patches, Curves и др.);
- Элементы всех геометрических компонентов (грани, ребра и т.д.).

Для публикации используется команда Tools/Publications. Имена публикуемых элементов отображаются в дереве проекта в узле

Publications. Когда к публикуемой геометрии подключается внешняя ссылка, это также отображается в дереве.

Публикуемая геометрия полезна в случаях, когда необходимо заменить компонент, и когда заменяемый компонент связан ограничениями сборки или управляет другими контекстными компонентами. При наличии публикуемой геометрии, ограничения сборки, связывающие заменяемый компонент, могут быть сохранены. При отсутствии же публикуемой геометрии, ограничения сборки, связывающие заменяемый компонент, должны быть подключены повторно.

Публикуемую геометрию можно использовать в любой команде, которая оперирует геометрическими элементами. Здесь имеется в виду редактирование ограничений сборки и проектирование в контексте.

Гибкие под сборки. Сборки включают в себя в качестве компонентов как детали, так и другие сборки, называемые под сборками, которые могут находиться в сборке в виде нескольких реализаций. Каждая из таких реализаций может иметь свою собственную компоновку в основной сборке. Задание сборки как гибкой под сборки позволяет ей иметь различные положения без модификации той сборки, на которую она ссылается.

Для создания гибкой под сборки используется команда “Flexible / Rigidsub-Assembly”, которая является переключаемой: щелчок делает сборку гибкой, а повторный щелчок делает сборку жесткой. В дереве проекта гибкая под сборка отображается с помощью фиолетовой шестеренки в иконке для данного элемента дерева. Позиционировать компоненты гибкой под сборки можно свободным перемещением с помощью компаса или с помощью ограничений сборки. Относительные положения компонентов гибкой

подборки сохраняются в разделе со ссылочной информацией в составе документа CATProduct.

Измерения, сечения, контроль столкновений. Для того, чтобы проверить возможные ошибки или определить часть пространства, занимаемую новой деталью, в CATIAV5 имеются следующие средства анализа сборок:

- Анализ зазоров (минимальных расстояний);
- Анализ столкновений;
- Средства построения сечений;
- Измерения в пространстве и в плоскостях сечений.

Команда измерения минимального расстояния Measuring Minimum Distance помогает измерить минимальное расстояние между двумя выбранными компонентами, или проверить минимальное расстояние между компонентом и всеми другими. Расстояния отображаются на экране в табличном и графическом виде (рис. 4.24).

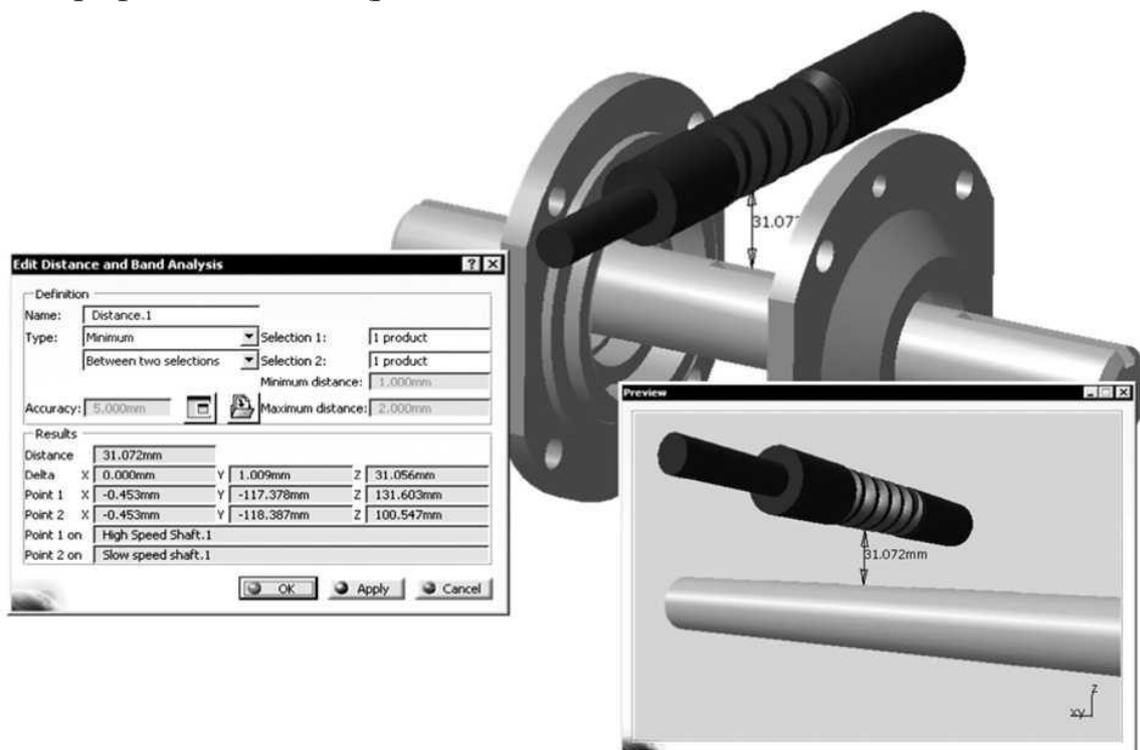


Рис. 4.24. Отображение минимальных расстояний на экране CATIAV5

Построение и перемещение сечений является типовой для CAD- систем процедурой и не вызывает у пользователя затруднений. По умолчанию плоскость сечения:

- Центрирована по центру параллелепипеда, обрамляющего выбранные элементы;
- Ориентирована по плоскости XY;
- Имеет форму квадрата;
- Имеет размеры в соответствии с наибольшим размером между центром

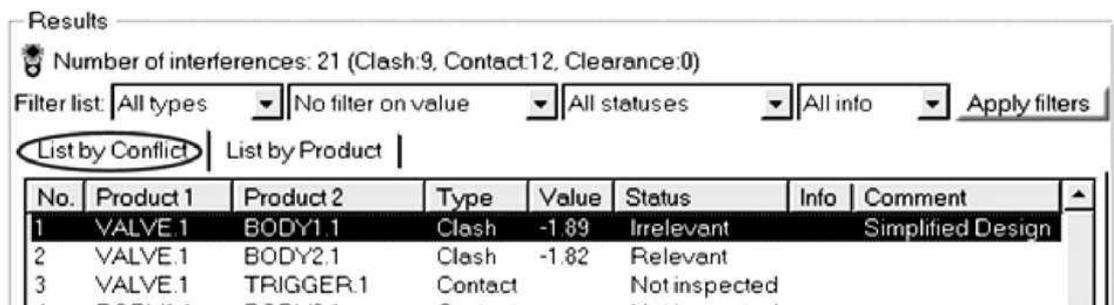
инерции и самым удаленным элементом.

Так как в большинстве случаев плоскость сечения не удовлетворяет желаемому расположению или размерам, в распоряжении пользователя имеются команды смещения центра, перемещения, поворота и изменения размеров плоскости.

Как правило, при проектировании пользователю необходимо убедиться в том, что компоненты спроектированного изделия не имеют взаимопересечений, а также проверить, что минимальное расстояние между заданной сборкой и другими компонентами находится в норме - например, обеспечивает возможность теплового расширения. Применяв команду контроля Computer Clash, пользователь может получить его результаты в соответствии с выбранной опцией:

- Clash: красные кривые пересечений означают сталкивающиеся компоненты;
- Contact: желтые треугольники означают контактирующие компоненты;
- Clearance: зеленые треугольники означают компоненты, отделяемые друг от друга расстоянием меньше допустимого.

Результаты анализа могут быть представлены в специальной таблице (реестре) с сортировкой по конфликтам или по сборкам (рис. 2.4).



No.	Product 1	Product 2	Type	Value	Status	Info	Comment
1	VALVE.1	BODY1.1	Clash	-1.89	Irrelevant		Simplified Design
2	VALVE.1	BODY2.1	Clash	-1.82	Relevant		
3	VALVE.1	TRIGGER.1	Contact		Not inspected		

Рис. 4.25. Реестр анализа конфликтных ситуаций

Управление сценами. Использование сцен является способом сохранения различных видов (состояний) сборки. Это средство позволяет иметь множество «экранных копий» сборки без изменения самой основной сборки. Сцены можно использовать:

- Для получения чертежей сборки;
- Для проверки новых положений и их последующего применения в основном окне САПР для сборки;
- Для генерирования отчетов;
- Для иллюстрации установки деталей сборки в рабочее состояние (путем скрытия, окраски и позиционирования компонентов);
- Для того, чтобы видеть эволюцию сборки.

В дереве проекта сцены располагаются в узле Scenes. Для создания и редактирования сцен используется специальный набор несложных команд.

По умолчанию сцена является копией основного окна или выбранной сцены. Пользователь может: высветить или скрыть отдельные компоненты; изменить цвет компонента без его модификации в основном окне сборки; задать новые положения, затем применять их к основной сборке и контролировать результат с помощью различных измерений; восстанавливать положения компонентов без их модификации в основном окне сборки; разбивать сборку в сцене на детали; создавать на основании сцены виды чертежа.

Работа с большими сборками. Известно, что сборки становятся все более и более громоздкими в силу того, что промышленные изделия становятся сложнее и требуют включения в них все большего числа компонентов. Сложность деталей также увеличивает число компонентов, что может снижать эффективность решения таких задач, как управление ограничениями сборки, формирование видов чертежа и т.д.

Одним из способов повышения эффективности работы системы, снижения загроможденности «обозреваемого пространства» и исключения компонент из видов чертежа является *скрытие компонентов*. Скрытие и последующее восстановление компонента обеспечивается с помощью команды Hide/Show. Скрытие может быть применено к отдельному компоненту, к компонентам при множественном выборе или к целой сборке.

Другим способом, преследующим аналогичные цели, является так называемая деактивация, выполняемая с помощью команды Representations / Deactivate Node. Деактивация представлений похожа на скрытие компонентов, но дает дополнительные преимущества:

- Повышает эффективность при открытии сборки;
- Исключает представления для анализа большей части свойств.

Если Вы хотите сохранить сборку с рядом компонент, представление которых деактивировано, Вы должны сохранить их статус в файле SATProduct. Можно повысить эффективность работы системы за счет автоматической деактивации представлений при открытии сборки. Для этого следует воспользоваться командой Options/Product Structure/Do not activate default shapes on open.

Еще одним способом повышения эффективности является задание глубины открытой сборки. При этом в случае большой сборки Вы не будете загружать все «входящие» документы. Это средство работает при следующей настройке опций:

- Опция “Load referenced documents” в разделе Tools/Options/General

неотмечена;

- Опция “Work with the cache” в разделе Tools / Options / Infrastructure / Product Structure / Cache Management отмечена;
- Опция “Do not activate default shapes on open” в разделе Tools / Options / Infrastructure / Product Structure / Product Visualization отмечена (необязательно).

4.7. Программное обеспечение SOLIDWORKS.

Начало работы. Программа SolidWorks представляет собой интегрированную среду трёхмерного моделирования, которая использует графический интерфейс Microsoft Windows. Она предоставляет полный цикл моделирования: проектирование трёхмерных деталей, сборок из отдельных деталей, сборочных чертежей и детализовок, а также представление моделей в реалистичном (визуализация) и динамичном (анимация) виде. Для проектируемых трёхмерных деталей и сборок можно создавать двухмерные чертежи. Детали, сборки и чертежи являются связанными документами; при внесении любых изменений в детали или сборки документ чертежа изменяется.

Основные элементы интерфейса SolidWorks 2011 (рис. 4.26): строка меню, расположенная в верхней части окна программы; пиктограммы команд, дерево конструирования (аналог браузера в Autodesk Inventor) и графическая область, в которой происходит построение изображения.

Строка меню содержит практически все команды SolidWorks. Меню и элементы меню отображаются в зависимости от типа активного документа и настройки рабочего процесса.

Пиктограммы команд - это контекстная панель инструментов, которая обновляется автоматически в зависимости от панели инструментов, к которой требуется доступ. Например, при выборе вкладки «Эскизы» отображается панель инструментов «Эскизы».

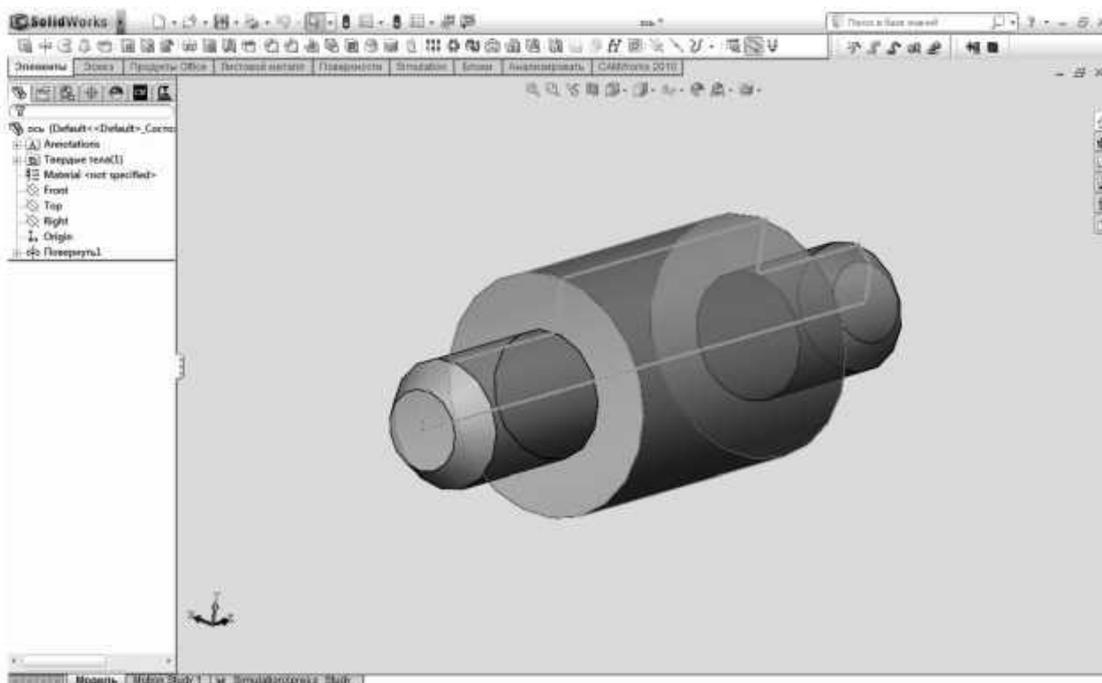


Рис. 4.26. Интерфейс SolidWorks 2011

В дерево конструирования Feature Manager в левой части окна SolidWorks и графическая область динамически связаны. Можно выбирать элементы, эскизы, чертёжные виды и вспомогательную геометрию в любой из областей окна.

Создание 2D-чертежа. В строке меню выберем команду *«Файл/Новый.»*, в открывшемся диалоговом окне *«Стандарт единиц измерений и размеров»* выберем единицы измерений СИ и стандарт нанесения размеров по ГОСТ. Затем появляется диалоговое окно создания файла, в котором выберем *«Двухмерный технический чертёж, обычно детали или сборки»*. Откроется следующее диалоговое окно, в котором предлагается выбор формата листа. После выбора пользователем формата листа откроется чертёж с выбранным форматом, например, А1 ГОСТ (рис. 4.27). При необходимости редактирования формата листа выделим левой клавишей в *«Дереве конструирования»* пункт *«Формат листа 1»* и щёлкнем правой клавишей мыши по этому выделенному пункту, выберем в контекстном меню *«Свойства»* - появится диалоговое окно *«Свойства листа»*, в котором можно выбрать другой формат.

Используем вкладку *«Эскиз»* для построения проекций детали или узла. Приёмы нанесения размеров аналогичны Autodesk Inventor: при наведении курсора на элемент эскиза появляется текущий размер элемента, а его редактирование осуществляется двойным щелчком по размеру.

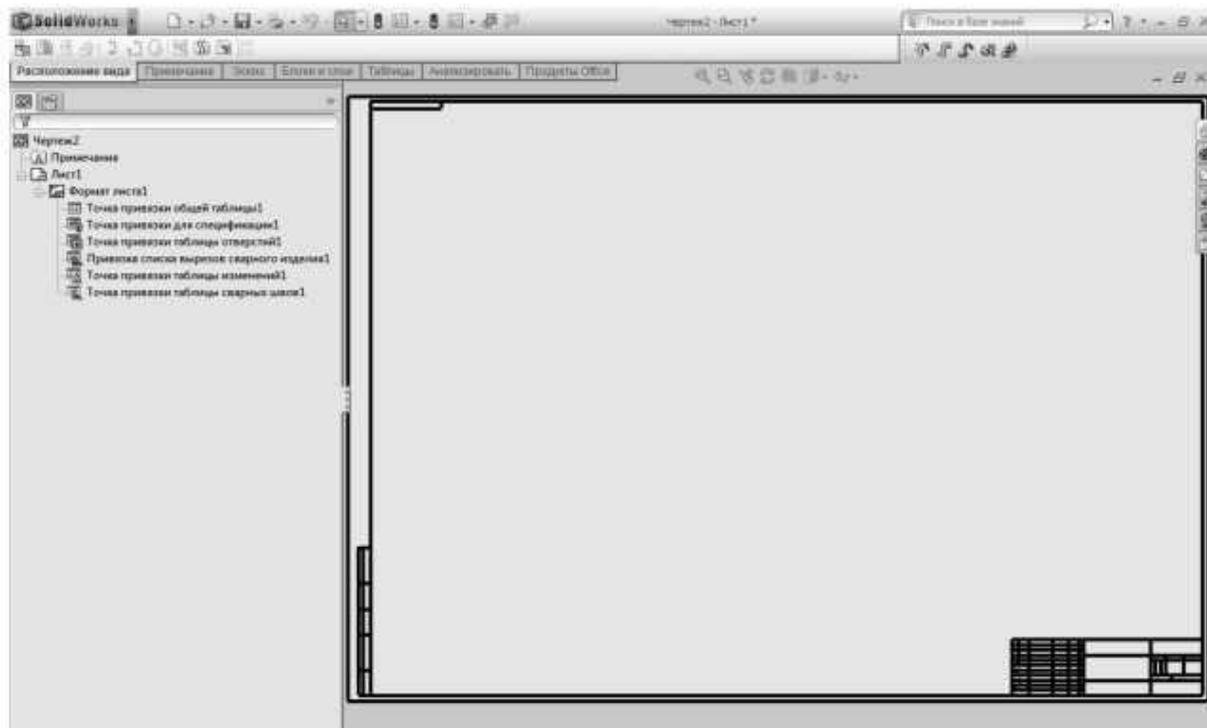


Рис. 4.27. Окно создания 2D-чертежа

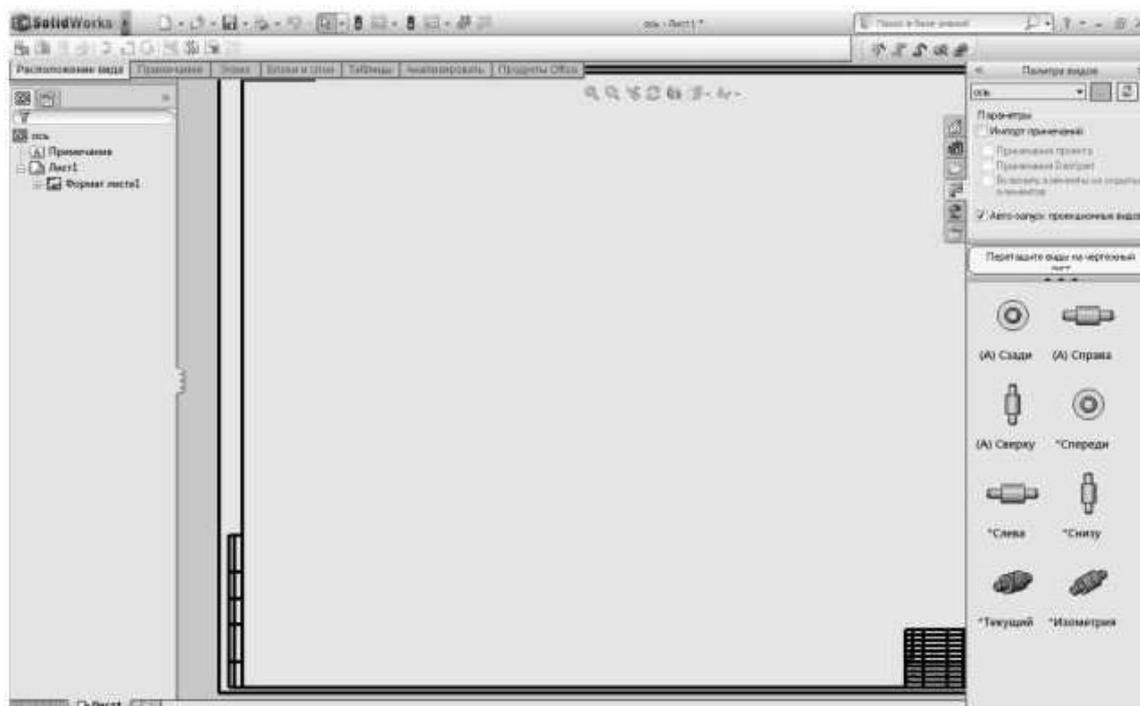


Рис. 4.28. Окно создания 2D-чертежа из твердотельной модели.

Теперь рассмотрим приём создания чертежа из твердотельной модели детали.

При открытой твердотельной модели выполним команду «*Файл/Создать чертёж из детали*». В открывшемся диалоговом окне «*Формат*

листа/Размер» выберем формат листа, например, А1 по ГОСТ. Откроется чертёж с выбранным форматом.

Справа от графической области появится окно «Палитра видов». Перетащим необходимые виды на чертёжный лист. При этом появится изображение изделия, соответствующее движению мыши: если вниз - вид сверху, вправо - вид слева. Нанесение и редактирование размеров осуществляется командой «Автоматическое нанесение размеров».

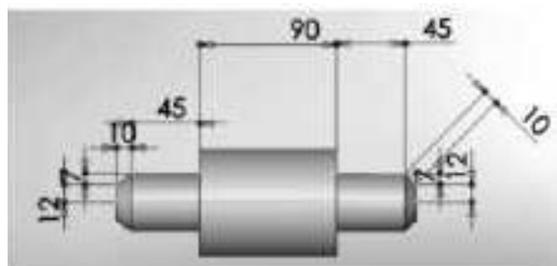


Рис. 4.29. Эскиз оси.

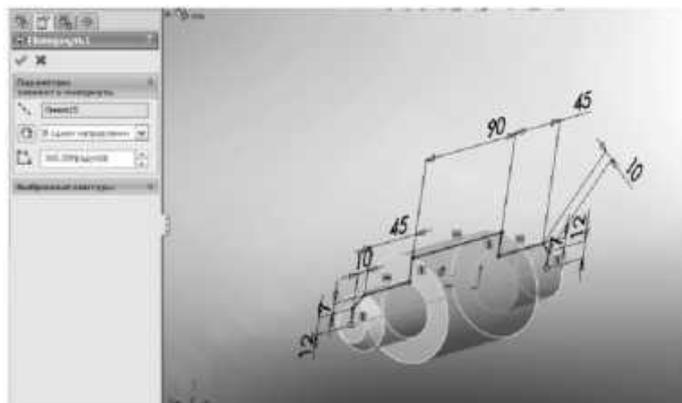


Рис. 4.30. Применение команды «Повёрнутая бобышка/основание».

Создание твердотельной модели. Рассмотрим этапы создания детали типа ось. Выполним команду «Файл/Новый», в открывшемся диалоговом окне «Новый документ SolidWorks» выберем «Трёхмерное представление одного компонента». Откроется рабочее пространство нового чертежа. В «Дереве конструирования» предлагается использовать какую-либо плоскость, на которой будет создан эскиз. Выберем плоскость «Right» (вид справа). Используя команды построения эскиза, определим конфигурацию изделия, нанесём размеры, как показано на рис. 4.29. Выйдем из эскиза и откроем вкладку «Элементы», в которой отображаются команды создания твердотельной модели. В этой вкладке выберем пиктограмму «Повёрнутая бобышка/основание».

В «Дереве конструирования» отобразится окно, в котором указаны эскиз оси, направление поворота и угол поворота. Подтвердим эти данные, нажав кнопку «ОК» и получим твердотельную модель оси.

Создание сборки. Рассмотрим этапы создания сборки пневмоцилиндра. В качестве заготовок (деталей) используем чертежи, созданные в Autodesk Inventor и импортированные в SolidWorks.

Для импорта детали в SolidWorks откроем эту деталь в Autodesk Inventor. Вызовем команду «Файл/Сохранить копию как», в открывшемся диалоговом окне укажем папку сохранения, а в строке «Тип файла»: «Файлы IGES». Затем в SolidWorks вызовем команду «Файл/Открыть», выберем сохранённый с расширением *.iges, файл детали. Произойдёт импорт этого

файла. Если необходимо проанализировать импортированную поверхность, то в открывшемся сообщении укажем «Да», после чего в «Дереве конструирования» будет сообщение о том, что в геометрии детали не осталось неправильных граней и зазоров. Нажмём «ОК». В «Дереве конструирования» выберем требуемый материал детали путём нажатия правой клавишей мыши на строку «Материал детали не указан» и из раскрывшегося списка материалов (диалоговое окно «Материал» открывается выбором строки «Редактировать материал» из выпадающего меню) выберем необходимый. На этом импорт детали закончен.

Сборку создадим путём вызова команды «Файл/Новый/Трёхмерное расположение деталей и других сборок». Откроется новый файл. Этот же файл можно создать непосредственно из трёхмерного изображения какой-либо детали, входящей в сборку, вызвав команду «Файл/Создать сборку из детали». В том и другом случае становится активной вкладка «Сборка», а в «Дереве конструирования» откроется меню «Вставить компонент», в котором с помощью кнопки «Обзор» можно вставить компоненты сборки. В дальнейшем в «Дереве конструирования» будут отображаться детали, входящие в сборку.

Первым компонентом, который вставим в сборку, будет корпус 1. Он будет базовым для всех деталей новой сборки.

Выберем пиктограмму «Вставить компоненты». В «Дереве конструирования» откроется вкладка «Вставить компонент», нажмём кнопку «Обзор» и из папки сохранения выберем файл «корпус1.Sprt». В графическую область будет вставлен корпус. Таким же образом вставим «крышку с проушиной 2». Зададим условия сопряжения этих деталей путём пиктограммы «Условия сопряжения». В «Дереве конструирования» откроется вкладка «Сопряжение». Выберем поверхность корпуса и окружность крышки, а во вкладке «Стандартные сопряжения» отметим «Концентричность» (рис. 4.30) и нажмём «ОК». Если будет необходимо перенести «крышку с проушиной 2», то воспользуемся командой «Переместить компонент». В этом случае с помощью мыши перенесём деталь вдоль оси «корпуса 1» до соприкосновения торцевых поверхностей.

Затем последовательно начнём вставлять в сборку остальные детали и сборочную единицу поршень со штоком, задавая соответствующие условия сопряжения между ними. В результате описанных операций имеем сборку пневмоцилиндра (рис. 4.31). Сохраним этот файл под именем *пневмоцилиндр.skdasmtx*

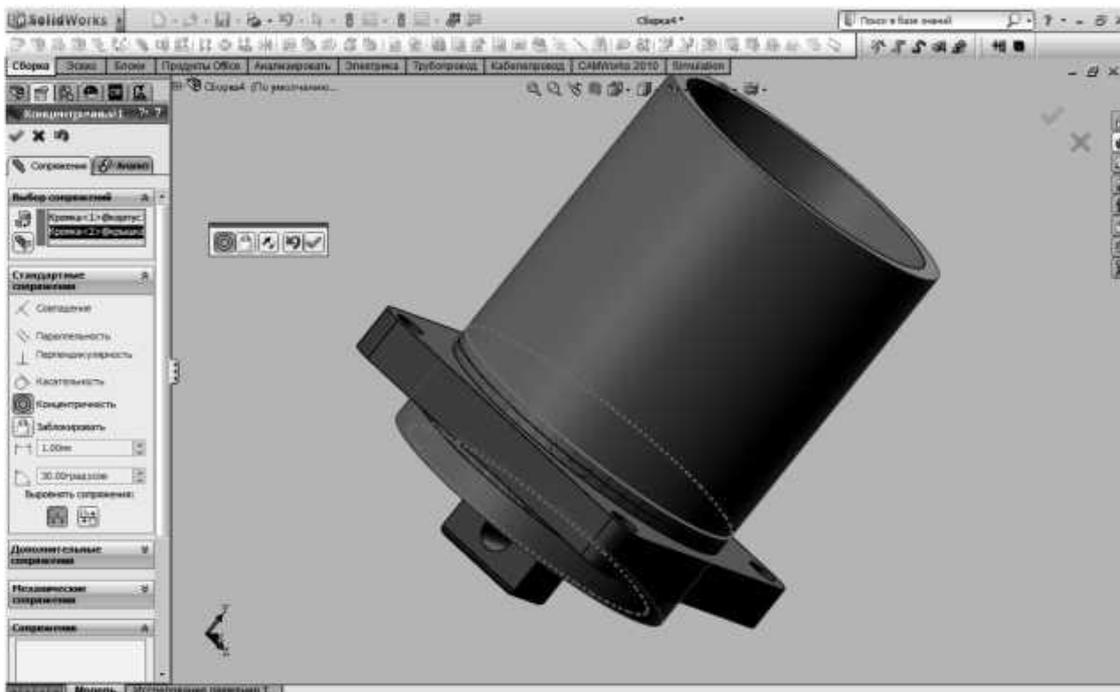


Рис. 4.31. Применение команды «Условия сопряжения».

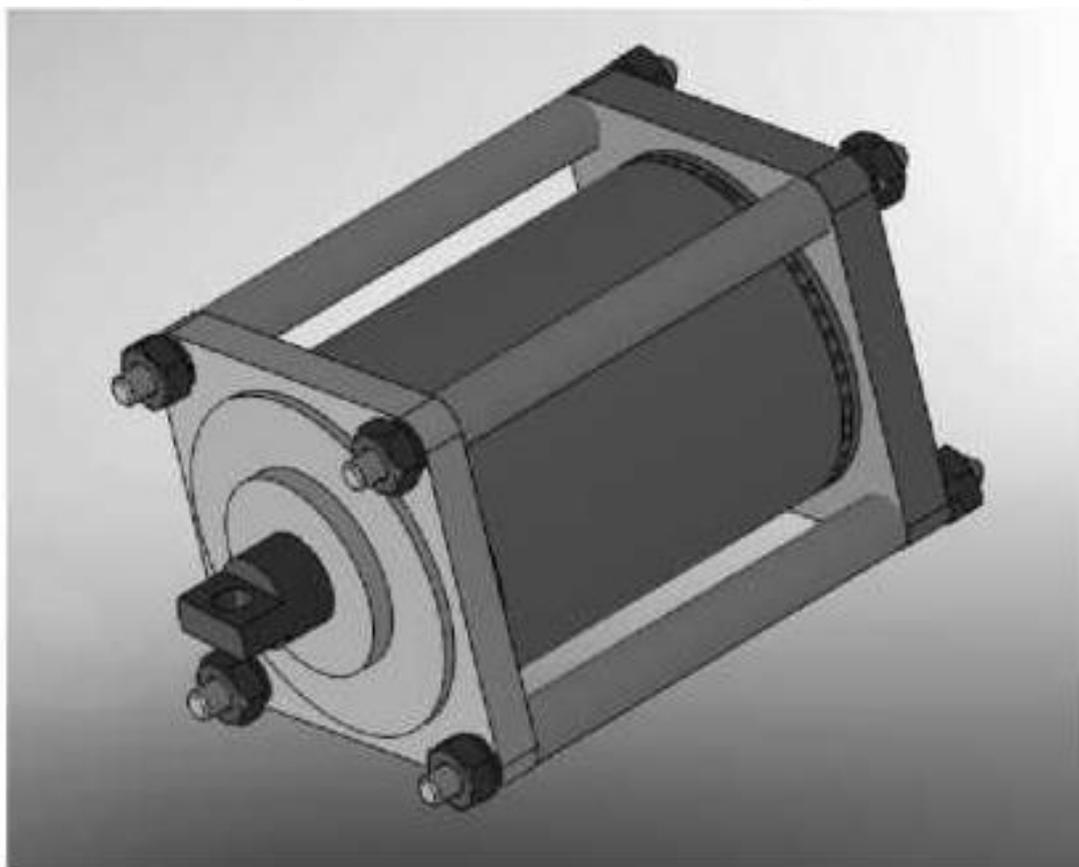


Рис. 4.32. Твёрдотельная модель пневмоцилиндра.

Создание сборочного чертежа. В стандартной панели инструментов выполним команду «*Файл/Новый*» и в открывшемся диалоговом окне выберем «*Двухмерный технический чертёж, обычно детали или сборки*», нажмём на кнопку «ОК». В графической области появится новый чертёж и отобразится окно «*Вид модели*». Если создаётся сборочный чертёж из

твердотельной модели пневмоцилиндра, то она уже присутствует в элементах для создания чертежа. Нажмём на синюю стрелку, означающую команду «Далее» (рис. 4.32). В следующем окне указываем, сколько видом необходимо и нажимаем на зелёный флажок.

Нанесение размеров осуществляется командой «Автоматическое нанесение размеров». При наведении курсора на элемент эскиза появляется текущий размер элемента.

Создание схемы разборки. Выберем пиктограмму «Вид с разнесёнными частями». В «Дереве конструирования» откроется вкладка «Разнести», в которой осуществляем последовательный выбор деталей пневмоцилиндра в порядке его разборки. Деталь подсвечивается синим цветом и имеет возможность перемещения по трём осям. Перемещаем детали вдоль оси корпуса пневмоцилиндра. Во вкладке «Разнести» будут отображаться шаги разнесения деталей (рис. 4.33). После завершения разнесения нажмём «ОК».

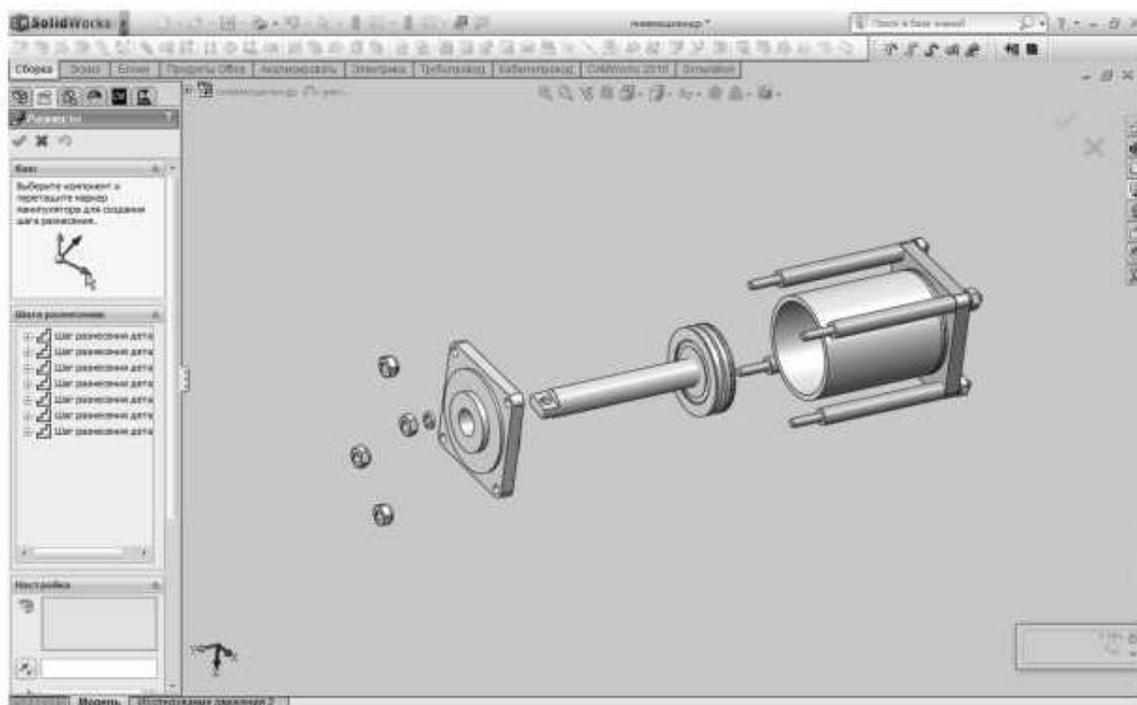


Рис. 4.33. Применение команды «Вид с разнесёнными частями»

Для создания анимации движения разборки используем пиктограмму «Исследование движения 2», размещённую в нижней части рабочего пространства. Откроется диалоговое окно «Выбор типа анимации», в котором укажем «Разнести». Нажмём на кнопку «Далее». В окне «Параметры управления анимацией» укажем длительность 10 с и нажмём кнопку «Готово». Нижняя часть рабочего пространства станет активной и нажмём на воспроизведение. Составные части пневмоцилиндра начнут перемещаться в соответствии с заданными ранее условиями.

Расчёты в среде SOLIDWORKS PREMIUM 2011. Исследование напряжённо-деформированного состояния деталей и узлов разрабатываемой конструкции.

Проанализируем действие давления сжатого воздуха при рабочем давлении в пневмосистеме равным 0,4 МПа на корпус пневмоцилиндра.

Откроем файл *«корпус1.sldprt»*.

Для анализа напряжённо-деформированного состояния корпуса пневмоцилиндра используем модуль «Simulation». Переход к данному модулю можно осуществить путём выбора команды «Simulation/Исследование...» в основном меню SolidWorks 2011 или активизации вкладки «Simulation» и выбора пиктограммы «Консультант исследования» с последующим выбором из ниспадающего меню пиктограммы «Новое исследование». В «Дереве конструирования» открывается вкладка «Исследование», в которой выберем «Статическое» и нажмём кнопку «ОК». После выполнения данной операции становятся активными пиктограммы, расположенные справа от пиктограммы «Консультант исследования».

Выберем пиктограмму «Применить материал». В открывшемся диалоговом окне «Материал» выберем «Сталь нормализованная».

Для определения поверхностей, которые подлежат фиксации (корпус закрыт двумя торцевыми крышками), нажмём на пиктограмму «Консультант по креплениям» с последующим выбором из ниспадающего меню пиктограммы «Фиксированная геометрия».

Для определения поверхностей, на которые действуют нагрузки (внутренняя поверхность корпуса), нажмём на пиктограмму «Консультант по внешним нагрузкам» с последующим выбором из ниспадающего меню пиктограммы «Сила». В «Дереве конструирования» открывается вкладка «Давление», в которой укажем величину давления 40 Н/м², выберем внутреннюю поверхность корпуса и нажмём кнопку «ОК».

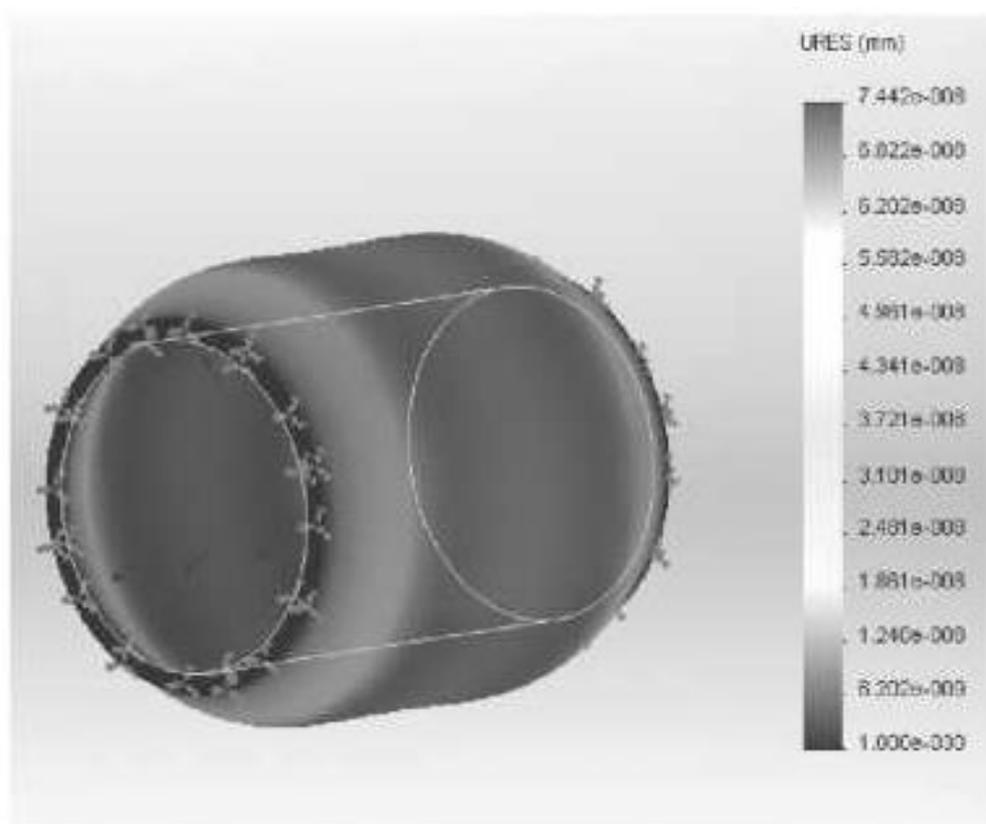


Рис. 4.34. Иллюстрация величины перемещения

Для создания конечно-элементной сетки нажмём на пиктограмму «Запуск» с последующим выбором из ниспадающего меню пиктограммы «Создание сетки». В «Дереве конструирования» открывается вкладка «Сетка», в которой сдвинем ползунок в сторону «Грубее» и нажмём кнопку «ОК».

Нажмём на пиктограмму «Запуск» для запуска расчёта. В «Дереве конструирования» отобразятся результаты расчёта. Выберем «Перемещение» и в рабочей области будет показана деформированная модель корпуса с распределением перемещений по телу корпуса (рис. 4.34).

Для генерации отчёта в Word выберем пиктограмму «Отчёт».

4.8. Программное обеспечение T-FLEX

Начало работы. T-FLEXCAD - полнофункциональная система автоматизированного проектирования, обладающая всеми современными средствами разработки проектов любой сложности. Система объединяет мощные параметрические возможности трёхмерного моделирования со средствами создания и оформления конструкторской документации. Технические новшества и хорошая производительность в сочетании с хорошим и понятным интерфейсом делают T – FLEX CAD универсальным и эффективным средством проектирования изделий основного производства и комплекса необходимой оснастки.

T - FLEX CAD имеет контекстно - зависимый Help. Это подразумевает, что в каждый текущий момент на экране отображается справочная информация, относящаяся к конкретной выполняемой команде или её отдельной функции. Если в текущем разделе «*Help*» встречается текст, выделенный зелёным цветом с подчёркиванием, то, указав курсором мыши на этот текст и нажав левую кнопку, можно перейти к разделу, в котором более подробно описано данное понятие.

Разделы «Help» описывают назначение команд, а также функции, доступные при работе с данной командой, пиктограммы и клавиши клавиатуры, соответствующие каждой функции.

Окно «Help» снабжено вертикальной полосой прокрутки, при помощи которой можно перемещать справочную информацию по экрану. Вызов «Help» осуществляется нажатием клавиши «F1».

При запуске системы на экране появляется окно диалога, включающее несколько возможностей открытия документов T-FLEX CAD (рис. 3.48).

В верхней части рабочего окна T-FLEXCAD 11, например, при выборе создания новой 3D-модели располагается основное меню и пиктограммы команд, слева «*Дерево конструирования*» (аналог браузера в Autodesk Inventor и SolidWorks), а справа от дерева конструирования рабочая область, в которой происходит построение детали (рис. 4.35).



Рис. 4.35. Стартовое окно при запуске T-FLEX CAD 11

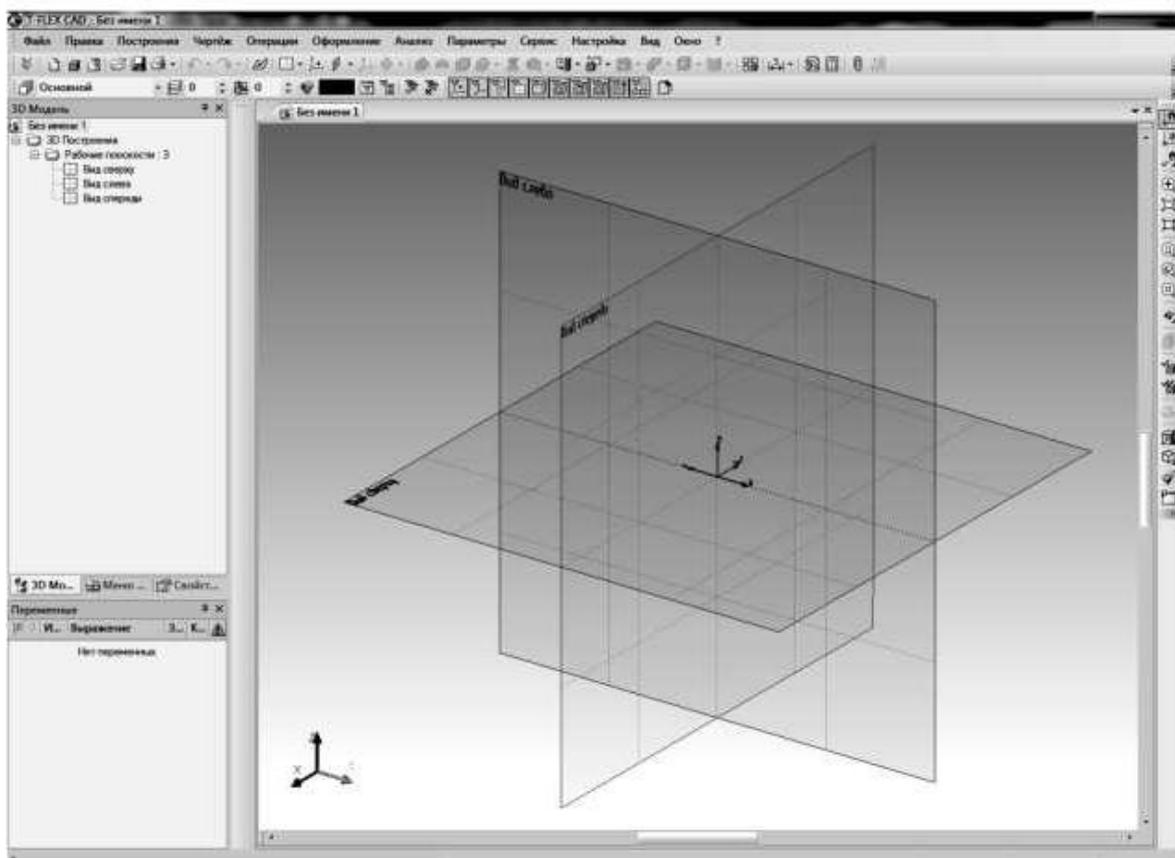


Рис. 4.36. Интерфейс T-FLEX CAD 11

В системе T-FLEXCAD 11 чертёж может быть построен одним из следующих способов:

- *параметрический чертёж.* Это основной режим работы системы T-FLEX CAD 11. Используя преимущества параметрического проектирования T-FLEX CAD 11, можно создать чертёж, который будет при необходимости легко изменяться. Этот чертёж можно использовать в качестве элемента параметрической библиотеки для использования его в других, более сложных, чертежах;
- *непараметрический чертёж.* Чертёж строится аналогично большинству известных систем, т.е. сразу наносятся линии изображения (используется команда «Чертёж/Эскиз»). В этом случае задание параметрических связей между линиями чертежа не возможно;
- *быстрое построение параметрического чертежа. Автоматическая параметризация.* Этот способ позволяет автоматически создавать параметрические чертежи, используя для черчения только средства эскиза (т.е. непараметрического чертежа). Пользователь строит только линии изображения, пользуясь объектными привязками. При этом система автоматически «подкладывает» под эти линии изображения необходимые линии построения, связанные параметрическими зависимостями. Тип параметрических зависимостей система определяет по использованным пользователем объектным привязкам. Например, если отрезок строится как параллельный другому отрезку, то система автоматически создаст линию построения - прямую, параллельную прямой, на которой лежит исходный отрезок. Этот отрезок будет лежать на линии построения - прямой, т.е. будет в параметрической зависимости от другого отрезка.

Принципы работы с 2D и 3D изображениями аналогичны описанным ранее, т.е. подходы такие же, как и для Autodesk Inventor 2011 и SolidWorks 2011. Поэтому далее рассмотрим особенности импорта в T - FLEX CAD 11 твердотельных моделей, созданных в других CAD- программах.

Импорт в T-FLEXCAD 11 возможен для следующих форматов:

Файлы AutoCAD (*.dwg), Файлы AutoCAD DXF (*.dxf), Файлы AutoCAD DXB (*.dxb),	Для 2D чертежей
Parasolid (*.xmt_txt, *.x_t, *.x_b, *.xmt_bin), IGES 3D (*.igs, *.iges), STEP AP214/203 3D (*.stp, *.step), SolidWorks (*.sldprt, *.prt, *.sldasm, *.asm), Solid Edge (*.asm, *.par, *.psm)	Для 3D моделей

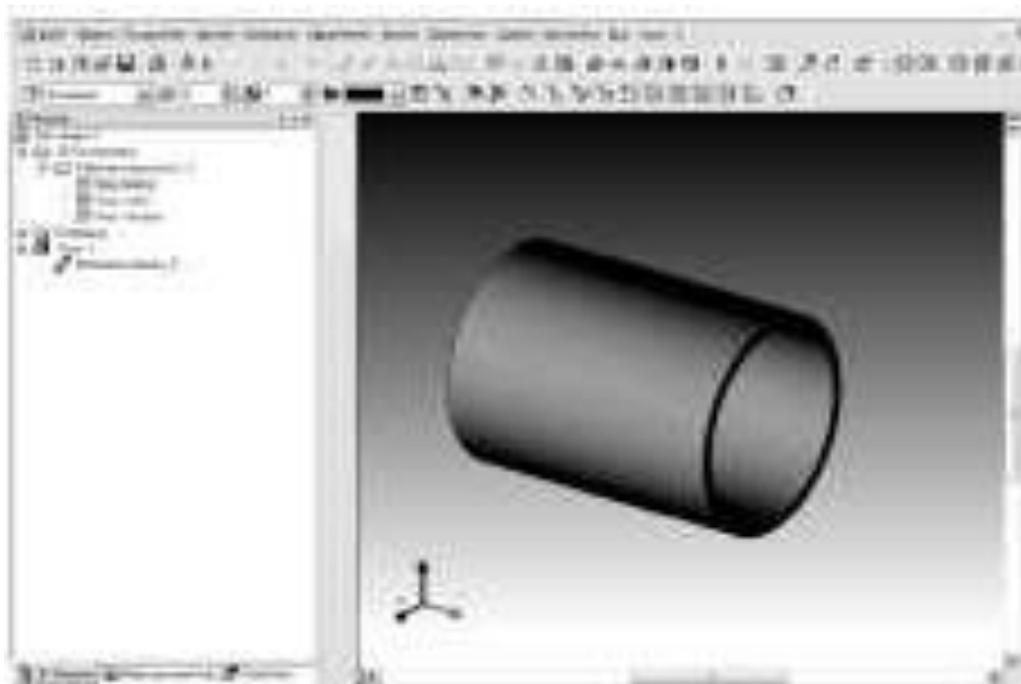


Рис. 4.37. Твёрдотельная модель корпуса в T-FLEX CAD 11

При переносе моделей из T-FLEXCAD 11 в другие системы и из других систем в T-FLEXCAD 11 настоятельно рекомендуется, при наличии выбора между форматами IGES и STEP, использовать формат STEP как более развитый.

Кроме вышеперечисленных форматов, 3D версия системы позволяет импортировать файлы форматов VRML 2.0 (*.wrl) и OpenInventor (*.iv) с помощью команды «Вставить 3D изображение».

Кроме того, возможен импорт файлов формата IDF (P-CAD) (*.brd, *.emn) с помощью отдельно устанавливаемого внешнего приложения.

После вызова команды на экране появится стандартное окно открытия файла. В данном окне необходимо указать имя импортируемого файла, его формат и дополнительные параметры.

Импортируем деталь «корпус 1. iges», вызвав команду «Файл/Импортировать», следуя указаниям диалогового окна. В результате импорта в рабочей области появится твёрдотельная модель корпуса (рис. 4.37).

Расчёты в среде T-FLEX. Исследование напряжённо-деформированного состояния деталей и узлов разрабатываемой конструкции

Статический анализ деталей и узлов. Основная цель статического прочностного анализа конструкций заключается в оценке напряжённого состояния конструкции, находящейся под действием не изменяющихся во времени (статических) силовых воздействий. Эта оценка напряжённого состояния выполняется обычно с целью проверки принятых конструкторских

решений на условие прочности.

В основном меню вызовем команду «Файл/Новая 3D модель». Затем вызовем команду «Файл/Импортировать» и вставим в рабочую область файл «корпус1.igs».

В основном меню вызовем команду «Анализ/Новая задача/Конечно-элементный анализ». В рабочей области подсветится твердотельная модель корпуса пневмоцилиндра, а в «Дереве конструирования» нажмём кнопку «Закончить ввод <Enter>». После этого действия в «Дереве конструирования» откроется окно «Параметры сетки», в котором выберем «Элементы: тетраэдры (10 узлов)» и нажмём на «Закончить ввод <Enter>». Произойдёт генерация конечно-элементной сетки, которая будет нанесена на корпус.

Назначим материал корпуса, вызвав команду «Анализ/Материал», и в открывшемся диалоговом окне «Материал задачи» выберем материал корпуса - «Сталь AISI1020».

Для моделирования нагрузок, действующих на корпус, вызовем команду «Анализ/Нагружение/Давление». В открывшемся диалоговом окне «Параметры давления» укажем внутреннюю поверхность корпуса и величину давления 40 Н/м².

Определим закрепление корпуса, вызвав команду «Анализ/Ограничение/Полное закрепление». В открывшемся окне «Параметры закрепления» укажем торцевые грани корпуса.



Рис. 4.38. Деформация корпуса

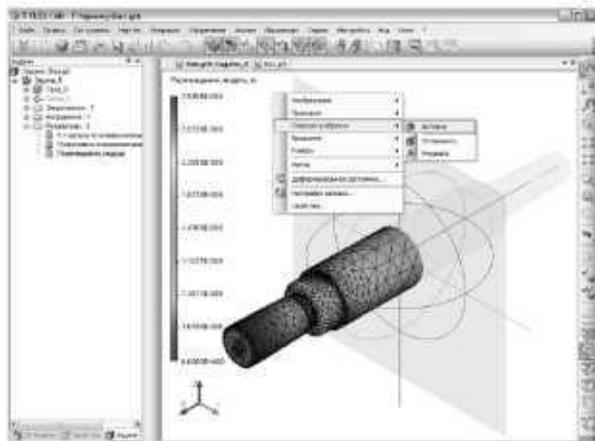


Рис. 4.39. Задание плоскости обрезки

Командой «Анализ/Расчёт» (при этом откроется окно «Параметры задачи (статический анализ)», в котором оставим все параметры по умолчанию) запустим процедуру расчёта нагрузок. В окне «Дереве конструирования» появится пункт «Задачи/Результаты». Развернём его и последовательно выбираем подпункты. Например, при выборе пункта «Перемещения, модуль» в рабочей области будет прорисована геометрия

корпуса с учётом эквивалентных деформаций корпуса (рис. 4.38).

В T-FLEX Анализ существует возможность построения сечений конечно-элементной сетки некоторой заданной пользователем плоскостью. Сечение конечно-элементной сетки плоскостью можно построить только в том случае, если успешно выполнен расчёт задачи конечно элементного анализа.

Для того чтобы построить сечение, необходимо из контекстного меню, вызываемого нажатием правой кнопки мыши в окне просмотра результатов расчёта, выбрать команду «*Плоскость обрезки/Активна*» (рис. 4.39).

Для создания отчёта выполним команду «*Анализ/Отчёт*».

Частотный анализ деталей и узлов. Модуль частотного анализа предназначен для расчёта собственных (резонансных) частот колебаний конструкций и соответствующих им форм колебаний. Задача расчёта собственных частот и соответствующих им форм колебаний возникает во многих практических случаях анализа динамического поведения конструкции под действием переменных нагрузок. Наиболее распространена ситуация, когда при проектировании возникает необходимость убедиться в малой вероятности возникновения в условиях эксплуатации такого механического явления, как резонанс.

В большинстве случаев возникновение резонанса является нежелательным явлением с точки зрения обеспечения надёжности изделия. Проверка спектральных свойств конструкции на возможность резонансов в рабочем диапазоне частот внешних воздействий на стадии проектирования позволяет внести в конструкцию изменения, способные изменить спектр собственных частот. Это позволит избежать или значительно уменьшить вероятность появления резонансов в процессе эксплуатации.

Для увеличения собственных частот необходимо придать конструкции больше жёсткости и (или) уменьшить её массу. Например, для протяжённого объекта можно повысить жёсткость, уменьшив длину или увеличив толщину объекта. Для уменьшения собственной частоты изделия необходимо, напротив, прибавить массу или уменьшить жёсткость объекта.

Частотный анализ осуществляется в несколько этапов. Последовательность действий при решении задачи частотного анализа во многом схожа с алгоритмом проведения статического анализа. Но имеются следующие особенности.

1. В задаче частотного анализа роль граничных условий выполняют только закрепления. Суммарно наложенные на перемещение тела ограничения должны удовлетворять следующему условию: для обеспечения частотного анализа модель должна иметь закрепление, исключаяющее её

свободное перемещение в пространстве, как твёрдого тела.

2. Перед выполнением расчёта необходимо указать количество собственных частот и, если необходимо, уточнить алгоритмы расчёта.

3. Результатами частотного анализа являются: частота собственных колебаний (Гц) - соответствует ожидаемой резонансной частоте конструкции. Теоретически количество собственных частот для любого тела бесконечно. В результатах отображаются только частоты для выбранных форм собственных колебаний.

Форма колебаний показывает, какие относительные деформации (перемещения) будет испытывать конструкция, в случае возникновения резонанса на соответствующей собственной частоте. Зная ожидаемую форму колебаний на некоторой собственной частоте, можно, например, задать дополнительное закрепление или опору в области конструкции, соответствующей максимуму данной формы колебаний, что приведёт к эффективному изменению спектральных свойств изделия.

4. В настройках постпроцессора в группе *«Метод конечных элементов»* пользователь может установить режим *«Производить расчёт линейным элементом»*, если нужно получить качественные результаты.

Однако расчёт линейных элементов обеспечивает недостаточную точность определения значений собственных частот. Значения частот при расчёте линейным конечным элементом могут быть значительно больше значений, получаемых при расчёте более точными методами. Рекомендуется для количественной оценки собственных частот использовать расчёт только квадратичным элементом (режим по умолчанию).

Анализ устойчивости деталей и узлов. Модуль анализа устойчивости предназначен для решения задачи, так называемой начальной устойчивости конструкции. Результатом расчёта является коэффициент критической нагрузки, при действии которой конструкция может скачкообразно перейти в новое равновесное состояние, и соответствующая этой нагрузке форма нового равновесного состояния. В этом случае возможна ситуация, когда критическая нагрузка, при которой произойдёт потеря устойчивости, может быть значительно меньше нагрузки, при которой произойдёт потеря прочности конструкции по критериям линейного статически-напряжённого состояния. То есть напряжения в материале конструкции могут не достигнуть предельных значений, но деформации из-за потери устойчивости могут привести к разрушению конструкции.

Например, для протяжённого объекта можно повысить устойчивость путём уменьшения длины или увеличения толщины объекта, либо можно создать дополнительные рёбра жёсткости.

Анализ устойчивости также осуществляется в несколько этапов. Последовательность действий во многом схожа с алгоритмом проведения статического или частотного анализа. Но имеются следующие особенности.

1. В анализе устойчивости, как и в статическом анализе, роль граничных условий выполняют закрепления и нагрузки. При анализе на устойчивость могут использоваться все типы закреплений и все виды силовых нагрузок. Температурные воздействия задаются также как и в статическом анализе.

2. Перед выполнением расчёта необходимо указать в свойствах задачи алгоритмы расчёта и количество форм потери устойчивости, которые хотелось бы проанализировать.

3. Результатами анализа устойчивости являются:

- коэффициент критической нагрузки - расчётное значение коэффициента, произведение которого на приложенные к системе нагрузки, даёт фактическое значение критической нагрузки, приводящей систему в новое равновесное состояние. Например, для модели приложена распределённая сила 1000 Н. Коэффициент критической нагрузки по результатам расчёта составил 109,18. Это означает, что первая форма устойчивого равновесного состояния для данной модели имеет критическую нагрузку 109 180 Н.

Коэффициент критической нагрузки должен быть положительным. Если в результате решения коэффициент критической нагрузки получился отрицательным, это означает, что при приложенных к конструкции нагрузках состояние потери устойчивого равновесия не может быть достигнуто.

Если коэффициент критической нагрузки получился положительным и меньше 1, это означает, что при заданных нагружениях система потеряет устойчивость, и конструкция нуждается в доработке. Если коэффициент критической нагрузки положителен и больше 1, значит, при заданных условиях нагружения потеря устойчивости конструкции не угрожает;

- относительные перемещения, соответствующие данной критической нагрузке. Этот тип результата отражает форму равновесного устойчивого состояния конструкции, соответствующую определённой критической нагрузке. Формы равновесных состояний, отображаемые в окне постпроцессора после завершения расчёта, представляют собой относительные перемещения.

В качестве дополнительного (справочного) результата можно вывести также перемещения конструкции под действием приложенных статических нагрузок, расчёт которых предшествует расчёту коэффициентов критических нагрузок.

Отметим также, что расчёт линейным элементом, как и в случае частотного анализа, менее точен, чем расчёт квадратичным.

Тепловой анализ деталей и узлов разрабатываемой конструкции.

Модуль теплового анализа предназначен для решения задач теплопроводности и теплопередачи. Целью осуществления тепловых расчётов обычно является определение температурных полей, а также тепловых потоков в объёме изделия. В модуле T-FLEX тепловой анализ можно проводить для установившегося режима (расчёт распределения температурных полей и тепловых потоков в предположении бесконечно-длительного периода времени, прошедшего после приложения тепловых нагрузок, при условии, что температура тела с течением времени не изменяется, и в каждую единицу времени элементарный объём тела отдаёт в окружающую среду столько же энергии, сколько получает извне или от внутренних источников тепла) и для нестационарного процесса (расчёт температурных полей осуществляется в функции времени).

Отметим следующие особенности методики проведения теплового анализа.

1. В тепловом анализе роль граничных условий выполняют прикладываемые к модели граничные и начальные температуры, источники тепловой мощности, тепловые потоки, а также условия теплообмена модели с окружающей средой - конвекция и излучение.

2. При задании температурных нагрузений необходимо отличать и правильно использовать два варианта задания нагрузки «Температура» (см. «Настройка процессора»): «Начальная температура» и «Температура».

Начальная температура используется для задания температурных нагрузок в начальный (нулевой) момент времени только для нестационарного теплового расчёта. Все температурные нагрузки, заданные без флага «начальная» считаются константными (неизменными) как в установившемся режиме, так и в нестационарном тепловом расчёте.

3. Результатами теплового анализа являются:

- температурные поля - распределение температуры по объёму модели;
- градиенты температуры по осям X, Y, Z, а также модуль градиента температуры (отображают степень изменения температуры по соответствующим осям системы координат);
- результирующие тепловые потоки по осям X, Y, Z, а также модуль результирующего теплового потока (показывают интенсивность передачи тепловой энергии, определённую по результатам решения задачи теплового анализа).

Кроме указанных результатов, в качестве справочных данных в окне

постпроцессора можно отобразить: приложенный тепловой поток (соответствует заданным исходным параметрам тепловых нагружений); известные температуры (приложенные к модели неизменные температурные нагрузки); начальные температуры (приложенные к модели начальные температуры для нестационарного теплового анализа).

С целью наиболее оптимального проведения теплового анализа и форм представления результатов анализа следует обратить внимание на настройки процессора теплового анализа.

На закладке «*Общие*» можно определить или изменить описательные свойства текущей задачи: имя, тип задачи, комментарий.

Закладка «*Расчёт*» содержит настройки для решения систем алгебраических уравнений, аналогичные по смыслу настройкам задачи «*Статический анализ*».

В большинстве случаев при осуществлении тепловых расчётов можно использовать режим «*Производить расчёт линейным элементом*», что позволяет осуществить расчёт значительно быстрее. В отличие от задач статики, частотного анализа и анализа устойчивости, результаты расчётов в предположении линейной интерполяции полей температур по объёму модели обычно не сильно отличаются от соответствующих результатов, полученных при использовании квадратичной интерполяции.

На закладке «*Параметры*» перед выполнением расчёта можно указать тип решаемой задачи теплового анализа: стационарная (установившийся режим) или нестационарная теплопроводность (нестационарный процесс). Для нестационарной теплопроводности необходимо также установить временной интервал («*Конечное время моделирования*»), временной шаг и начальную температуру.

Элемент управления «*Использовать заданные начальные температуры*» в тепловом расчёте позволяет определить в качестве начальной температуры: заданную при помощи команды «*Анализ/Тепловые нагрузки/Температура*» начальную температуру; температуру, заданную по умолчанию в тех узлах конечно-элементной сетки, где начальная температура не определена пользователем.

В учебном пособии описаны основы работы в ряде программ твердотельного моделирования, которые могут использоваться при проектировании режущего инструмента, технологической оснастки и элементов конструкции станков различного назначения.

Столь широкий набор программ, представленный в настоящем пособии, обусловлен желанием автора дать читателю такой объём информации, который позволил бы ему уверенно ориентироваться в

современных методах проектирования и оптимизации процессов резания и технологического оборудования, применяемых при этом программных средствах. Освоив на практике методы работы с описанными выше CAD/CAE-системами, читатель сможет оценить преимущества и недостатки каждой из них, подобрать для условий своей профессиональной деятельности наиболее приемлемую.

Данное учебное пособие открывает цикл учебных пособий, в которых будут отражены аспекты применения CALS-технологий в машиностроении, а именно описаны приёмы работы с САМ, САРР и РДМ-системами, используемыми для моделирования обработки материалов, создания управляющих программ для станков с ЧПУ, проектирования технологических процессов изготовления и сборки изделий машиностроительных производств, управления проектом и документооборотом на предприятии.

Список сокращений

CALS (Continious Acquisition and Life-Cycle Support) - 1) Информационная поддержка изделия на всех этапах жизненного цикла, 2) Непрерывные поставки и поддержка жизненного цикла изделия. **PLM** (Product Lifecycle Management) - управление жизненным циклом изделия.

CRM (Customer Relationships Management) - управление взаимоотношениями с заказчиками.

CAD (Computer Aided Design) - система автоматизированного проектирования.

CAM (Computer Aided Manufacturing) - система автоматизированного производства.

CAE (Computer Aided Engineering) - автоматизированное конструирование.

CAPP (Computer Aided Production Planning) - разработка техпроцессов.

PDM (Product Data Management) - система управления проектными данными.

SCM (Supply Chain Management) - система управления цепочками поставок.

CPC (Collaborative Product Commerce) - система управления данными в интегрированном информационном пространстве.

MRP (Manufacturing Requirement Planning) - система планирования производства и требований к материалам.

MES (Manufacturing Execution Systems) - производственная исполнительная система.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – диспетчерское управление и сбор данных.

CNC (Computer Numerical Control) - компьютерное числовое программное управление.

IETM (Interactive Electronic Technical Manuals) - интерактивные электронные технические руководства.

MPM (Manufacturing Process Management) - моделирование и анализ производства изделия.

Workflow- предварительно запланированные потоки бизнес-процессов (потоки работ).

АС - автоматизированная система.

БД - база данных.

БП - технология быстрого «макетирования», быстрого создания опытных образцов.

ЕИП - единое информационное пространство.

ЖЦИ - жизненный цикл изделия.

ЗИП - запчасти и принадлежности.

ИПИ - Информационная Поддержка жизненного цикла Изделий.

ИСА - Интегрированная система автоматизации.

СМК - система менеджмента качества.

САПР - система автоматизированного проектирования.

ТОиР - техническое обслуживание и ремонт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хрусталёв, Д. Об особенностях применения импортных компонентов в военной и специальной технике / Д. Хрусталёв // Компоненты и технологии. - 2001. - № 7. - С. 4-5.
2. Якубайтис, Э.А. Информационные сети и системы / Э.А. Якубайтис. - М.: Финансы и статистика, 1996. - 234 с.
3. Ли, К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. - СПб. : Питер, 2004. - 560 с.
4. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования : учебник. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 336 с.
5. FEA.RU|CompMechLab - О системе Unigraphics. <http://www.fea.ru/education/cad/unigraphics/>.
6. FEA.RU|CompMechLab - О системе CATIA. <http://www.fea.ru/education/cad/catia/>.
7. Autodesk Inventor: Autodesk Inventor. <http://www.inventor.ru/>.
8. FEA.RU|CompMechLab - О системе SolidWorks. <http://www.fea.ru/education/cad/solidworks/>.
9. SolidWorks::<http://www.solidworks.com/sw/products/details.htm?productid=514>.
10. АСКОН - комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством. CAD/AEC/PLM. <http://ascon.ru/>.
11. Топ Системы - разработчик программного PLM-комплекса T-FLEXCAD/CAM/CAE/CAPP/PDM. <http://www.tfex.ru/>.
12. Nei Nastran в России и СНГ - Система конечно-элементного анализа CAD/FEA/CAE. <http://www.nenastran.ru/>.
13. Welcom to ANSYS, Inc. - Corporate Homepage. <http://www.ansys.com>.
14. ANSYS, Inc. Products. <http://www.ansys.com/products/default.asp>.
15. LS-DYNA.RU - результаты расчётов, учебные курсы, новости. <http://www.ls-dyna.ru/>.
16. TechnologiCS 6|TechnologiCS. <http://www.technologies.ru/>.
17. Consistent Software. <http://www.consistent.ru/soft/>.

Оглавление

Введение

ГЛАВА 1. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИХ МЕСТО СРЕДИ ДРУГИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Этапы жизненного цикла изделия.

- .1. Структура САПР. 1
- .2. Классификация САПР. 2
- .3. Функции и проектные процедуры, реализуемые в САПР. 3
- .4. Примеры программ. 5
- .5.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ 9

CALS-технологии

- .1. STEP-технологии 9
- .2. CASE-технологии 6
- .3.

ГЛАВА 3. КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ CAD/CAM/CAE СИСТЕМ 1

История развития мирового рынка CAD/CAM/CAE

- .1. систем 1
- .2. Общее классификация CAD, CAM, CAE систем 3
- .3. Интеграция CAD, CAM, CAE 9
- .4. Система CAD 3
- .5. Система CAM 1
- .6. Система CAE 4

ГЛАВА 4. ПОНЯТИЕ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	6
Стадии проектирования	
.1. Программное обеспечение AUTOCAD	6
.2. Программное обеспечение КОМПАС	7
.3. Программное обеспечение NX (UNIGRAFICS)	06
.4. Программное обеспечение CIMATRON	13
.5. Программное обеспечение CATIA	27
.6. Программное обеспечение SOLIDWORKS	39
.7. Программное обеспечение T-FLEX	55
.8. Список сокращений	63
Литература	73
Оглавление	74
	75