

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Л. А. Чемпинский, Н. Д. Проничев, А. В. Кузнецов,  
А. И. Кондратьев**

**Моделирование сложно-фасонных деталей при  
использовании современных в САД/САМ /САЕ  
программных продуктов**

Интерактивное мультимедийное пособие

Система дистанционного обучения «Moodle»

САМАРА  
2011

Авторы: **Чемпинский Леонид Андреевич,  
Проничев Николай Дмитриевич,  
Кузнецов Антон Владимирович,  
Кондратьев Александр Игоревич**

Редакторская обработка Л. А. Чемпинский  
Компьютерная верстка А. И. Кондратьев  
Доверстка А. И. Кондратьев

**Моделирование сложно-фасонных деталей при использовании современных в CAD/CAM /CAE программных продуктов**

[Электронный ресурс] : интерактив. мультимед. пособие: система дистанц. обучения «Moodle» / Л. А. Чемпинский, Н. Д. Проничев, А.В. Кузнецов, А.И. Кондратьев; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (750 Кбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Интерактивное мультимедийное пособие разработано на кафедре производства двигателей летательных аппаратов факультета двигатели летательных аппаратов и предназначено для студентов, обучающихся по специальности 151001 – Технология машиностроения. Представленные материалы могут быть использованы на кафедре производства двигателей летательных аппаратов факультета двигателей летательных аппаратов. Рассматриваются вопросы компьютерного моделирования в CAD/CAM/CAE, включая основы и принципы построения. Особое внимание уделяется вопросом построения моделей современного металлообрабатывающего оборудования.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2011

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Лекция 1 Обзор современного состояния автоматизированного проектирования, цели и задачи курса геометрического моделирования в среде CAD/CAM/CAE систем.....	7
2 Лекция 2. Геометрические модели, способы их представления, основы объемного моделирования .....	14
3 Лекция 3 Плоские модели изделий, способы их формирования и использования.....	23
3.1 Алгоритмы построения плоских моделей.....	23
3.2 Рабочие чертежи деталей .....	25
3.3 Выбор изображений. Нанесение размеров на плоские модели. Нанесение параметров шероховатости поверхностей и взаимного расположения поверхностей.....	27
3.4 Запись технических требований и оформление основной надписи в автоматизированном режиме .....	28
3.5 Построение базовых элементов произвольной формы.....	28
3.6 Построение БЭФ методом «Лифт».....	29
3.7 Построение БЭФ методом «Труба».....	30
3.8 Построение БЭФ методом «Сечение» .....	32
3.9 Моделирование деталей с резьбой .....	34
4 Соединения деталей и их изображение на чертежах .....	37
4.1 Виды соединений .....	37
4.1.1 Условности и упрощения при выполнении соединений деталей .....	37
4.1.2 Построение соединений деталей .....	38
4.2 Сборочные чертежи .....	45
4.2.1 Размеры на сборочных чертежах .....	46
4.2.2 Построение сборочных чертежей деталей на основе 3D моделей.....	47
4.3 Чертежи общего вида .....	51

## Введение

Средством общения людей является тот или иной язык. При промышленном изготовлении изделий в качестве такого языка традиционно используется чертеж. Чертеж представляет собой геометрическую модель будущего изделия. Изображения на чертеже издавна составляют вручную с использованием карандаша, циркуля, линейки, а также средств механизации - получают графическую модель. Однако эти изображения можно получить с точностью до 0.5 деления шкалы чертежного прибора. Поэтому для точного определения геометрических параметров изделия, необходимых для его изготовления, например, взаимного расположения поверхностей, на изображения наносят размерную сетку и пишут технические требования – получают геометрическую модель.

Любой язык общения содержит алфавит и грамматику. Такой грамматикой в графическом языке являются утвержденные отраслевые, государственные и международные стандарты. У нас в стране с 1968 года и до настоящего времени в качестве государственных стандартов используется единые системы создания, ведения и использования конструкторской, технологической и пр. документации (ЕСКД, ЕСТД, ЕСПП).

Современный уровень программных и технических средств электронной вычислительной техники позволил перейти от традиционных, ручных методов конструирования и проектирования к новым информационным технологиям с использованием ЭВМ; создавать системы автоматизации разработки и выполнения технической документации, удовлетворяющие стандартам ЕСКД, ЕСТД и ЕСПП как по качеству, так и по времени исполнения документов.

В диалоге с ЭВМ могут быть созданы модели проектируемых изделий, чертежи и схемы как с использованием графических элементов таких, как точка, отрезок, окружность и т.п., так и отдельных фрагментов ранее

созданных чертежей, графических изображений стандартных деталей, типовых и унифицированных конструкций, их частей и т.п. При этом также могут быть сформированы библиотеки чертежей деталей, изображения которых заданы параметрически. В зависимости от сложности геометрии деталей и способов их изготовления различают два подхода в их компьютерном проектировании:

- на основе плоского (2D) геометрического моделирования – так называемой автоматизации чертежно-графических работ. Он является естественным продолжением традиционного геометрического моделирования в виде чертежа, осуществляемого с помощью карандаша и линейки;

- на основе объемного (3D) геометрического моделирования с помощью компьютера, которое является новым инструментом проектировщика и предоставляет возможность работы в привычном для человека трехмерном пространстве. Такой подход к деятельности специалиста реализуется им при создании трехмерных геометрических моделей проектируемых изделий.

Используя такие модели, конструктор может проводить прочностные и кинематические расчеты, прорабатывать вопросы компоновки и сборки изделий, технологические аспекты изготовления деталей и т.д. Такой подход также позволяет создавать в автоматизированном режиме плоские геометрические модели. При этом точность геометрического определения той или иной точки на поверхности модели изделия превышает 0,0001 мм.

Поэтому такие модели можно использовать, в частности, для разработки и моделирования технологических операций в соответствии с маршрутом обработки детали, для автоматизированного составления управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), для контроля геометрии изготовленной детали на соответствие ее математической модели, для проверки изделия на собираемость.

Основными тенденциями в современном машиностроении являются улучшение рабочих параметров машин и конструкций, снижение их материало- и энергоемкости. При этом существенное значение имеют сроки

разработок, их качество и стоимость. Чтобы соответствовать требованиям сегодняшнего дня, процесс автоматизации проектирования необходимо рассматривать в комплексе, как систему взаимосвязанных конструкторских, расчетных и технологических программных инструментов на всех стадиях проекта.

# **1 Лекция 1 Обзор современного состояния автоматизированного проектирования, цели и задачи курса геометрического моделирования в среде CAD/CAM/CAE систем**

В последнее десятилетие можно было наблюдать бурное развитие технологий информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий (ИПИ/CALS технологий). Несмотря на значительные успехи в использовании таких технологий за рубежом, на подавляющем большинстве отечественных предприятий используются лишь составляющие элементы: в основном CAD, в меньшей степени CAM и совсем мало CAE системы. При этом ни одна фирма-проектировщик программного обеспечения (разработчик подобных систем) до сих пор не предложила методiku общих подходов к сквозному проектированию и производству, которую можно было бы использовать при подготовке современных специалистов в условиях технического вуза. Методические же пособия, разработанные работниками вузов, носят фрагментарный (несквозной) характер.

Средством общения людей является тот или иной язык. При промышленном изготовлении изделий в качестве такого языка традиционно используется чертеж. Чертеж представляет собой геометрическую модель будущего изделия. Изображения на чертеже издавна составляют вручную с использованием карандаша, циркуля, линейки, а также средств механизации - получают графическую модель. Однако эти изображения можно получить с точностью до 0.5 деления шкалы чертежного прибора. Поэтому для точного определения геометрических параметров изделия, необходимых для его изготовления, например, взаимного расположения поверхностей, на изображения наносят размерную сетку и пишут технические требования - получают геометрическую модель.

Любой язык общения содержит алфавит и грамматику. Такой грамматикой в графическом языке являются утвержденные отраслевые, государственные и международные стандарты. У нас в стране с 1968 года и до настоящего времени в качестве государственных стандартов используется

единые системы создания, ведения и использования конструкторской, технологической и пр. документации (ЕСКД, ЕСТД, ЕСПП).

Современный уровень программных и технических средств электронной вычислительной техники позволил перейти от традиционных, ручных методов конструирования и проектирования к новым информационным технологиям с использованием ЭВМ; создавать системы автоматизации разработки и выполнения технической документации, удовлетворяющие стандартам ЕСКД, ЕСТД и ЕСПП как по качеству, так и по времени исполнения документов.

В диалоге с ЭВМ могут быть созданы модели проектируемых изделий, чертежи и схемы как с использованием графических элементов таких, как точка, отрезок, окружность и т.п., так и отдельных фрагментов ранее созданных чертежей, графических изображений стандартных деталей, типовых и унифицированных конструкций, их частей и т.п. При этом также могут быть сформированы библиотеки чертежей деталей, изображения которых заданы параметрически. В зависимости от сложности геометрии деталей и способов их изготовления различают два подхода в их компьютерном проектировании:

- на основе плоского (2D) геометрического моделирования – так называемой автоматизации чертежно-графических работ. Он является естественным продолжением традиционного геометрического моделирования в виде чертежа, осуществляемого с помощью карандаша и линейки;

- на основе объемного (3D) геометрического моделирования с помощью компьютера, которое является новым инструментом проектировщика и предоставляет возможность работы в привычном для человека трехмерном пространстве. Такой подход к деятельности специалиста реализуется им при создании трехмерных геометрических моделей проектируемых изделий. Используя такие модели, конструктор может проводить прочностные и кинематические расчеты, прорабатывать вопросы компоновки и сборки

изделий, технологические аспекты изготовления деталей и т.д. Такой подход также позволяет создавать в автоматизированном режиме плоские геометрические модели. При этом точность геометрического определения той или иной точки на поверхности модели изделия превышает 0,0001 мм. Поэтому такие модели можно использовать, в частности, для разработки и моделирования технологических операций в соответствии с маршрутом обработки детали, для автоматизированного составления управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), для контроля геометрии изготовленной детали на соответствие ее математической модели, для проверки изделия на собираемость.

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

Последним достижением в области современных информационных технологий, используемых в машиностроении, является технология информационной поддержки жизненного цикла изделия на базе полного электронного определения изделия (CALS/ИПИ технология). Эта технология позволяет связать в единую систему все службы предприятия, участвующие в проектировании нового изделия, технологической подготовке и его производстве, а также службы, обеспечивающие снабжение, сбыт готовой продукции и сервис.

Элементы CALS технологии уже длительное время являются практическим инструментом работы конструктора и технолога. Спектр их реализации очень широк - от простых чертежных систем до интегрированных программных сред (CAD/CAE/CAM систем),

функционально охватывающих эскизное, рабочее проектирование, создание 3-х и 2-х мерных геометрических моделей, инженерный анализ, разработку графическо-конструкторской и технологической документации, подготовку управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Порождаемая в данных системах трехмерная геометрическая модель является основой всей информационной модели изделия.

Все современные CAD/CAM/CAE системы в зависимости от решаемых ими задач можно разделить на две группы: специализированные и универсальные.

Специализированные программные комплексы могут использоваться как автономно, так и включаться в состав универсальных систем. По функциональному признаку они классифицируются на:

- программы для графического (CAD) ядра системы (Design Base, положенной в основу функционирования универсальной системы Helix и ряда специализированных систем, производимых и используемых в Японии, Parasolid – Unigraphics, Solid Works и пр., ACIS - AutoCAD, Cimatron, ADEM и пр.);

- системы для функционального моделирования (CAE, реализующие метод конечных элементов, которые, в свою очередь, также делятся на системы общего применения (NASTRAN, ANSYS, COSMOS/M и др.) и проблемно-ориентированные системы (ADAMS, MARC и др.);

- системы для подготовки управляющих программ для технологического оборудования (CAM) (SmarrCAM, Euclid, и др.).

Универсальные системы предназначены для комплексной автоматизации процессов проектирования, анализа и производства продукции машиностроения. В зависимости от функциональных возможностей различают системы низкого уровня (AutoCAD, T-flex, Caddy), среднего уровня (Cimatron, Pro/JUNIOR) и полномасштабные (CATIA, Unigraphics, Pro/ENGINEER).

Все системы постоянно развиваются, дополняясь все новыми модулями и возможностями. С течением времени программные продукты приобретают способность одинаково эффективно решать в своей "весовой" категории предъявляемые пользователем задачи. В этом случае пользователь при выборе той или иной системы руководствуется в первую очередь ее ценой. В то же время развитие программных сред имеет тенденцию перехода в более "тяжелую" категорию, но никогда наоборот. Такое усовершенствование в большинстве случаев приводит к необходимости использования все более и более мощного аппаратного обеспечения.

Однако каким бы высоким ни был уровень системы, она сама по себе не функционирует. ЭВМ и установленный на ней программный продукт представляют собой хотя и высокопрофессиональный, но всего лишь инструмент, такой как, например, карандаш, линейка или счеты. Уровень эффективности использования ЭВМ зависит от степени подготовленности специалиста.

Переход на новые технологии связан с формированием нового мышления инженера, что объясняется особенностями, присущими процессу сквозного компьютерного проектирования.

Создание конструкторской и технологической документации для изготовления деталей, узлов и изделий в настоящее время возможно при наличии у специалиста развитого пространственного мышления, опыта решения позиционных и метрических задач, знаний правил, условностей и упрощений, регламентируемых стандартами, понимания принципов функционирования прикладных программ, их классификации и возможностей использования, устойчивых навыков работы с системой.

Переход на безбумажные, с использованием компьютера технологии, когда информация создается, хранится и используется в электронном виде, требует выполнения новых условий при подготовке специалистов. При этом безбумажная графическая подготовка является основой сквозной подготовки современного специалиста.

На основании выше сказанного целями обучения геометрическому моделированию являются:

- всемерное развитие пространственного мышления (воображения);
- освоение алгоритмов построения геометрических (2D и 3D) моделей;
- приобретение навыков создания и редактирования объемных моделей изделий машиностроительного производства;
- приобретение опыта решения позиционных и метрических задач в среде CAD системы;
- приобретение навыков создания технической документации в автоматизированном режиме в соответствии с ГОСТами.

В результате изучения предлагаемого в пособии материала обучаемый должен знать:

- а) способы представления геометрических моделей;
- б) классификацию и возможности современных отечественных и зарубежных систем автоматизированного проектирования (САПР);
- в) современные подходы в компьютерном проектировании;
- г) основные алгоритмы, 3D и 2D моделирования и редактирования моделей;
- д) алгоритмы и правила оформления технической документации,

В среде современной CAD системы обучаемый должен уметь:

- а) создавать и редактировать 3D модели деталей;
- б) получать необходимые для составления технической документации на изделия изображения: виды, разрезы, сечения, совмещения видов и разрезов и пр.;
- в) решать метрические и проекционные задачи;
- г) решать задачи геометрического, проекционного и параметрического черчения;
- д) составлять и оформлять рабочие чертежи деталей;
- е) составлять 3D сборки, спецификации и сборочные чертежи;
- ж) детализовать чертежи общего вида.

Опыт преподавания графических дисциплин в вузах и довузовских учебных заведениях показал эффективность использования в учебном процессе, в частности, для выполнения конструкторской и технологической документации отечественной универсальной CAD/CAM системы ADEM, полностью удовлетворяющей всем перечисленным выше требованиям.

CAD/CAM ADEM система постоянно развивающаяся. Однако принципы, положенные в основу ранних версий остаются в новых версиях неизменными.

## **2 Лекция 2. Геометрические модели, способы их представления, основы объемного моделирования**

Геометрическая модель проектируемого изделия в *традиционном* представлении – всем известный чертеж. Конструктор, проектируя деталь, сначала получает ее плоскую (двумерную) графическую модель. Графическая модель состоит из отрезков прямых линий, дуг, окружностей и пр. и включает, как правило, один или несколько видов. Однако по графической модели ни рассчитать, ни, тем более, точно изготовить деталь нельзя, потому что графическая модель может быть построена при помощи, в частности, карандаша и чертежных приборов, которые могут обеспечить точность расположения геометрических элементов не лучше, чем 0,5 мм. Чтобы модель графическая стала моделью геометрической, конструктор наносит на нее сетку линейных и угловых размеров с предельными отклонениями, условия взаимного расположения поверхностей, параметры шероховатости, записывает технические условия и требования, т.е. создает собственно чертеж.

### **Геометрические модели в общем, математическом представлении**

Геометрическая модель в *современном*, реализуемом на ЭВМ представлении, математически точное описание формы, размеров, взаимного положения поверхностей проектируемой детали, положения ее в пространстве - объемная или трехмерная модель. Любой физический объект, в том числе и проектируемую деталь, можно представить в виде материального тела, ограниченного некоторой поверхностью. Поверхность эта может быть задана с помощью отдельных геометрических объектов.

Самым простым геометрическим объектом является *точка*. Из курса геометрии известно, что положение точки **A** на плоскости можно задать, в частности, используя декартову систему координат (рисунок 1).

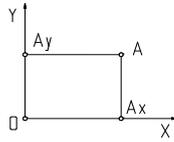


Рисунок 1 - Точка и ее координаты

Если взять несколько точек, то в той же системе координат можно представить дискретно положение кривой линии на плоскости. Изображение такой кривой будет состоять из непрерывного ряда точек (рисунок 2).

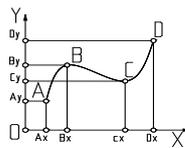


Рисунок 2 - Кривая на плоскости

Если те же точки расположить не на плоскости, а в пространстве, то для определения их положения нужны уже 3 координатных оси.

Каждая *кривая* может быть представлена совокупностью дискретных точек:

$$X = X(t), Y = Y(t), Z = Z(t); t_{\min} \leq t \leq t_{\max};$$

Самая простая поверхность – плоскость может быть задана в пространстве тремя точками, которые не должны лежать на одной прямой.

Чтобы задать в пространстве более сложную поверхность, требуется больше точек. Однако из всей совокупности точек, определяющих поверхность, можно взять лишь те, которые лежат на кривых, принадлежащих этой поверхности (рисунок 3).

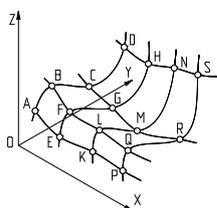


Рисунок 3 - Поверхность в прямоугольной системе координат.

Эти кривые, расположенные в виде сетки (системы продольных и поперечных линий), называются *линиями каркаса поверхности*. Как уже отмечалось выше, линию каркаса (кривую линию) можно определить в пространстве, если определить положение каждой из принадлежащих ей точек. Вид кривой можно задать в каноническом виде - формулами, например, параболы, гиперболы и пр. или сплайнами.

Таким образом, любую сложную поверхность можно задать совокупностью принадлежащих ей точек, координаты каждой из которых точно заданы в трехмерном пространстве. Современные компьютерные системы геометрического моделирования (CAD-Computer Aided Design-системы) позволяют задать положение любой точки на поверхности модели с точностью не хуже 0,1 мкм, что на два порядка выше точности металлообрабатывающих станков.

Другими словами, для расчета и получения геометрии проектируемой детали теперь нанесение размерных сеток и сведений о взаимном расположении поверхностей, в принципе, не обязательно. Более того, геометрическая модель, заданная математически, не обязательно должна быть представлена графически.

Графическое представление (визуализацию на дисплее) математически точной модели детали используют для удобства ее проектирования и

редактирования, просмотре смоделированных условий эксплуатации и процесса ее изготовления и контроля, соответствия ее геометрических параметров собираемому узлу. Однако графическое отображение на экране дисплея геометрической модели не дает математически точного представления о детали, что связано с необходимостью экономии ресурсов ЭВМ.

С другой стороны, современные системы геометрического моделирования могут представить (отобразить) объемную модель детали в виде ее плоской модели. Это позволяет автоматизировать выпуск традиционной технической (конструкторской и технологической) документации для необходимого согласования геометрических и негеометрических параметров детали со смежниками и их контроля после ее изготовления.

Описывать пространственную геометрическую модель совокупностью дискретных лежащих на поверхности точек очень громоздко, поэтому чаще для описания непрерывной поверхности детали используют методы математической интерполяции и аппроксимации. Эти методы лежат в основе способов *поверхностного* и *твердотельного* моделирования.

При *поверхностном* (или как его часто называют каркасно-поверхностном) моделировании важным является понятие каркаса. Под *каркасом*, как уже отмечалось, понимается пространственная конструкция в виде сетки продольных и поперечных пространственных кривых. Каждая из этих линий проходит через дискретные точки, лежащие на поверхности. Изменение положения точек в пространстве приводит к изменению геометрии линий. Существует множество способов математического описания этих линий, цель которых – интерполяция – максимальное приближение геометрии математически описываемой кривой к геометрии реальной (проходящей через заданные – полученные расчетным путем – точки поверхности) кривой.

Чаще всего каркас играет вспомогательную роль и служит основой для последующего построения поверхностей.

Аналогом геометрического моделирования поверхности методом аппроксимации порциями поверхности может служить способ получения изделий «папье-маше». При этом на предварительно изготовленную модель, например, из пластилина, послойно наносят вымоченные в клеевом растворе кусочки тонкой бумаги, с той лишь разницей, что эти кусочки подгоняются не встык, как при поверхностном моделировании подгоняются отсеки (порции) тех или иных поверхностей, а располагаются внахлест.

Элементы поверхностной модели никак не связаны друг с другом. Изменение одного из элементов не влечет за собой автоматического изменения других. Это дает большую свободу при моделировании, но одновременно усложняет работу с моделью.

Процесс создания каркасно-поверхностной модели заключается в последовательном построении нужных элементов каркаса и поверхностей. При этом лишь в простейших случаях сначала строится весь каркас, а потом все необходимые поверхности. Часто поверхности сами используются для получения пространственных кривых. Например, можно получить пространственную кривую как линию пересечения двух поверхностей. Эта кривая, в свою очередь, может быть использована для построения другой поверхности и т.д.

Поверхностное моделирование используется для моделирования деталей с особо сложной конфигурацией. Для этого в виде лоскутов «сшиваются» различно математически описываемые фрагменты поверхностей, такие как аналитические – линейчатые, вращения, кинематические, и др., или аппроксимирующие. Аппроксимирующие поверхности строятся на основе аппроксимирующих кривых – сплайнов (Безье, Грегори, NURBS и пр., которые, в свою очередь, определяются заданием контрольных точек продольных и поперечных сечений).

*Поверхность* – пространственный геометрический элемент, определяющий границу тела, хотя самого понятия «тело» в режиме поверхностного моделирования не существует, даже если поверхности ограничивают заданный объем. В этом состоит наиболее важное отличие поверхностного моделирования от твердотельного.

*Твердотельное моделирование* в своей основе существенно отличается от поверхностно-каркасного моделирования. Твердотельная модель содержит наиболее полную информацию о трехмерном объекте, так как описывает его с учетом его внутренней и внешней области, то есть для любой точки пространства можно однозначно определить, находится ли она вне объекта, на поверхности объекта или внутри объекта. Поэтому в твердотельной модели различают внутреннюю и внешнюю стороны поверхности (В–поверхность и А–поверхность). Для того чтобы можно было корректно реализовать все функции объемного проектирования, в частности логические (булевы) операции, необходимо выполнение для участвующих в них элементов трех основных условий: невырожденности (когда отсутствует “слипание” поверхности ее внутренней и внешней стороной), ограниченности в пространстве и замкнутости их поверхностей. Свойство замкнутости предполагает, что с внутренней стороны поверхности нельзя попасть на ее внешнюю сторону, не пересекая поверхность. При изменении любого входящего в модель элемента, изменяются все другие элементы, которые связаны с ним. В результате изменяется форма твердого тела, но его целостность сохраняется.

Твердотельная модель содержит следующие данные об объекте: координаты вершин, связи между вершинами в виде ребер, грани, в виде ограничивающих их ребер, ориентацию граней и дополнительную информацию (цвет ребер и граней, структуру и топологию поверхности и т.п.).\*

Для отображения на экране поверхность твердого тела аппроксимируют “фасетками” – плоскими, цилиндрическими или произвольной формы

гранями, которые пересекаются между собой по ребрам или кромкам. В общем случае ребра могут быть прямыми, дугами или сложными пространственными кривыми. Точность отображения поверхности твердого тела определяется степенью ее аппроксимации гранями.

Независимо от режима визуализации (каркасного или поверхностного) модель остается твердотельной.

Последовательность (алгоритм) создания твердотельной модели заключается в первоначальном построении “заготовки” объекта и последующем изменении ее формы с помощью операций добавления или удаления материала. Элементами, из которых строится твердое тело, могут быть элементы вытягивания (полученные вытягиванием плоского контура перпендикулярно его поверхности), элементы вращения (полученные вращением плоского контура вокруг заданной оси); фаски, скругления, оболочки, ребра жесткости и пр. Твердотельный объект строится путем последовательного “добавления”, “вычитания” или “пересечения” элементов. В результате выполнения каждой такой операции создается новый компонент твердого тела. Компонентом может быть отверстие, углубление, выступ и т.д.

Твердотельное моделирование предполагает возможность установления параметрических зависимостей между элементами твердого тела или нескольких тел. При этом изменение одного из параметров приводит к соответствующей перестройке всех параметрически связанных элементов. Такое моделирование, называемое *параметрическим*, предоставляет конструктору дополнительные удобства. Например, если установить параметрические зависимости между элементами твердотельной сборки, то можно автоматизировать контроль собираемости изделия.

В последнее время практическое применение получило *гибридное* моделирование. При гибридном моделировании можно одновременно работать с твердотельными объектами и поверхностями. При этом можно, например, “отрезать” поверхностью часть твердого тела и получить тем

самым поверхностную (открытую) оболочку; превратить замкнутый поверхностями объем в твердое тело и т.п.

Гибридное моделирование сочетает в себе все достоинства твердотельного моделирования с возможностью построения объектов сколь угодно сложной формы.

В различных системах могут быть реализованы как некоторые из перечисленных способов моделирования, так и все из них

На рисунке 4 представлен фрагмент объемной модели газотурбинного двигателя. Как видно из рисунка, объемная модель состоит из отдельных моделей гаек, штуцеров, шпилек, болтов, валов, фланцев, дисков, лопаток, корпусных деталей и пр. Модели деталей получены твердотельным, поверхностным и гибридным моделированием.

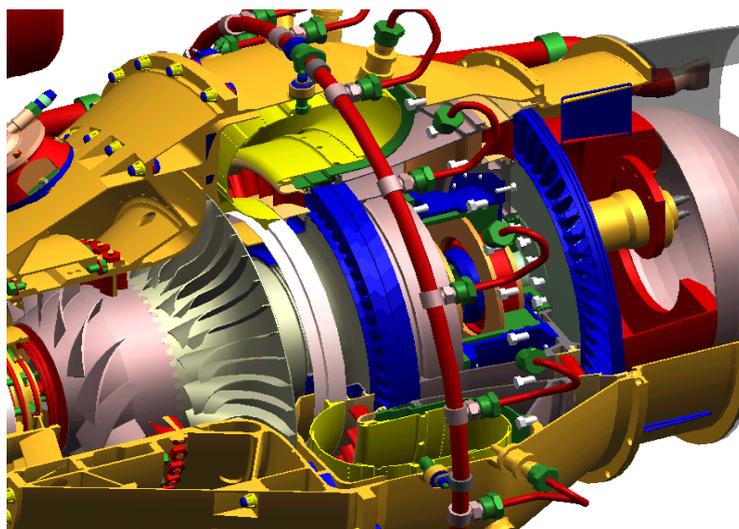


Рисунок 4 - Модель газотурбинного двигателя

Требования к знаниям и умениям современного специалиста в области геометрического моделирования, способного работать в среде современных CAD/CAM систем, изложены в лекции 1. Практическая часть освоения основ геометрического моделирования на ПЭВМ состоит из ряда уроков. Выполнение основной части каждого из уроков рассчитано на 2 академических часа.

Установите систему ADEM 3.03 на Ваш компьютер. Для этого воспользуйтесь дистрибутивом и инструкцией по установке.

### **3 Лекция 3 Плоские модели изделий, способы их формирования и использования**

#### **3.1 Алгоритмы построения плоских моделей**

Разработчики всех известных отечественных систем автоматизированного проектирования (САПР) таких как «Компас», T-flex, «Базис» и пр. начинали с разработок интерактивных (функционирующих в режиме диалога пользователя с ПЭВМ) средств автоматизации чертежно-графических работ на основе плоского (2D) геометрического моделирования. На рубеже 80 - 90-х годов их продукция (системы «Каскад», TopCad, «Базис», CherryCad) использовалась в конструкторских бюро ряда крупных промышленных предприятий СССР для составления, в основном, конструкторской документации.

В «чертилках» того времени программистами были реализованы различные схемы создания изображений на плоскости.

В одних реализован алгоритм рутинных действий чертежника, который, перечерчивая уже готовые разработанные конструктором изображения, формирует виды из отдельных геометрических примитивов, какими являются отрезок, дуга окружности и окружность. Изображения разрезов и сечений в этом случае строят аналогично: сначала получают контур (в виде т.н. полилинии), состоящий из тех же примитивов, а затем его штрихуют отрезками. Аналогичные алгоритмы работали в широко известной и разрекламированной в то время американской системе AutoCad v.10. При необходимости редактирования таких изображений пользователь сталкивался с трудоемкой задачей. Легче было построить изображение заново.

Другая схема была реализована программистами, имевшими опыт творческой работы конструктора: алгоритм создания изображений предполагает использовать в качестве примитивов связанные области в виде контуров (прямоугольников, контуров с границами в виде ломаных линий или сплайнов), в атрибуты которых помимо типов линий входят атрибуты

различной штриховки. Узлы таких контуров параметризованы: содержат информацию о величине радиуса. Изображения, полученные с использованием такого подхода, легко строятся и редактируются.

Вторая схема была реализована отечественными программистами в системе CherryCad. CherryCad является предшественником системы ADEM. Поэтому весь лучший опыт программирования плоских моделей реализованный в CherryCad, использован, в частности, в ADEM v. 3.03.

Общий алгоритм построения геометрических примитивов в модуле 2D системы ADEM 3.03 приведен на рисунке 5 в виде схемы.



Рисунок 5 - Алгоритмы построения геометрических примитивов на плоскости



Рисунок 6 - Алгоритмы аффинных преобразований на плоскости

### 3.2 Рабочие чертежи деталей

Современный рабочий чертеж детали содержит все необходимые данные для ее изготовления. Эти данные представлены в виде изображений, размеров и их предельных отклонений, сведений о взаимном расположении поверхностей и их качестве, а также текстовых технических указаний.

Традиционно рабочий чертеж выполняют в следующей последовательности:

- выбирают формат, масштаб изображения и формируют изображения видов, разрезов, сечений и пр.;
- наносят размеры и допуски их отклонений;
- наносят обозначения шероховатости поверхностей деталей;
- наносят указания о допусках на погрешность формы и расположения поверхностей детали;

-записывают необходимые технические указания (технические условия на материал, вид термообработки, покрытия и т.д.);

-заполняют основную надпись, где указывают сведения о материале, масштаб, выходные данные чертежа и другие необходимые сведения.

При построении чертежа на ЭВМ необходимо иметь в виду, что компьютерный чертеж представляет собой электронную модель (а не только изображение), поэтому способы его построения отличаются от способов получения "бумажного" чертежа. Теперь на рабочем поле чертежа строят необходимые изображения по предварительно подготовленным эскизам или вводят на экран имеющиеся в архиве или каталоге "заготовки" и редактируют их. Для получения точных изображений сложной формы используют вспомогательные построения в черновом слое.

Основные требования к плоской (2D) модели, которые необходимо выполнять при построении рабочего чертежа:

- возможность использования модели на всех этапах проектирования;
- минимизация времени работы с моделью и ее элементами;
- минимизация сохраняемой информации о модели.

Для выполнения этих требований необходимо:

- чаще использовать замкнутые контуры при построении изображений;
- рационально использовать непрозрачную закраску контуров;
- чаще применять операции зеркального отражения и копирования;
- научиться резко нажимать клавиши. Это позволит избежать многократного повторения узлов, элементов и изображений в одних и тех же точках;

- для отмены ошибочных действий использовать клавишу <F2> или

 Отмена

-при считывании файла удалять предыдущее изображение.

Правильно построенная геометрическая модель, записанная в память ПЭВМ, уже содержит всю информацию о форме и размерах (с точностью 0.0001 мм). Размеры на чертеже, представляемом для просмотра в виде копии

на экране монитора или бумаге наносят для контроля и чтения чертежа пользователем.

### **3.3 Выбор изображений. Нанесение размеров на плоские модели. Нанесение параметров шероховатости поверхностей и взаимного расположения поверхностей**

Изображения (виды, разрезы, сечения, выносные элементы) определяют геометрическую форму детали. Число изображений должно быть минимальным, но достаточным для полного выявления геометрической формы детали и легкости чтения чертежа. После определения количества необходимых изображений важным является выбор главного вида на чертеже детали. Главным видом называют изображение детали на фронтальной плоскости проекций, дающее наибольшую информацию о ее форме и размерах. Главный вид относительно основной надписи следует располагать так, чтобы наилучшим образом использовалось поле чертежа и обеспечивалось удобство чтения чертежа при изготовлении и контроле детали.

Рекомендуется изображать:

-детали, представляющие собой совокупность соосных поверхностей вращения так, чтобы их оси располагались горизонтально (валы, оси, зубчатые колеса, болты, штифты и т.п.);

-корпусные детали, плиты, а также крышки с некруглыми фланцами так, чтобы их опорная плоскость лежала в горизонтальной плоскости.

Команды простановки обозначений шероховатости, допуска формы и взаимного расположения поверхностей находятся на панели инструментов



(см. прил. 1). Для простановки обозначения шероховатости или допуска формы:

1.Нажмите кнопку, соответствующую выбранному знаку на панели инструментов ;

2. Укажите точку привязки, определяющую положение обозначения на чертеже;

3. Укажите вторую точку, определяющую ориентацию обозначения. Если Вы нажмете среднюю кнопку мыши или клавишу <Esc> вместо указания второй точки, обозначение будет расположено горизонтально.

4. Нанесите значение шероховатости в режиме написания строки текста (  ). При необходимости отредактируйте текст внутри прямоугольника допуска формы (  ).

### **3.4 Запись технических требований и оформление основной надписи в автоматизированном режиме в среде модуля GMD ADEM 3.03**

Основную надпись вместе с рамкой можно вывести из каталога (  , см. выше). Форма основной надписи и её заполнение должны соответствовать ГОСТ 2.104 -68.

Однако модуль ADEM GMD позволяет заполнить основную надпись и записать технические требования в автоматизированном режиме (см. «Руководство по GMD» на приложенном к пособию CD).

### **3.5 Построение базовых элементов произвольной формы**

В системе ADEM 3.03 реализован способ твердотельного моделирования. Объемные модели изделий представлены в виде объемных элементов (ОЭ). **Объемный элемент** – это несколько базовых элементов формы (БЭФ), объединенных в один объемный элемент с помощью булевых операций.

БЭФ, входящие в один ОЭ, не могут изменять свое положение относительно друг друга и представляют собой жесткую пространственную конструкцию. Наиболее простые ОЭ состоят из одного БЭФ.

Поверхности БЭФ образуются кинематическим способом, когда одна линия (образующая) или контур (сечение), перемещается в пространстве по

некоторому закону, заданному другой линией (направляющей). Построение плоских линий выполняют в модуле ADEM 2D.

### 3.6 Построение БЭФ методом «Лифт»

Для построения базового элемента произвольной формы методом БЭФ Лифт необходимы два плоских контура. Базовый элемент строится путем перемещения первого контура (сечения), лежащего в плоскости  $XU$ , вдоль оси  $Z$  и его одновременным масштабированием относительно начала системы координат. Масштаб при этом задается  $X$ -координатой второго контура (лифт-линии), а  $U$ -координата лифт-линии становится  $Z$ -координатой сечения (рисунок 7).

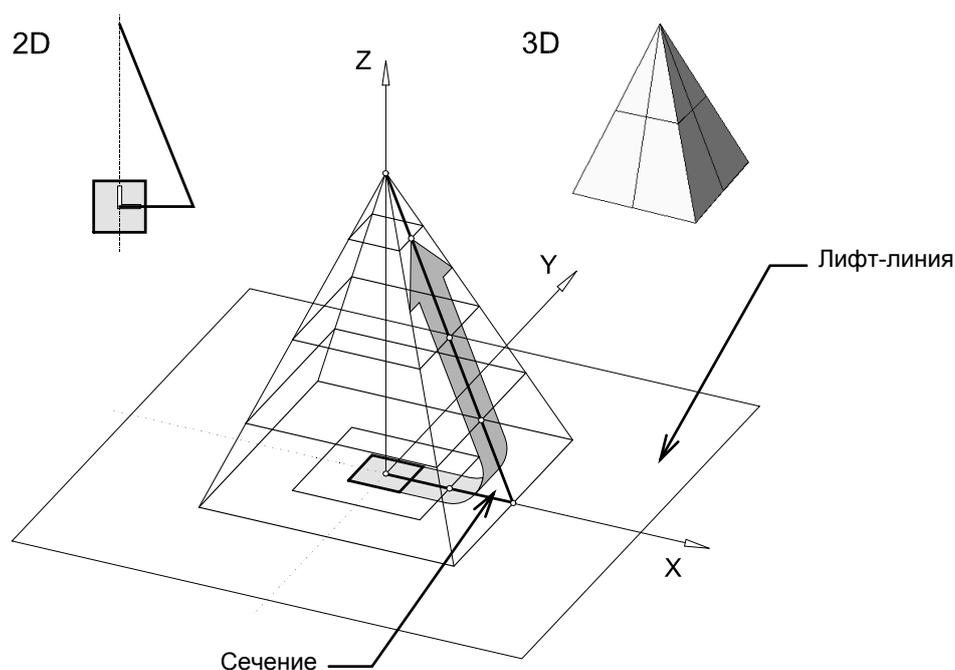


Рисунок 7 - Создание базового элемента произвольной формы методом БЭФ Лифт

Правила построения базового элемента произвольной формы методом БЭФ Лифт:

-все значения  $X$ -координаты лифт-линии должны быть неотрицательными, так как  $X$ -координата лифт-линии является масштабным коэффициентом для элемента;

-точка начала системы координат должна находиться внутри сечения, так как масштабирование сечения выполняется относительно начала текущей системы координат;

-чтобы обеспечить замкнутость поверхности базового элемента, первый контур (сечение) должен быть замкнут, а второй контур (лифт-линия) должен быть либо замкнут, либо начинаться и заканчиваться в точках с  $X$ -координатами, равными нулю;

-оба контура не должны иметь самопересечений;

-на размеры формируемого базового элемента влияет размер лифт-линии. Сечение определяет только его форму;

-если базовый элемент произвольной формы может быть построен разными методами, то рекомендуется создавать его методом БЭФ Лифт, так как этот метод обеспечивает наиболее компактное хранение геометрической информации о базовом элементе.

### **3.7 Построение БЭФ методом «Труба»**

Для построения базового элемента произвольной формы методом БЭФ «Труба» используются два плоских контура – сечение (образующая) и направляющая (путь, устанавливающий закон перемещения образующей в пространстве). Базовый элемент строится путем перемещения плоского сечения перпендикулярно направляющей (рисунок 8).

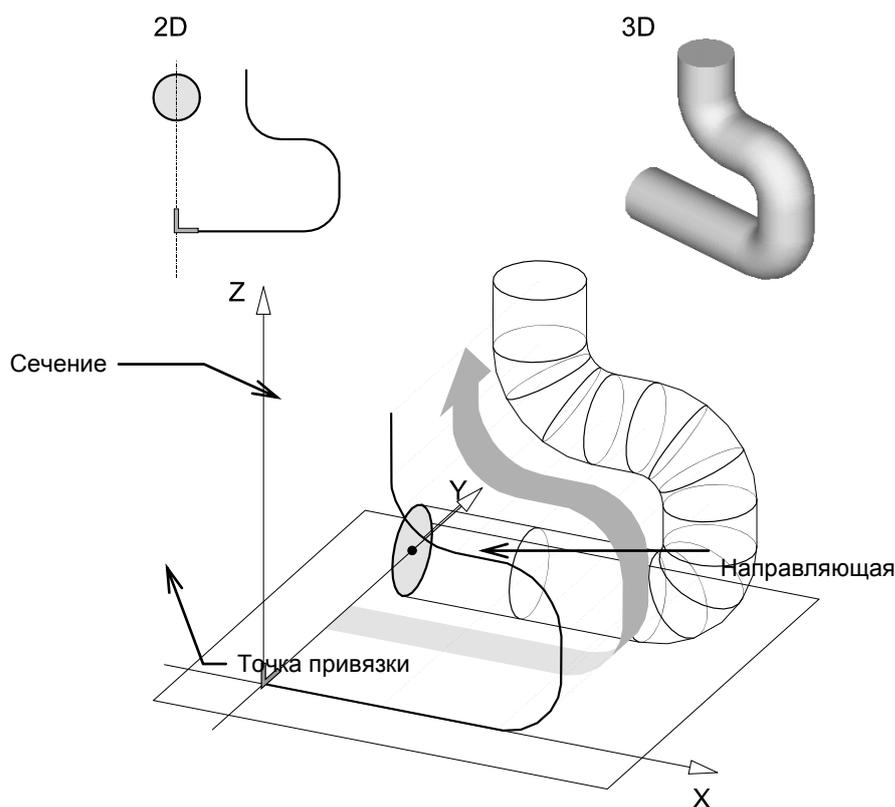


Рисунок 8 - Создание базового элемента произвольной формы методом БЭФ Труба.

Начало относительной (текущей) системы координат модуля ADEM2D считается точкой привязки сечения.

*Правила построения базового элемента произвольной формы методом БЭФ Труба:*

- оба контура (сечение и направляющая) не должны иметь самопересечений;
- чтобы обеспечить замкнутость поверхности базового элемента:
- контур сечения должен быть замкнут;
- замыкание поверхности базового элемента обеспечивается добавлением вырожденных в точку (точку сжатия) или отрезок (концы которого представляют собой точки сжатия) сечений перед первым и после последнего сечений. Чтобы добавить вырожденное сечение автоматически, нужно указать точку сжатия. Точка сжатия должна лежать внутри сечения. Если задана одна точка сжатия, сечение будет вырождено в точку, если две – в

отрезок. Точка сжатия установлена корректно, если ни одно из ребер, соединяющих ее с вершинами сечения, не пересекает контур сечения;

-размеры сечения должны быть такими, чтобы при перемещении его по направляющей не происходило самопересечений.

Принципиальные отличия операции "Труба" от рассмотренной ранее операции "Лифт" состоят в следующем.

В операции "Лифт" сечение ХУ перемещается вдоль оси Z, оставаясь параллельным плоскости проекций ХУ. Размеры сечения изменяются. В операции "Труба" сечение ХУ движется вдоль направляющей линии – пути ХZ, располагаясь перпендикулярно к ее траектории. При этом угол наклона плоскости сечения ХУ к плоскости проекций ХУ принимает разные значения. Размеры сечения остаются постоянными.

В операции "Лифт" замкнутость поверхности обеспечивается формой и положением лифт - линии. В операции "Труба" это обеспечивается точкой (или двумя точками) сжатия на каждом торце. Точка сжатия всегда должна быть внутри сечения ХУ. Начало координат - как внутри сечения ХУ, так и вне сечения ХУ.

### **3.8 Построение БЭФ методом «Сечение»**

Метод построения базовых элементов произвольной формы БЭФ Сечение является наиболее универсальным для задания поверхности сложных пространственных объектов. Базовый элемент строится путем соединения плоских сечений, лежащих в плоскости ХУ и распределенных по Z-координате, отрезками прямых линий или гладкими сплайновыми кривыми (рисунок 9). При этом между двумя характерными соседними сечениями генерируются дополнительные сечения.

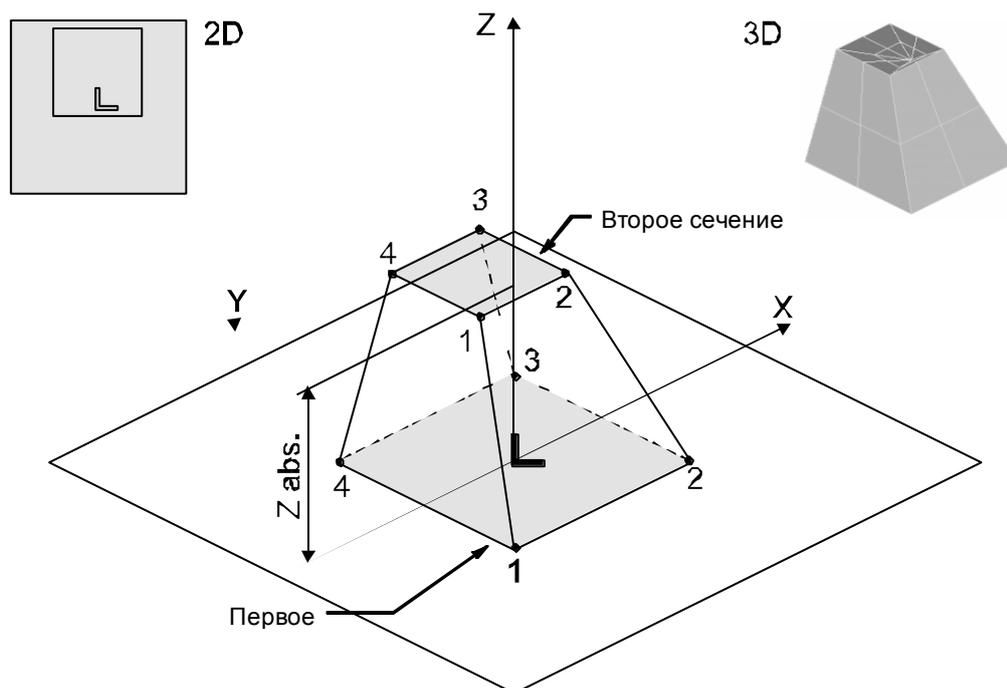


Рисунок 9 - Создание базового элемента произвольной формы методом БЭФ Сечение.

*Правила построения базового элемента произвольной формы методом БЭФ Сечение:*

- все контуры должны иметь одинаковое количество узлов;
- первый узел первого указанного сечения соединяется с первым узлом второго указанного сечения, второй узел первого указанного сечения соединяется со вторым узлом второго указанного сечения и т.д., т.е количество узлов в каждом сечении должно быть одинаковым;
- контур не должны иметь самопересечений.

Чтобы обеспечить замкнутость поверхности формируемого базового элемента произвольной формы:

- контур должны быть замкнутыми;
- первое и последнее сечения должны быть вырожденными в точку или отрезок. Чтобы добавить вырожденные сечения автоматически, нужно указать точку сжатия для первого и последнего сечений. Точка сжатия

должна лежать внутри сечения. Если задана одна точка сжатия, сечение будет вырождено в точку, если две – в отрезок. *Точка сжатия установлена корректно, если ни одно из ребер, соединяющих ее с вершинами сечения, не пересекает контур сечения;*

-при построении базового элемента произвольной формы методом БЭФ Сечение должна получаться многогранная поверхность, то есть при переходе от сечения к сечению должны образовываться плоские грани, а не криволинейные поверхности. Если сегменты получающейся поверхности будут существенно отличаться от отсеков плоскости, то при дальнейшей сборке 3D модели с применением булевых операций и при ее визуализации могут появиться нежелательные искажения геометрии объекта.

Генерация базовых элементов произвольной формы в системе ADEM методом БЭФ Сечение может быть реализовано тремя способами:

-линейной аппроксимацией. Указанные сечения будут аппроксимированы отрезками прямых линий;

-сплайновой аппроксимацией. Указанные сечения будут аппроксимированы гладкими сплайновыми кривыми;

-единичным сечением. Будет создана плоская кривая, лежащая в плоскости XY с координатой Z равной нулю.

Для создания БЭФ по сечениям необходимо построить сечения будущего объекта плоскостями, параллельными плоскости проекций XY. Сечения XY вычерчивают в модуле ADEM2D. Чтобы сечения XY представляли собой замкнутые контуры, следует использовать , , , ,  или . Последовательность построения узлов в каждом сечении должна быть одинакова.

### **3.9 Моделирование деталей с резьбой**

Получение 3D моделей резьбовых поверхностей позволяет более полно отобразить реальную геометрию детали, рассчитать возможные в эксплуатации напряжения и деформации.

Система ADEM – открытая система, которая позволяет пользователю разработать свое программное обеспечение и дополнить им уже имеющийся стандартный пакет.

Студентами СГАУ А. Губановым и Р. Орловым в среде Delphi 5.0 разработана User – программа, позволяющая моделировать цилиндрическую внутреннюю и наружную резьбу в соответствии с параметрами, установленными ГОСТ 9150-81, ГОСТ 8724-81, ГОСТ 24705-81 при условии установки (путем выполнения булевой операции сложения) получаемых моделей резьбы в предварительно подготовленные (цилиндрические) места на моделях корпусов гаек или стержней.

На рисунке 10 представлено меню этой программы.

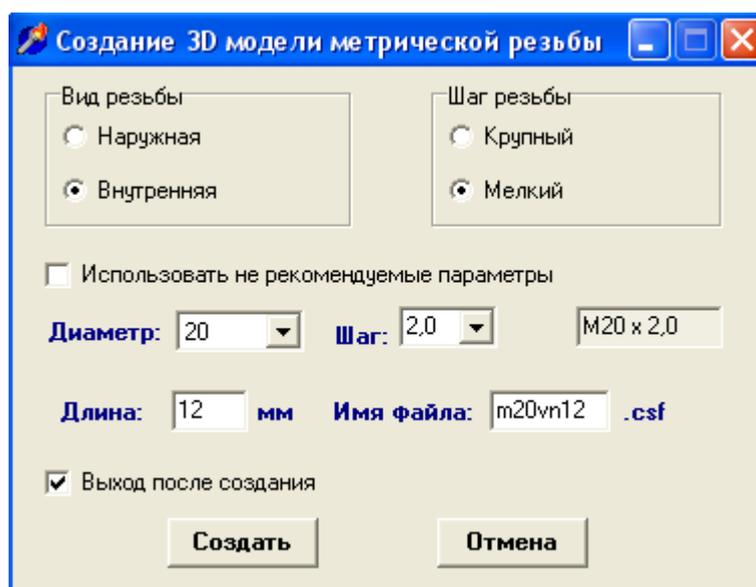


Рисунок 10 - Меню для моделирования резьбы

Чтобы активизировать меню последовательно в ADEM2D укажите «User», «Создание метрических резьб», «ОК». В соответствии с заданием введите необходимые параметры резьбы и запишите имя файла во внутреннем формате ADEM 3.0 - .csf. Имя файла, например m20vn12, обозначает: резьба метрическая цилиндрическая правая диаметром 20мм, внутренняя, длиной 12 мм. Сгенерированный программой файл, содержащий 3D модель резьбы, следует прочесть в модуле ADEM 3D («Файл»,

«Открыть», тип файла - «Файл в ADEM 3D (\*.csf)», диск, например, D, папка, в зависимости от настройки - «ADEM3.03», имя файла – Вами записанное имя файла). На рисунке 11 представлены 3D модели внутренней (слева) и наружной (справа) резьбы.



Рисунок 11 - 3D модели внутренней и наружной резьбы.

## **4 СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ИЗОБРАЖЕНИЕ НА ЧЕРТЕЖАХ**

### **4.1 Виды соединений**

Соединения деталей в виде сборочной единицы бывают разъемные и неразъемные.

Разъемными называют соединения, сборка и разборка которых возможна без нарушения целостности их составных частей: резьбовые (болтами, винтами, шпильками и пр.); соединения шпонками, шлицами и др. Неразъемными называют соединения, не предусматривающие возможность их разборки без повреждения их составных частей (соединения сварные, клеевые, при помощи заклепок и др.).

#### **4.1.1 Условности и упрощения при выполнении соединений деталей**

Изображения всех видов соединений состоят из изображений составляющих их деталей. Правила, условности и упрощения, используемые при получении чертежей деталей, изложены в ГОСТах ЕСКД.

Для быстрого и безошибочного чтения, а также составления сборочных чертежей необходимо соблюдать установленные государственными стандартами условности и упрощения:

1. Изображения (виды, разрезы, сечения) располагать на сборочных чертежах, как и на чертежах деталей в проекционной связи.
2. Штриховку смежных сечений деталей на сборочном чертеже выполнять в противоположных направлениях под углом  $45^{\circ}$  или со сдвигом штрихов, или с изменением расстояния между штрихами. Обязательно одну и ту же деталь штриховать в одном направлении на всех изображениях.
3. Болты (без внутренних отверстий), винты, шпильки, гайки, шайбы, шпонки, заклепки, стержни, сплошные валы, шарики, шпиндели, рукоятки изображать в продольных разрезах нерассеченными.

4. Линии невидимого контура на сборочных чертежах применять только для изображения простых (невидимых) элементов, когда выполнение разрезов не упрощает чтение чертежа, а увеличивает его трудоемкость.

5. При изображении ввернутого в отверстие нарезанного стержня (винта, шпильки, нарезанного конца детали) наружную резьбу (на стержне) изображать полностью, а внутреннюю резьбу (в отверстии) показывать только в том случае, если она не закрыта резьбой стержня.

6. Зацепления зубчатых колес (цилиндрических и конических), реек, червяков, а также соединения шлицевые изображать условно.

#### **4.1.2 Построение соединений деталей**

К одному из основных свойств модуля ADEM 2D следует отнести возможность построения замкнутых контуров различными типами линий и заполнения их стандартными штриховками. Построение контуров «невидимой» линией с «непрозрачной» штриховкой позволяет использовать режим аппликации (наложения) для эффективного построения изображений соединений деталей, когда предоставлена возможность имитирования (моделирования) процесса сборки в логической последовательности. Наряду с этим составление сборочных единиц с использованием параметрических моделей изображений значительно повышает производительность труда конструктора.

Таблица 1

Болты с шестигранной головкой (ГОСТ 7798–70)



$d$	$S$	$H$	$D$	$R$	$\ell$	$\ell_0$
6	10	4,0	10,9	0,25 ...0,6	8...2 0 22... 90	× 18
8	13	5,5	14,2	0,40 ...1,1	8...2 5 28... 100	× 22
10	17	7,0	18,7	0,6 ...1,6	10... 30 32... 200	× 26; 32
12	19	8,0	20,9	0,6 ...1,6	14... 32 35... 260	× 30; 36
(14)	22	9,0	24,3	0,6 ...1,6	16... 38 40... 300	× 34; 40

16	24	10,0	26,5	0,6 ...1,6	18... 40 45... 300	× 38, 44
(18)	27	12,0	29,9	0,6 ...1,6	20... 45 50... 300	× 42; 48
20	30	13,0	33,3	0,8 ...2,2	25... 50 55... 300	× 46; 52
(22)	32	14,0	35,0	0,8 ...2,2	30... 55 60... 300	× 50; 56
24	36	15,0	39,6	0,8 ...2,2	32... 60 65... 300	× 54; 60
(27)	41	17,0	45,2	1,0 ...2,7	35... 65 70... 300	× 60; 66
30	46	19,0	50,9	1,0 ...2,7	45... 70 75... 300	× 66; 72
36	55	23,0	60,8	1,0	50...	×

				...3,2	85 90... 300	78; 84
42	65	25,0	72,1	1,2 ...3,3	55... 100 105 ...300	× 90; 96
48	75	30,0	83,4	1,6 ...4,3	65... 110 115 ...300	× 102; 108

Примечания: Длину  $l$  выбирают в указанных пределах из ряда: 8, 10, 12, 14, 16, (18), 20, (22), 25, (28), 30, (32), 35, (38), 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, (85), 90, (95), 100, 105, 110, (115), 120, (125), 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200.

Знаком «×» отмечены болты с резьбой на всей длине стержня.

Таблица 2

Гайки шестигранные (ГОСТ 5915–70)



	Диаметр резьбы, $d$	Размер под «ключ», $S$	Высота головки, $H$	Диаметр описанной окружности, $D$
исп. 1	6	10	5,0	10,9
	8	13	6,5	14,2
	10	17	8,0	18,7
	12	19	10,0	20,9
	(14)	22	11,0	24,3
	16	24	13,0	26,5

ИСП. 2	(18)	27	15,0	29,9
	20	30	16,0	33,3
	(22)	32	18,0	35,0
	24	36	19,0	39,6
	(27)	41	22,0	45,2
	30	46	24,0	50,9
	36	55	29,0	60,8
	42	65	34,0	72,1
	48	75	38,0	83,4

Таблица 3

Шайбы (ГОСТ 11371–78)

И

Диаметры резьбы крепежной детали, <i>d</i>	$d_1$	$d_2$	$S$	$c$
--	-------	-------	-----	-----

6	6,4	12,5	1,2	0,50
8	8,4	17,5	1,6	0,50
10	10,5	21,0	2,0	1,00
12	13,0	24,0	2,0	1,00
14	15,0	28,0	2,5	1,25
16	17,0	30,0	2,5	1,25
18	19,0	34,0	3,0	1,50
20	21,0	37,0	3,0	1,50
24	25,0	44,0	3,0	1,50
27	28,0	50,0	4,0	1,50
30	31,0	56,0	4,0	1,50
36	37,0	66,0	5,0	2,00
42	43,0	78,0	5,0	2,00
48	49,0	92,0	6,0	2,00

Таблица 4

Основные размеры винтов (ГОСТ 22032–76; ГОСТ 22034–76; ГОСТ 22038–76)

$d$	Шаг резьбы, $p$		Длина резьбового конца, $l_1$		
	кру пный	м елкий	$1d$ (сталь, бронза) ГОСТ 22032–76	$1,25d$ (чугун, латунь) ГОСТ 22034–76	$2d$ (ал. сплав) ГОСТ 22038–76

6	1	–	6	7,5	12
8	1,25	1	8	10	16
10	1,5	1,25	10	12	20
12	1,75	1,25	12	15	24
(14)	2	1,5	14	18	28
16	2	1,5	16	20	32
(18)	2,5	1,5	18	22	36
20	2,5	1,5	20	25	40
(22)	2,5	1,5	22	28	44
24	3	2	24	30	48
(27)	3	2	27	35	54
30	3,5	2	30	38	60
36	4	3	36	45	72
42	4,5	3	42	52	84
48	5	3	48	60	96

## 4.2 Сборочные чертежи

Соединение деталей в сборочные единицы, а затем сборочных единиц и деталей в готовое изделие производится по сборочным чертежам.

Сборочные чертежи входят в комплект рабочей документации и предназначаются для проведения сборочных работ по соединению составных деталей в сборочные единицы и контроля этих работ.

По сборочным чертежам можно представить взаимосвязь составных частей и способы соединения деталей.

Состав изделия определяется спецификацией.

При формировании сборочных чертежей необходимо обеспечить к ним общие требования производства:

-полное, четкое, однозначное и обоснованно-экономное изображение всего изделия (сборочной единицы);

-полноту размеров, необходимых для выполнения сборочных операций, и технических требований, обеспечивающих надежную работу изделия;

- недопущение лишней информации.

#### **4.2.1 Размеры на сборочных чертежах**

Размеры на сборочных чертежах можно распределить на две группы:

-размеры, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу – исполнительные размеры;

- размеры, не подлежащие выполнению по данному чертежу – справочные размеры.

Первая группа размеров включает:

-монтажные размеры, указывающие взаимное расположение деталей в изделиях (в том числе монтажные зазоры). Часто взаимное расположение деталей определяется совмещением их сопрягаемых поверхностей. Поэтому монтажные размеры на сборочных чертежах могут отсутствовать;

-размеры элементов деталей, которые выполняются в процессе или после сборки, например путем механической обработки после сварки, клепки, пайки, запрессовки;

-размеры сопрягаемых элементов деталей, которые обуславливают характер соединения (посадки);

-размеры, характеризующие эксплуатационные параметры изделия и положение отдельных элементов конструкции, например ход поршня, клапана двигателя, плечо рычага.

Вторая группа размеров включает:

-габаритные размеры, определяющие предельные внешние (внутренние) очертания изделия, например высоту, длину и ширину изделия или его наибольший диаметр;

-установочные или присоединительные размеры, определяющие величины элементов, по которым данное изделие устанавливается на месте монтажа или присоединяется к другому изделию;

-характерные (директивные) размеры, которые конструктор считает необходимым указать на чертеже, например внутренний диаметр кондукторной (направляющей) втулки при изготовлении отверстий в обрабатываемой детали.

#### **4.2.2 Построение сборочных чертежей деталей на основе 3D моделей**

В предыдущем (21-м) уроке изложена методика построения соединений (сборки) деталей на основе плоского параметрического моделирования изображений отдельных деталей, входящих в сборку в той последовательности, если бы сборку можно было осуществить реально.

Такую сборку легко разобрать на отдельные входящие в нее изображения деталей (**Гр К**, указание на любую линию, принадлежащую детали, **Перенос**).

В последнее время приоритет получила 3D (объемная) сборка, которая состоит из моделей отдельных деталей и таким образом несет в себе больше информации, как по конструкции изделия, так и по технологии его изготовления.

Однако сборочные чертежи в традиционном представлении (в виде рисунка, состоящего из отдельных, связанных только условностями ЕСКД линий и контуров, с техническими требованиями) при этом пока не утратили своей актуальности.

#### **Автоматизированное составление спецификации**

Спецификация является основным текстовым документом и определяет состав изделия.

Структура диалога с пользователем в ADEM GMD при составлении спецификации в автоматизированном режиме организована в виде уровней, расположенных сверху – вниз следующим образом (рисунок 12).

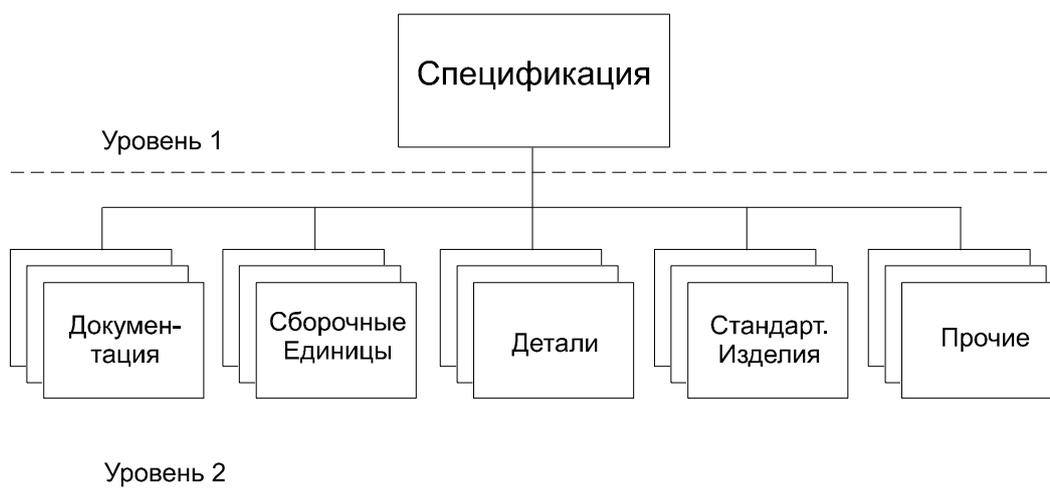


Рисунок 12 - Структурная схема спецификации в модуле ADEM GMD.

На первом уровне расположен объект, определяющий общие для спецификации, помещаемые в основной надписи, параметры: обозначение детали, имя разработчика и т.д. На втором уровне располагаются объекты, описывающие строки спецификации по разделам: документация, сборочные единицы, детали, стандартные изделия и прочие. Последовательность создания объектов системой не учитывается, сортировку по разделам она производит автоматически.

Составьте спецификацию в автоматизированном режиме (в модуле ADEMGMD).

Для этого:

1. Откройте диалог “Спецификация” (рисунок 13), нажав кнопку **Спец** панели “Варианты Документов”.

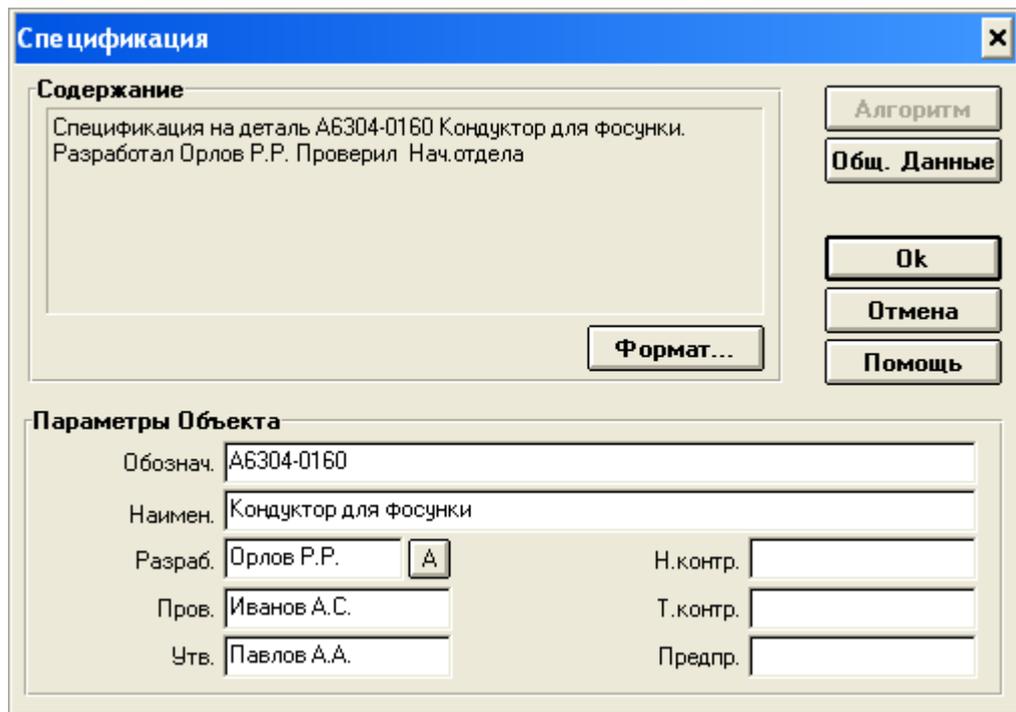


Рисунок 13 - Диалог "Спецификация"

2. Заполните (отредактируйте) поля диалога и нажмите **<Ок>**. Таким образом, Вы создали объект "Спецификация" на уровне 1.
  3. Нажмите кнопку **Марш**. На экране появится окно маршрута, в котором структурно отображены созданные Вами объекты.
  4. Используя кнопку **↘** ("Переход на уровень ниже") на "Панели управления объектами" перейдите на уровень 2 и нажмите **Созд** (на "Панели управления объектами").
  5. В открывшемся диалоге "Документация" (рисунок 14) нажмите кнопку **А** (напротив параметра "Группа").
- В появившемся "Меню выбора" определите, в какую группу следует отнести вносимый Вами объект (Документация, Сборочные единицы, Детали, Стандартные изделия, Прочие изделия) и запишите в соответствующей строке его формат, позицию, обозначение, наименование и количество. Нажмите **<Ок>**.

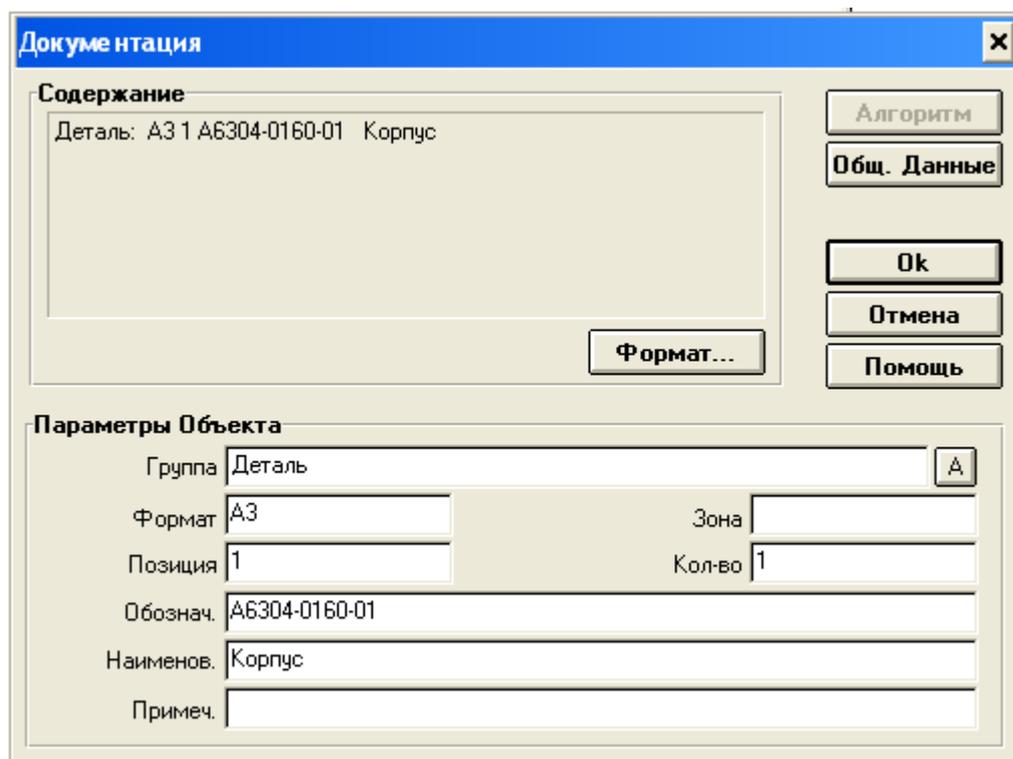
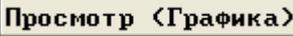


Рисунок 14 - Диалог "Документация"

6. Аналогичным образом создайте строки необходимых. Для большей информативности с помощью команды **Эскз** ("Переход в модуль создания эскиза") можно перейти в модуль ADEM2D и для каждого объекта создать пояснительный рисунок (чертеж).

7. После ввода всей необходимой информации, произведите выполнение команды **Формирование** (панель "Формирование"). На этом этапе система преобразует введенную Вами информацию, производит ее сортировку по разделам, и заполняет "пустые" формы.

8. Для контроля содержания сформированных системой графических карт спецификации воспользуйтесь командой **Просмотр <Графика>** (панель "Просмотр"), для контроля текстовых карт - **Просмотр <Текст>**. Используя команды листания страниц, приближения/удаления и др., оцените качество полученного документа. Если в процессе просмотра выявлены какие-либо неточности, можно выйти из просмотра, произвести соответствующие изменения объектов и снова выполнить команду **Формирование** (панель "Формирование").

9. Для получения твердой копии на бумаге из текстового редактора MS Word из режима  получите копию полностью оформленного сборочного чертежа кондуктора в формате .emf.

Для этого нажмите последовательно "Файл", "Печать", "Печать чертежа". В появившемся окне "ADEM Print" активизируйте режимы "Окно", "Только активный слой", "Вывод в файл", "EMF", "MM". В окна "Xmin", "Ymin", "Xmax" и "Ymax" введите значения размеров формата (в нашем случае для формата А3 Xmin=0, Ymin=0, Xmax= 420 и Ymax= 297). В окне "Имя" введите имя файла (не более 8-и латинских символов) и укажите путь.

Включив , подберите "перья" для печати, например, основной линии толщиной 1.5 мм, тонкой – 0.2, штриховки – 0.2 и пр., <ОК>. Нажмите , <ОК> и .

Вставьте чертеж в документ MS Word ("Вставка", "Рисунок", "Из файла", укажите имя Вами созданного файла, "Вставить").

Действуя аналогично, получите файлы листов спецификации.

10. Запишите полученную Вами информацию в формате .adm из модуля ADEM2D. В файле полностью сохранится вся информация, созданная Вами как в модуле ADEM2D, так и в модуле ADEMGMD.

### **4.3 Чертежи общего вида**

Чертежи общего вида входят в комплект технической документации. Непосредственно на производство они не поступают, а предназначены для разработки по ним чертежей деталей (кроме стандартных), сборочных единиц и спецификаций в конструкторском бюро. По этим чертежам можно представить не только взаимосвязь и способы соединения деталей, но и форму всех элементов деталей и их модификаций, составляющих данное изделие.

Чертеж общего вида отображает конструкцию изделия во всех его подробностях. Он выполняется конструктором так, чтобы можно было

разработать чертежи всех деталей и сборочных единиц без дополнительных разъяснений.

На таком чертеже размещают перечень, раскрывающий состав изделия по разделам: покупные – в том числе стандартные изделия; вновь приобретаемые детали, с указанием для каждой детали материала, из которого она изготавливается.

На чертежах общего вида указывают характерные размеры, которые облегчают уяснение формы элементов детали. Для некоторых деталей форма определяется геометрией пограничных с ними деталей, которые выявлены полностью.

### **Детализация чертежа общего вида**

Детализация сборочной единицы (изготовление рабочих чертежей деталей, входящих в сборку) может быть осуществлена и использованием ADEM 3.03 и других CAD систем двумя способами: по 3D моделям деталей сборки и 2D моделям чертежа общего вида. Первый из них мы уже косвенно рассмотрели. Второй способ предполагает наличие предварительно построенных чертежей в электронном виде с использованием приложения. Если детализация традиционного, выполненного на бумаге с использованием чертежных инструментов, чертежа общего вида требует точно выдерживать при построении рабочих чертежей все размеры, проставляемые на чертеже общего вида, то при детализации первым и вторым способами это требование выполняется автоматически.

