

Составитель канд. техн. наук, доц. *А.Ю. Стремнев*

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
AUTODESK INVENTOR:  
ЭСКИЗНОЕ И ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Методические указания к выполнению  
расчетно-графической работы по курсу «САПР»

**Система** автоматизированного проектирования Autodesk Inventor: эскизное и твердотельное моделирование: методические указания к выполнению расчетно-графической работы по курсу «САПР» / Сост. А.Ю. Стремнев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 72 с.

Методические указания содержат инструкции по выполнению расчетно-графической работы по курсу «САПР» (системы автоматизированного проектирования) с использованием программной среды Autodesk Inventor и охватывают вопросы выбора и описания прототипа изделия, моделирования компонент и изделия в целом, анализа и варьирования модели, автоматизированного создания конструкторской документации.

**УДК 681.3.06  
ББК 6.65**

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2012

Белгород  
2012

3  
**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение .....	4
1. Описание заданного класса устройств.....	5
2. Описание модели проектируемого устройства .....	5
3. Моделирование нестандартных компонент.....	6
4. Моделирование стандартных компонент .....	11
5. Моделирование общей сборки.....	14
6. Исследование модели .....	17
7. Выходная документация.....	20
Приложения .....	29
Библиографический список .....	45

4  
**ВВЕДЕНИЕ**

Расчетно-графическая работа (РГР) заключается в создании компонента САПР в системе Autodesk Inventor (AI), реализующего модель технического устройства. Структура РГР представлена в табл. 1.

*Таблица 1*

**Структура РГР**

№ пп	Наименование структурного раздела	Содержание раздела
1	Описание заданного класса устройств	Назначение устройства. Структура. Принцип функционирования
2	Описание модели проектируемого устройства	Структура модели (с учетом стандартных компонент). Ключевые варьируемые параметры, определяющие назначение модели. Границы применимости
3	Моделирование нестандартных компонент	Эскизы элементов модели. Таблицы параметров. Структура конструктивных элементов. Описание параметрических элементов. Конструктивные пары
4	Моделирование стандартных компонент	Перечень компонент, создаваемых на основе <i>Мастеров проектирования AI</i> или добавляемых из библиотек. Входные параметры для создания компонент, условия их размещения в модели изделия.
5	Моделирование общей сборки	Уровни сборки (детали, под сборки). Параметры сборки (не учитываемые в компонентах). Сборочные зависимости (перечень, типы, параметры)
6	Исследование модели	Вариация ключевых параметров в заданных пределах. Конфигурация модели при граничных и промежуточном значениях параметров на интервале варьирования. Схема визуализации и ее параметры.
7	Выходная документация	Чертежи компонент (за исключением стандартных). Общий сборочный чертеж модели устройства. Спецификация модели.

Технические требования к РГР:

- 1) в модели сборки – до 10 нестандартных компонент;
- 2) наличие не менее четырех ключевых параметров, существенно влияющих на модель;
- 3) обеспечение в модели возможности имитации работы устройства.

К защите РГР представляются следующие документы:

- 1) пояснительная записка (Приложения А и Б);
- 2) проект AI, включающий файлы сборок, деталей, презентаций, чертежей, электронных таблиц и т.д. по теме РГР (Приложение В).

## 1. ОПИСАНИЕ ЗАДАННОГО КЛАССА УСТРОЙСТВ

После выбора устройства для проектирования (объекта проектирования) необходимо определить для него прототип. Прототип – это действующий образец устройства. При выборе прототипа необходимо учитывать, что среда моделирования АІ ориентирована на машиностроение и механику твердого тела.

Для последующего моделирования дается описание прототипа, т.е. указывается его назначение, приводятся сведения об аналогичных устройствах, описывается схема конструкции объекта проектирования (устанавливается назначение составных частей устройства и принципы их взаимодействия). Источниками исходных данных для прототипирования могут служить периодические и специальные издания, патентная информация, техническая документация (руководства по эксплуатации и ремонту), сами образцы устройств.

## 2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ПРОЕКТИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА

После выбора и описания прототипа устройства начинается этап создания его модели. Модель должна отражать существенные особенности проектируемого объекта. Например, в том случае, если в структуре прототипа заложена кинематическая схема движения составных частей, то она должна быть реализована в модели.

При моделировании допустимо вводить условности, касающиеся несущественных элементов прототипа. Например, внешние контуры корпусных элементов устройства могут быть изменены, исходя из возможностей среды моделирования. Элементы подвижных частей устройства, не влияющие на характер движения, могут быть опущены или форма их может быть упрощена. В том случае, если устройство в целом или его отдельные элементы взаимодействуют с жидкой, газообразной средой или средой из сыпучих веществ, то эти среды могут не включаться в модель.

В описании модели необходимо привести ее аннотированную схему с указанием элементов, соответствующих элементам устройства-прототипа. Для схемы приводится ее обоснование с точки зрения адекватности объекту моделирования. На схеме модели также должны быть приведены параметры, определяющие существенные геометрические характеристики элементов. Для этих параметров приводятся соотношения, определяющие их величину и связь их с другими параметрами модели. В качестве ключевых параметров для модели устройства могут выступать технологические характеристики,

например, скорость движения исполнительных звеньев, производительность устройства, рабочее давление и т.п. Для таких параметров необходимо указать расчетные методики, связывающие их величину с геометрическими параметрами модели.

При выборе ключевых параметров нужно учитывать, что именно они будут определять функциональность разрабатываемого в рамках РГР компонента САПР.

## 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ КОМПОНЕНТ

Адаптивная параметрическая среда АІ, используемая в РГР, позволяет создавать плоские и трехмерные модели технических объектов для их использования в специальных программных надстройках АІ (в том числе пользовательских), реализующих расчетные методики для анализа технологичности формы, кинематического анализа, динамического моделирования, технологической подготовки производства и других задач.

Порядок создания моделей в АІ можно представить следующим образом.

1. В среде создания модели компонента (детали) проектируемого изделия на выбранной плоскости создается контур – эскиз (плоский или трехмерный).

2. На базе эскиза создается трехмерный твердотельный или поверхностный конструктивный элемент.

3. Для эскиза и конструктивного элемента строится система параметров, связанных с геометрией модели и ключевыми параметрами изделия.

4. Последовательность 1-3 повторяется до полного описания модели.

5. В том случае, если проектируется модель изделия (сборочной единицы или сборки), содержащего детали, то создаются модели входящих в нее деталей, на которые накладываются статические и динамические сборочные зависимости, определяющие взаимное положение и движение компонент сборки.

Рассмотрим некоторые аспекты моделирования в АІ на примере механизма-толкателя (рис. 1).

Принцип работы механизма заключается в следующем – вращение рычага 2 (см. рис. 1) вокруг оси отверстия, соосного и равного отверстию в корпусе 1 (см. рис. 1), приводит при наличии касания между рычагом и ползуном 3 (см. рис. 1) к поступательному движению последнего вдоль направляющих корпуса.

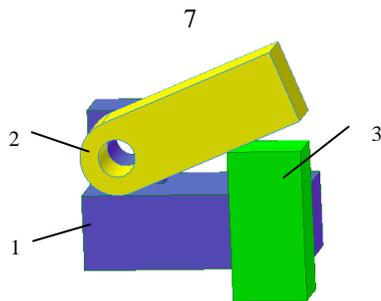


Рис. 1. Схема прототипа – механизма-толкателя:  
1 – корпус; 2 – рычаг; 3 – ползун

Структура *Браузера объектов* AI для модели корпуса механизма представлена на рис. 2. *Браузер* содержит в секции *Начало* сведения о рабочих точках и плоскостях, образующих начало координат среды моделирования детали *Начало* (см. рис. 2), объемных конструктивных элементах *Выдавливание1...Выдавливание4*, образующих модель, и соответствующих им плоских эскизах (см. рис. 2), дополнительных файлах *Сторонние объекты*, содержащих, например, таблицы параметров из MS Excel (см. рис. 2).

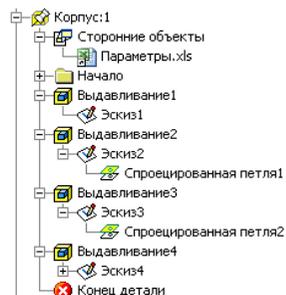
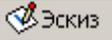


Рис. 2. *Браузер объектов* Inventor – вся структура модели и шаги ее создания

На рис. 3. приведен эскиз для первичного объемного конструктивного элемента корпуса (рис. 4).

Эскиз создается с помощью команды *Эскиз*  *Стандартной панели* AI на любой плоскости из папки *Начало* (см. рис. 2) или имеющейся грани. В панели инструментов *2M Эскиз* среды работы с эскизами (см. рис. 3) содержатся инструменты для создания контуров эскиза (*Отрезок*, *Окружность*, ...) и фиксации его формы (*Перпендикулярность*, *Параллельность*, ...) и размеров .

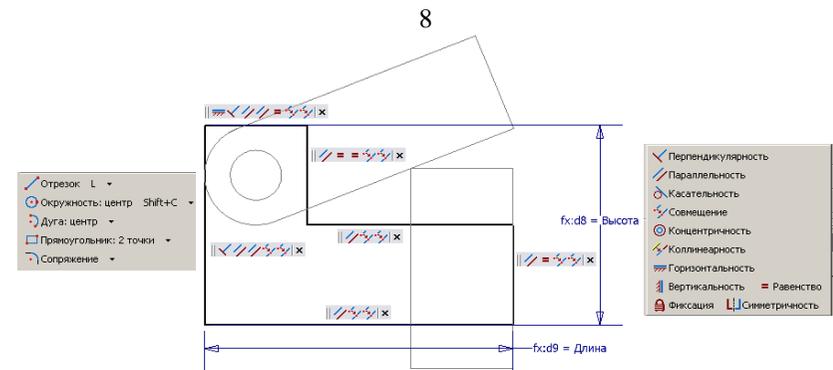
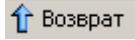


Рис. 3. Среда проектирования эскиза – графические примитивы и зависимости их расположения

Объемные конструктивные элементы в AI создаются на незанятых другими элементами эскизах в среде работы с деталями (активируется командой  *Возврат* в среде эскиза). В среде детали из панели *Конструктивные элементы* выбирается тип объемного элемента (см. рис. 4) и затем задаются его характеристики (производящий эскиз, направление создания, булевы операции с имеющимися объемами).

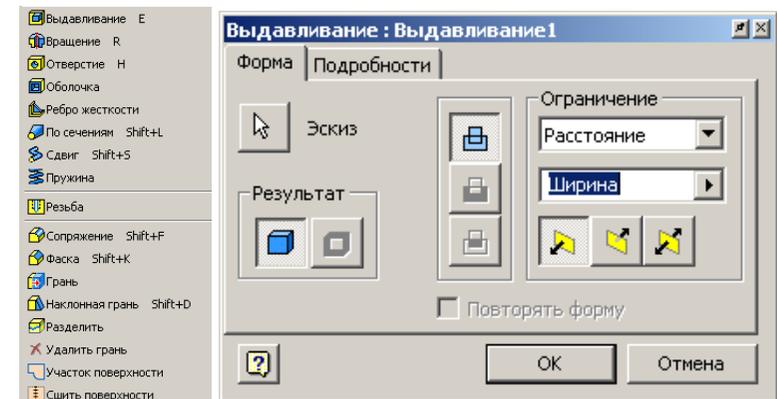


Рис. 4. Инструменты для объемных конструктивных элементов и окно настройки одного из них – типа *Выдавливание*

С любым размером эскиза или конструктивного элемента можно связать параметр (рис. 5), определенный в файле детали Inventor или связанной электронной таблице MS Excel (рис. 6).

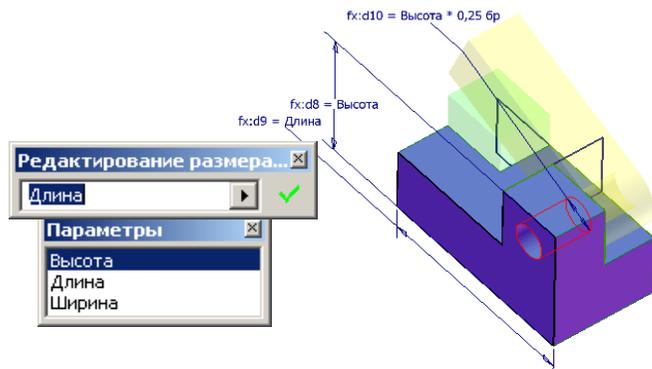


Рис. 5. Любой объемный элемент или эскиз позволяет использовать заданный конструктором набор параметров

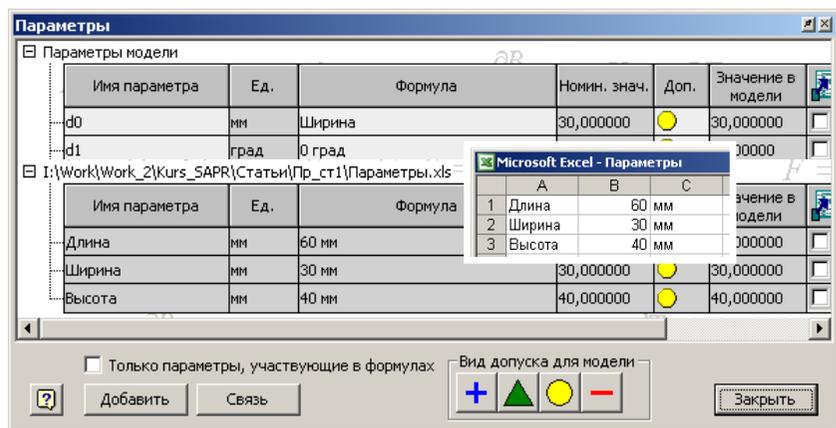


Рис. 6. Параметры можно хранить как в файле детали, так и в связанной электронной таблице

Перечень параметров для окна *Редактирование размера* эскиза (см. рис. 5) или поля ввода размера конструктивного элемента (см. рис. 4) становится доступным только после создания этих параметров в таблице параметров детали (см. рис. 6), открываемой командой *Сервис* > *Параметры*  $f_x$  *Параметры*. В таблице параметров может содержаться три секции параметров (см. рис. 6):

*Параметры модели* – это геометрические параметры, создаваемые AI автоматически при использовании команды *Размеры* в эскизе или создании объемного конструктивного элемента (например, параметр высоты элемента типа *Выдавливание*);

*Пользовательские параметры* – это параметры, создаваемые командой *Добавить* (см. рис. 6), эти параметры могут иметь негеометрическую размерность и участвовать в расчетах геометрических параметров (например, параметров модели);

*Параметры из сторонних таблиц* – это параметры, создаваемые командой *Связь* (см. рис. 6), эти параметры описываются в связываемых с моделью файлах таблиц MS Excel, изменения в этих таблицах вызывают изменения в таблице параметров модели AI. Преимуществом параметров из сторонних таблиц является возможность связи одной (общей) таблицы параметров MS Excel со всеми моделями компонент проектируемого изделия, что позволяет динамично переконфигурировать модель изделия в целом.

Модель рычага механизма (рис. 7) имеет связь с общей таблицей параметров сборки, что позволяет использовать их при образмеривании элементов. Объемные элементы и эскизы, служащие их основой, в AI могут быть объявлены адаптивными (с иконкой), т.е. их форма и размеры могут видоизменяться для соответствия неадаптивным геометрическим элементам. Для рычага (см. рис. 7) конструктивный элемент *Выдавливание2* (тело рычага) объявлен адаптивным (в окне *Свойства*) с точки зрения параметров – адаптироваться будет не эскиз элемента (он определен параметрами (*Эскиз1* (см. рис. 7))), а только его высота.

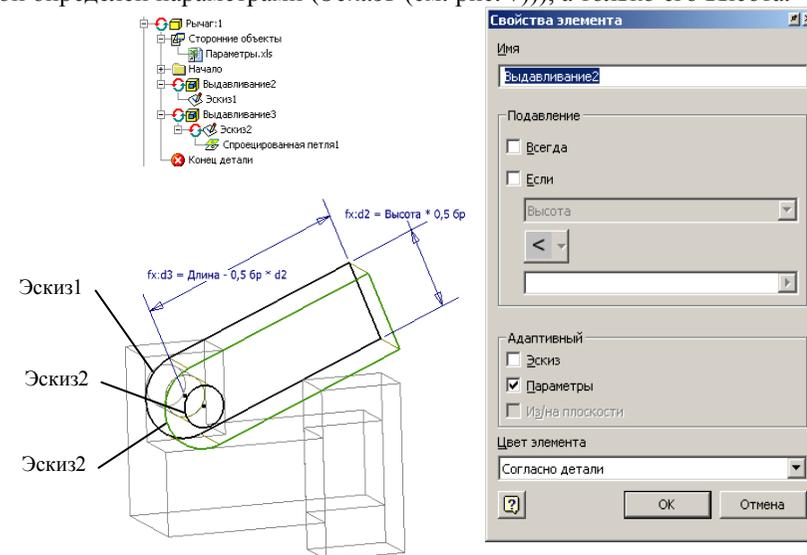


Рис. 7. Адаптивность конструктивных элементов детали – «подчиненность» их формы и размеров другим деталям сборки

Высота элемента *Выдавливание2* будет ограничиваться гранью проушины и боковой стенкой основания корпуса механизма (см. рис. 7, 11, 12). Конструктивный элемент *Выдавливание3* (отверстие) рычага (см. рис. 7) объявляется адаптивным и с точки зрения эскиза, т.к. эскизный диаметр элемента будет «подстраиваться» под диаметр отверстия проушины корпуса. При этом на эскизе для *Выдавливание3* (*Эскиз2* (см. рис. 7)) размер диаметра командой *Размеры* не ставится. Контур *Эскиза1* в *Эскизе2* (см. рис. 7) для размещения центра отверстия получен командой *Проецировать геометрию* панели *2М Эскиз* среды работы с эскизами (см. рис. 3).

Эскиз модели ползуна объявляется адаптивным (с помощью окна *Свойства*) для вписывания в направляющую корпуса (рис. 8).

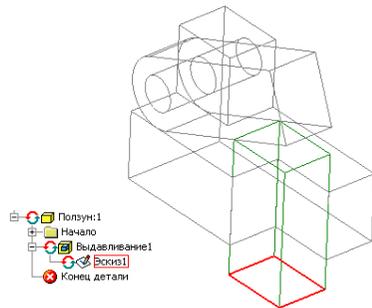


Рис. 8. Деталь ползун представляет собой адаптивный в поперечном сечении объект

#### 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ КОМПОНЕНТ

Среда AI поддерживает работу с библиотеками стандартных деталей (рис. 9). Доступ к библиотеке стандартных деталей, поставляемой с AI, производится командой *Сервис > Библиотека компонентов*. Пользователь-конструктор имеет возможность выбрать необходимый тип детали в библиотеке и добавить ее экземпляр в модель сборки изделия.

При вставке стандартной детали в модель изделия файл детали автоматически создается в папке, предназначенной для хранения используемых деталей библиотеки компонентов. Настройка расположения этой папки производится в свойствах (*Файл > Проекты...*) текущего проекта (рис. 10). В качестве места расположения папки библиотечных компонент имеет смысл выбрать директорию текущего проекта, содержащую и все нестандартные компоненты (это позволит избежать потери файлов при «транспортировке» проекта).

Использование стандартных компонент, во-первых, позволяет соблюдать требование технологичности проектируемого изделия (например, нестандартный крепеж в большинстве случаев удорожает производство), во-вторых, стандартные компоненты не требуют процедуры создания их моделей (они уже описаны в библиотеках).

Все параметры стандартных деталей представляют собой постоянные значения, определенные в таблице конфигураций библиотеки. Пользователь-конструктор может выбирать только те конфигурации, которые заложены в библиотеке. Размеры моделей стандартных компонент автоматически не адаптируются к размерам моделей смежных с ними деталей.

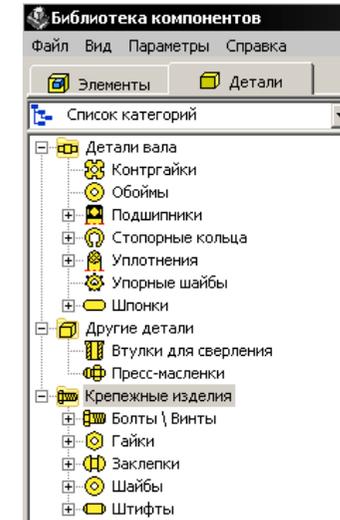


Рис. 9. Библиотека стандартных компонент AI

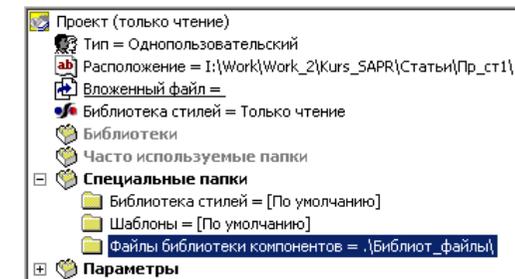


Рис. 10. Настройка расположения файлов библиотеки компонент в проекте AI

В рассматриваемом механизме-толкателе (см. рис. 1) корпус и рычаг могут соединяться между собой посредством стандартных деталей: резьбовой шпильки 1 (рис. 11), двух шайб 2 и двух гаек 3.

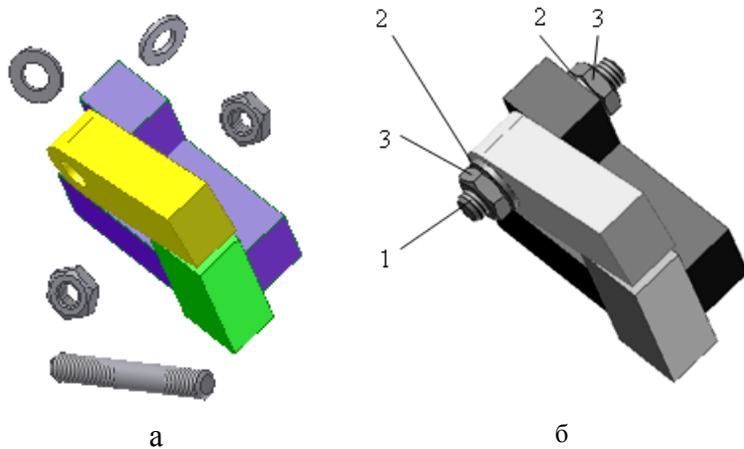


Рис. 11. Схема использования стандартных компонент:  
а – компонент добавлены, б – компоненты в сборе

Параметры стандартных компонент, добавленных в модель сборки, были установлены из следующих соображений:

- диаметр (по резьбе) для шпильки и гаек должен быть одинаковым;
- диаметр шпильки должен быть взят из таблицы типоразмеров первым меньшим диаметром отверстия в рычаге и корпусе механизма-толкателя;
- внутренний диаметр шайб должен быть взят из таблицы типоразмеров первым большим диаметром шпильки;
- длина шпильки должна быть взята из таблицы типоразмеров первой большей суммарной толщины соединяемых деталей и толщин гаек и шайб.

Пример выбора детали – гайки 3 (см. рис. 11) в библиотеке стандартных компонент AI по диаметру резьбы показан на рис. 12. Добавление компонента выбранного типоразмера производится командой *Вставка* (см. рис. 12). Для смены типоразмера стандартного компонента в модели сборки (например, при изменении значений ключевых параметров и изменении размеров нестандартных компонент) производится поиск текущего компонента в библиотеке контекстной командой *Поиск в центре содержимого*, затем после выбора необходимого типоразмера выполняется команда *Заменить* (см. рис. 12).

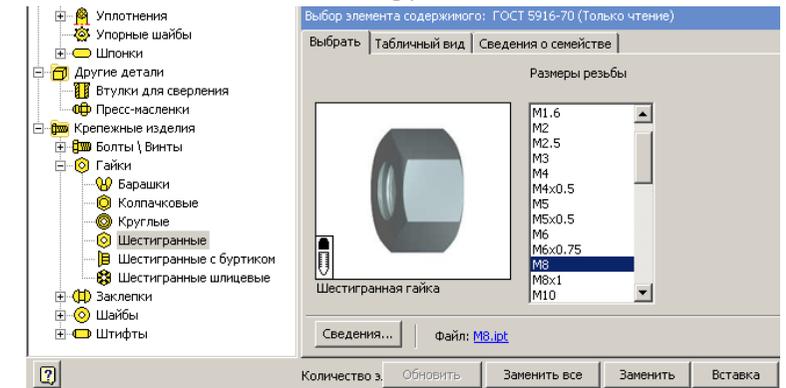


Рис. 12. Выбор стандартного компонента в библиотеке для вставки в модель сборки изделия

## 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЩЕЙ СБОРКИ

Созданные модели деталей могут входить в файл модели сборки изделия, где они, взаимодействуя друг с другом, придают сборке модель функциональных возможностей прототипа.

Рассмотренные ранее модели деталей механизма-толкателя помещены в файл сборки, *Браузер* которой представлен на рис. 13. Взаимное расположение и взаимодействие деталей в сборке определяется зависимостями, накладываемыми с помощью команды

*Зависимости*  панели инструментов *Изделие* среды работы со сборками (см. рис. 13). *Статические* зависимости позволяют совмещать грани, ребра, точки деталей, определяя дистанцию совмещения, угол между элементами или их касательность. *Динамические* зависимости задают вращательное или поступательное движение одной детали при установленном движении другой. *Управляющая* зависимость обеспечивает следование поверхности одной детали криволинейной поверхности другой детали при их движении (зависимость для моделирования, например, кулачковых механизмов). Действие любой зависимости на модель детали выражается в сокращении числа ее степеней свободы в модели сборки. Хотя бы одна деталь в сборке – базовая  должна не иметь степеней свободы. В рассматриваемом механизме базовой деталью контекстной командой *Базовый* объявлен корпус (см. рис. 13).

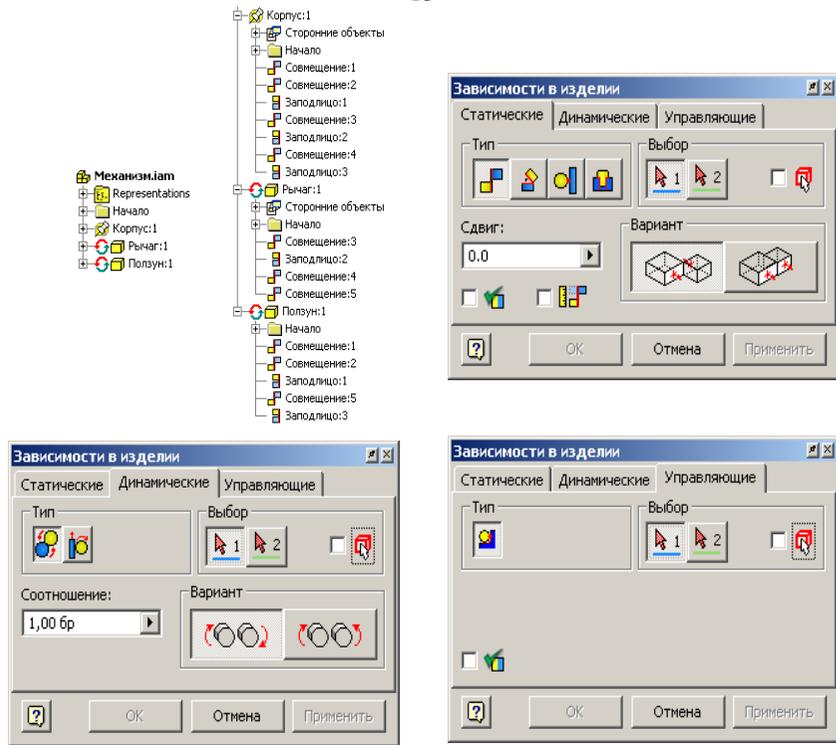


Рис. 13. Накладываемые на модель сборочные зависимости отображаются в Браузере для связываемых с их помощью деталей

Рычаг соединяется с корпусом механизма-толкателя при помощи зависимости типа *Совмещение* для внутренних поверхностей отверстий этих деталей (рис. 14). Эта зависимость устанавливает соосность и равенство диаметра адаптивного отверстия рычага отверстию корпуса (см. рис. 7). Положение рычага вдоль оси вращения задается зависимостью типа *Заподлицо* со стенкой основания корпуса (рис. 15) и зависимостью типа *Совмещение* с гранью проушины (рис. 16). Эти зависимости дополнительно определяют ширину рычага в силу ее адаптивности (см. рис. 7).

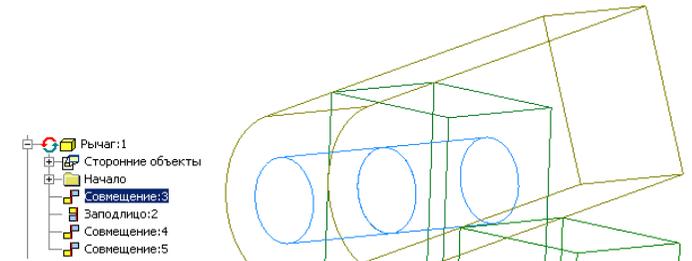


Рис. 14. Действие зависимости типа *Совмещение* для цилиндрических поверхностей

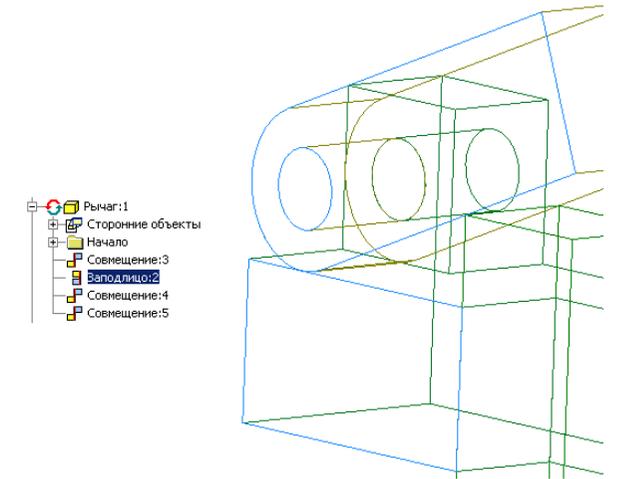


Рис. 15. Действие зависимости типа *Заподлицо* для двух плоских граней

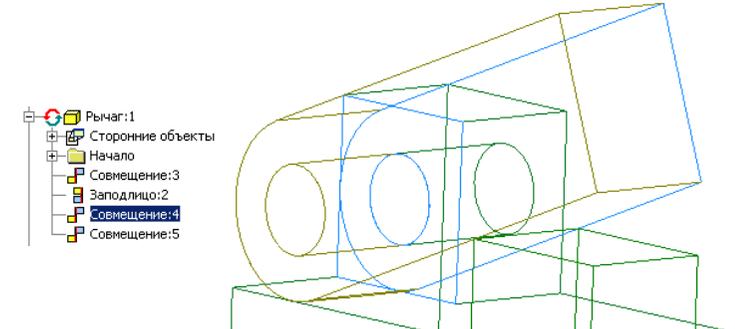


Рис. 16. Действие зависимости типа *Совмещение* для двух плоских граней

Связанное движение ползуна и рычага реализуется зависимостью типа *Совмещение* для одного из верхних ребер ползуна и нижней грани рычага (рис. 17).

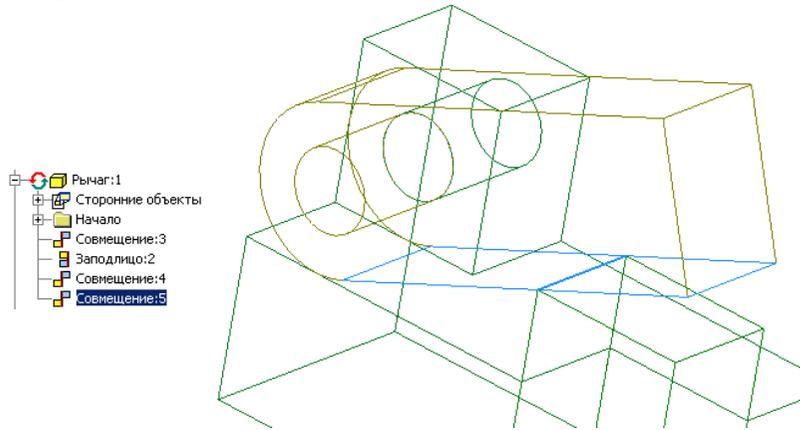


Рис. 17. Совмещение ребра и грани двух подвижных деталей модели

Поперечные размеры адаптивного ползуна (см. рис. 8) и траектория его поступательного движения определяются набором зависимостей типа *Заподлицо* и *Совмещение* между боковыми гранями ползуна, стенками основания и направляющей корпуса механизма (рис. 18).

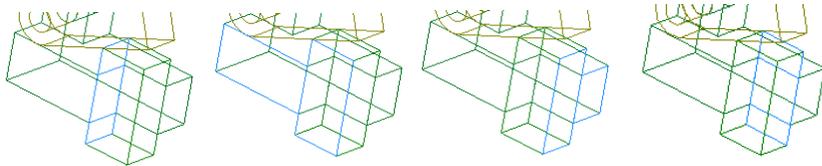


Рис. 18. Зависимости расположения ползуна в корпусе механизма-толкателя

Стандартные компоненты в сборке размещаются также с помощью команды *Зависимости*. Например, шпилька, гайки и шайбы в механизме-толкателе (см. рис. 11) совмещаются своими осями с осями отверстий в рычаге и корпусе, а торцы гаек и шайб совмещаются без зазора друг с другом и соответствующими гранями рычага и корпуса.

## 6. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ

Работу модели устройства можно проверить, буксируя мышью лю-

бы подвижные компоненты модели в рабочей области среды AI либо задав дополнительную зависимость, ограничивающую подвижность модели сборки и варьируя ключевой параметр этой зависимости. Например, в модели механизма-толкателя (см. рис. 1), во-первых, можно буксировать рычаг или ползун, а во-вторых, можно определить зависимость типа *Угол* между нижней поверхностью рычага и верхней гранью основания корпуса (рис. 19). Затем, установив границы варьирования угла, можно запустить симуляцию модели по данному параметру (рис. 20), используя контекстную команду *Вариация зависимости* для зависимости в *Браузере*.

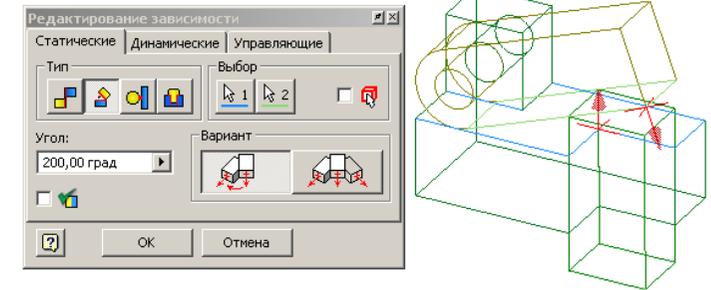


Рис. 19. Наложение зависимости типа *Угол* для подавления всех степеней свободы механизма

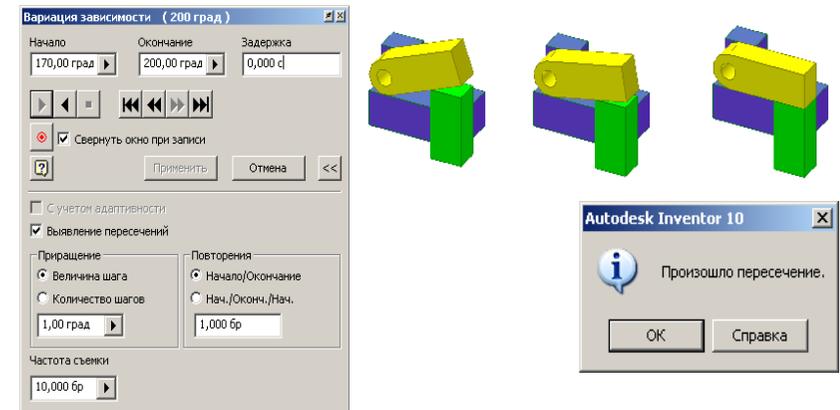


Рис. 20. Варьирование параметра зависимости позволяет установить граничные положения работы механизма

Наибольший угол подъема рычага механизма-толкателя (см. рис. 1), при котором сохраняется возможность его воздействия на ползун, мож-

но установить, используя механизм анализа пересечений компонент в моделях АІ. Для этого компоненты модели сборки необходимо объявить неадаптивными с помощью контекстного переключателя *Адаптивность* в *Браузере* АІ. Затем для компонент сборки в контекстном меню *Браузера* активируется свойство *Набор для анализа контактов* (рис. 21), а в меню *Сервис* АІ – опция *Анализ контактов*. После этого, сняв зависимость *Совмещение* верхних ребер ползуна и нижней грани рычага (см. рис. 17), можно в модели буксировать ползун вверх относительно корпуса механизма-толкателя с помощью мыши или варьируя положение любого торца ползуна относительно верхней или нижней поверхности корпуса (см. рис. 21). В результате рычаг в модели под действием ползуна повернется на максимальный угол работы механизма-толкателя (см. рис. 21).

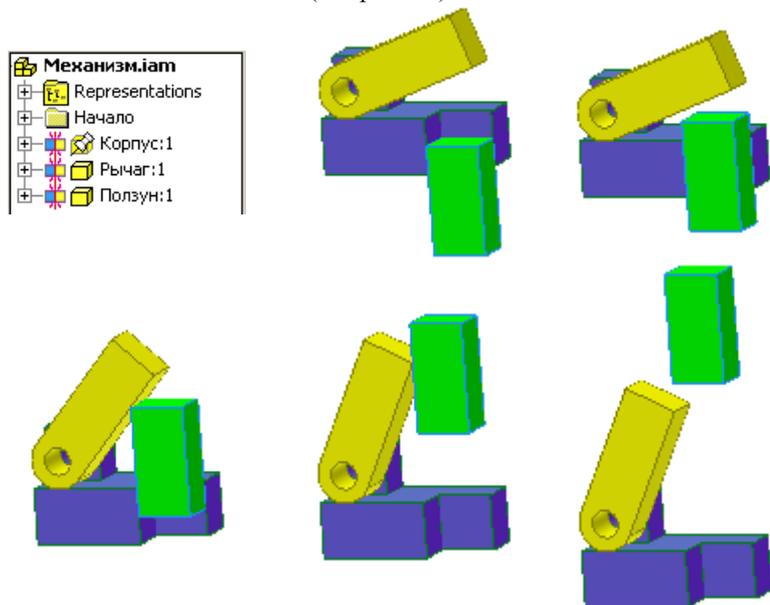
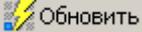


Рис. 21. Анализ пересечений в определении допустимых положений компонент сборки

Параметры из сторонних таблиц, заданные при моделировании деталей механизма, позволяют вносить изменения в конструкцию на уровне модели сборки (рис. 22). Для вызова на редактирование таких таблиц можно использовать контекстную команду *Изменить* на соответствующем объекте в секции *Сторонние объекты Браузера* АІ (см. рис. 2). После внесения изменений в связанную стороннюю таб-

лицу необходимо актуализировать состояние модели изделия командой

*Обновить*  стандартной панели АІ.

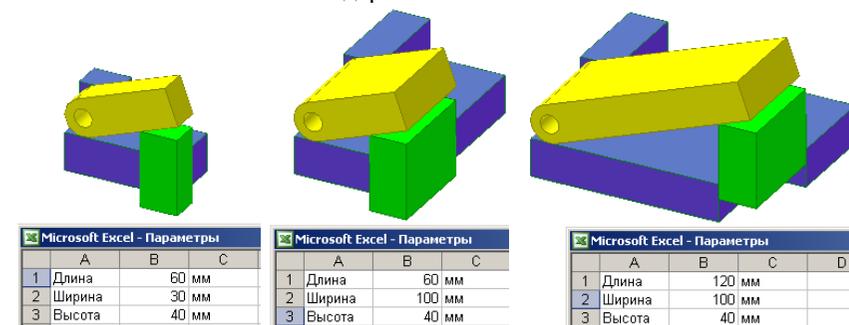
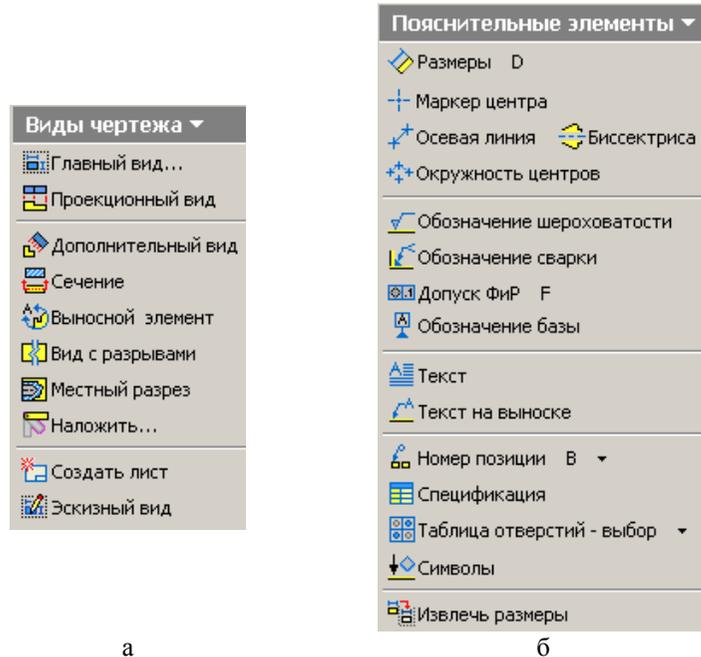


Рис. 22. Параметризация на уровне модели сборки

## 7. ВЫХОДНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Создание выходной документации является неотъемлемым этапом проектно-конструкторских работ. В состав выходной документации могут входить пояснительные записки, рабочие и сборочные чертежи, технологические карты, спецификации. АІ включает в себя, наряду со средой моделирования, также и среду разработки конструкторской документации. Эта среда активируется при выборе метрического шаблона *ГОСТ 2.104-68.idw* для создания нового компонента проекта АІ (команда *Файл > Создать*). Среда работы с документацией содержит два набора инструментов (рис. 23). Создание документа начинается с выбора и редактирования макета листа с необходимым обрамлением и штампами (команда *Создать лист* (см. рис. 23)). Затем в зависимости от типа документа на листе может размещаться текстовая информация (команда *Текст* (см. рис. 23)), таблица составных частей (команда *Спецификация* (см. рис. 23)), базовый чертежный вид (команда *Главный вид* (см. рис. 23)). АІ является средой ассоциативного моделирования, что находит отражение и в среде разработки документации. Чертежные виды и спецификации генерируются системой автоматически на основе информации, заложенной проектировщиком в модели, т.о. если изменения вносятся в модель, то они автоматически вызывают соответствующие изменения в документе. Ассоциативность проявляется также, например, при создании дополнительных видовых представлений модели в сборочном или рабочем чертеже: команды для создания разрезов, выносных и наложенных видов (см. рис. 23) автоматически генерируются на основе выбранного для них проектировщиком базового вида.



а

б

Рис. 23. Инструменты среды документирования АІ:  
а – для создания видовых представлений в конструкторской документации, б – для аннотирования видов

Для возможности редактирования стилевых настроек отдельных элементов документов в свойствах проекта АІ свойству *Библиотека стилей* необходимо присвоить значение *Да* (см. рис. 10). Для всех текстовых элементов чертежей рекомендуется использовать шрифт *GOST Type A*, установив его в *Редакторе стилей* АІ (команда *Формат > Редактор стилей* или *Редактировать стиль* в контекстном меню для отдельного аннотирующего элемента).

В РГР необходимо выполнить сборочный чертеж, спецификацию и рабочий чертеж для объекта моделирования (см. рис. Б.19, Б.20). На каждый тип конструкторских документов существует набор правил оформления, которые содержатся в Единой системе конструкторской документации (ЕСКД). Рассмотрим правила, которыми необходимо руководствоваться при создании чертежей (по материалам ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам):

1.1. Сборочный чертеж должен содержать:

а) изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по

данному чертежу, и обеспечивающее возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы.

Допускается на сборочных чертежах помещать дополнительные схематические изображения соединения и расположения составных частей изделия;

б) размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу. Допускается указывать размеры, определяющие характер сопряжения.

Например, на сборочном чертеже (см. рис. Б.19) размер  $\varnothing 24,00 \frac{H7}{h6}$  характеризует сопряжение (посадку) детали *Шарик* с канавкой, образованной корпусом и внутренней обоймой сферического шарнира. Диаметр шарика соответствует размеру  $\varnothing 24,00 h6$  (условный “вал”) с численными значениями отклонений  $-0,000$  и  $-0,013$ , размер канавки –  $\varnothing 24,00 H7$  (условное “отверстие”) с отклонением  $+0,021$  и  $-0,000$ . Размеры с отклонением указываются в АІ с помощью контекстной команды *Допуск* для аннотирующего элемента типа *Размер*. Буквенно-цифровое обозначение определяется методом *Пределы/Посадки – дробные окна Допуск размеров*, для размера отдельной детали сопрягаемый допуск не указывается (в поле *Вал* или *Отверстие* выбирается *H/D*).

в) указания о характере сопряжения и методах его осуществления, если точность сопряжения обеспечивается не заданными предельными отклонениями размеров, а подбором, пригонкой и т. п., а также указания о выполнении неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);

г) номера позиций составных частей, входящих в изделие (команда *Номер позиции* (см. рис. 23));

д) габаритные размеры изделия;

е) установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры:

– координаты расположения, размеры с предельными отклонениями элементов, служащих для соединения с сопрягаемыми изделиями;

– другие параметры, например, для зубчатых колес, служащих элементами внешней связи, модуль, количество и направление зубьев;

ж) техническую характеристику изделия (при необходимости);

з) координаты центра масс (при необходимости).

1.2. На сборочном чертеже допускается изображать перемещающиеся части изделия в крайнем или промежуточном положении с соответствующими размерами. Если при изображении перемещающихся частей затрудняется чтение чертежа, то эти части допускается изображать на дополнительных видах с соответствующими надписями, например: “Крайнее положение каретки поз. 5”.

1.3. На сборочном чертеже изделия допускается помещать изображение пограничных (соседних) изделий (“обстановки”) и размеры, определяющие их взаимное расположение.

Составные части изделия, расположенные за “обстановкой”, допустимо изображать как видимые. Предметы “обстановки” выполняют упрощенно и приводят необходимые данные для определения места установки и методов крепления изделия.

1.4. Если на сборочном чертеже необходимо указать наименования или обозначения изделий, составляющих “обстановку”, или их элементов, то эти указания помещают непосредственно на изображении “обстановки”, или на полке линии-выноски, проведенной от соответствующего изображения, например: “Автомат давления (обозначение)”;

“Патрубок маслоохладителя (обозначение)” и т. п.

1.5. Сборочные чертежи следует выполнять, как правило, с упрощениями, соответствующими требованиям стандартов ЕСКД. На сборочных чертежах допускается не показывать:

а) фаски, скругления, проточки, углубления, выступы, накатки, насечки, оплетки и другие мелкие элементы;

б) зазоры между стержнем и отверстием;

в) крышки, щиты, кожухи, перегородки и т. п., если необходимо показать закрытые ими составные части изделия. При этом над изображением делают соответствующую надпись, например: “Крышка поз. 3 не показана”;

г) видимые составные части изделий или их элементы, расположенные за сеткой, а также частично закрытые впереди расположенными составными частями;

д) надписи на табличках, фирменных планках, шкалах и других подобных деталях, изображая только их контур.

1.6. Изделия из прозрачного материала изображают как непрозрачные.

1.7. Изделия, расположенные за винтовой пружиной, изображенной лишь сечениями витков, изображают до зоны, условно закрывающей эти изделия и определяемой осевыми линиями сечений витков.

1.8. На сборочных чертежах применяют следующие способы упрощенного изображения составных частей изделий:

а) на разрезах изображают нерассеченными составные части, на которые оформлены самостоятельные сборочные чертежи;

б) типовые, покупные и другие широко применяемые изделия изображают внешними очертаниями.

1.9. На сборочных чертежах, включающих изображения нескольких одинаковых составных частей (колес, опорных катков и т. п.), допускается выполнять полное изображение одной составной части, а изображения остальных частей - упрощенно в виде внешних очертаний.

1.10. Если необходимо указать положение центра масс изделия, то на чертеже приводят соответствующие размеры и на полке линии-выноски помещают надпись: “Ц. М.”.

1.11. На сборочном чертеже все составные части сборочной единицы нумеруют в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации этой сборочной единицы. Номера позиций наносят на полках линий-выносок, проводимых от изображений составных частей.

1.12. Номера позиций указывают на тех изображениях, на которых соответствующие составные части проецируются как видимые, как правило, на основных видах и заменяющих их разрезах.

1.13. Номер позиций располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют в колонку или строчку по возможности на одной линии.

1.14. Номер позиций наносят на чертеже, как правило, один раз.

1.15. Размер шрифта номеров позиций (и обозначений видов) должен быть на один-два номера больше, чем размер шрифта, принятого для размерных чисел на том же чертеже (например, 7 мм и 5 мм или 5 мм и 3,5 мм).

1.16. Допускается делать общую линию-выноску с вертикальным расположением номеров позиций:

а) для группы крепежных деталей, относящихся к одному и тому же месту крепления. Если крепежных деталей две и более и при этом разные составные части крепятся одинаковыми крепежными деталями, то количество их допускается проставлять в скобках после номера соответствующей позиции и указывать только для одной единицы закрепляемой составной части;

б) для группы деталей с отчетливо выраженной взаимосвязью, исключаяющей различное понимание, при невозможности подвести линию-выноску к каждой составной части.

1.17. На присоединительные поверхности необходимо нанести обозначение качества обработки (знак шероховатости с величиной микронеровностей в мкм).



2.7. На каждую деталь изделия выполняют отдельный чертеж.

2.8. На каждом чертеже помещают основную надпись и дополнительные графы к ней.

2.9. Графы штампа заполняют аналогично сборочному чертежу (массу указывают в килограммах без указания единицы измерения).

2.10. В основной надписи чертежа наименование изделия должно соответствовать принятой терминологии и быть по возможности кратким. Наименование изделия записывают в именительном падеже единственного числа. В наименовании, состоящем из нескольких слов, на первом месте помещают имя существительное, например: “Колесо зубчатое”. В наименование изделия не включают, как правило, сведения о назначении изделия и его местоположении.

2.11. Если ребро (кромку) необходимо изготовить острым или скруглить, то на чертеже помещают соответствующее указание.

2.12. Технические требования, относящиеся к поверхностям, обрабатываемым совместно, помещают в том чертеже, где изображены все совместно обрабатываемые изделия.

Все необходимые данные для обработки таких отверстий (изображения, размеры, шероховатость поверхностей, координаты расположения, количество отверстий) помещают на сборочном чертеже изделия, в которое данное изделие входит составной частью.

2.13. Надписи и знаки, наносимые на плоскую поверхность изделия, изображают на соответствующем виде полностью, независимо от способа их нанесения. Расположение и начертание их должно соответствовать требованиям, предъявляемым к готовому изделию.

2.14. На чертеже должен быть указан способ нанесения надписей и знаков (гравирование, штемпелевание, чеканка, фотографирование и т. п.), покрытие всех поверхностей изделия, покрытие фона лицевой поверхности и покрытие наносимых надписей и знаков.

2.15. На чертежах деталей и в спецификации условные обозначения материала должны соответствовать обозначениям, установленным стандартами на материал.

2.16. Обозначение материала детали по стандарту на сортамент записывают на чертеже только в тех случаях, когда деталь в зависимости от предъявляемых к ней конструктивных и эксплуатационных требований должна быть изготовлена из сортового материала определенного профиля и размера.

2.17. В основной надписи чертежа детали указывают не более одного вида материала.

2.18. Если форма и размеры всех элементов определены на чертеже готовой детали, развертку (изображение, длину развертки) не приводят.

Когда изображение детали, изготавливаемой гибкой, не дает представления о действительной форме и размерах отдельных ее элементов, на чертеже детали помещают частичную или полную ее развертку. На изображении развертки наносят только те размеры, которые невозможно указать на изображении готовой детали.

2.19. Развертку изображают сплошными основными линиями, толщина которых должна быть равна толщине линий видимого контура на изображении детали.

При необходимости, на изображении развертки наносят линии сгибов, выполняемые штрихпунктирной тонкой линией с двумя точками, с указанием на полке линии-выноски “Линия сгиба”.

2.20. Детали, у которых отдельные элементы должны быть измерены после изменения (в пределах упругих деформаций) первоначальной формы, соответствующей свободному состоянию детали, изображают сплошными основными линиями в свободном состоянии и штрихпунктирными тонкими линиями с двумя точками - после изменения первоначальной формы детали. Размеры элементов, которые должны быть измерены после изменения первоначальной формы детали, наносят на изображении, выполненном штрихпунктирными тонкими линиями с двумя точками.

2.21. Детали из прозрачных материалов изображают как непрозрачные.

## Приложение А

Титульный лист пояснительной записки  
к расчетно-графической работе (РГР)

ФГБОУ ВПО  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В. Г. Шухова

Кафедра информационных технологий

Расчетно-графическая работа  
по курсу «Информационные технологии в науке и образовании»  
на тему:

САПР (система автоматизированного проектирования)»

---

Выполнил (а):  
студент (ка)

\_\_\_\_\_ (ФИО)

Проверил:

\_\_\_\_\_  
(должность)

\_\_\_\_\_ (ФИО)

Белгород 20\_\_

Образец выполнения расчетно-графической работы (РГР)  
по курсу “САПР”  
(пояснительная записка)

## Содержание

1. Описание заданного класса устройств.....	31
2. Описание модели проектируемого устройства .....	32
3. Моделирование нестандартных компонент .....	34
3.1. Моделирование внутренней обоймы сферического шарнира .....	34
3.2. Моделирование корпуса сферического шарнира.....	36
3.3. Моделирование шарика сферического шарнира.....	38
4. Моделирование общей сборки.....	39
5. Исследование модели .....	40
6. Выходная документация .....	43

### 1. Описание заданного класса устройств

Шарнирный механизм обеспечивает вращение двух валов под переменным углом благодаря подвижному соединению звеньев или упругим свойствам специальных элементов. Шарнирный механизм применяется в автомобилях, тракторах в др. транспортных машинах для передачи движения от коробки передач или раздаточной коробки к ведущему мосту.

На рис. Б.1 и Б.2 показана схема передачи с использованием карданного шарнирного механизма и сам механизм.

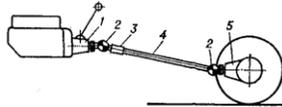


Рис. Б.1. Схема карданной передачи автомобиля:

1 – коробка передач; 2 – карданный шарнир; 3 – скользящее шлицевое соединение; 4 – карданный вал; 5 – главная передача

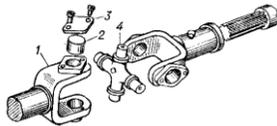


Рис. Б.2. Карданный шарнир:

1 – вилка; 2 – опора для цапфы крестовины; 3 – крышка; 4 – крестовина

Привод ведущих колес переднеприводных автомобилей осуществляется шарнирными валами, соединение которых производится при помощи сферического шарнира (шарнира равных угловых скоростей), схема которого представлена на рис. Б.3.

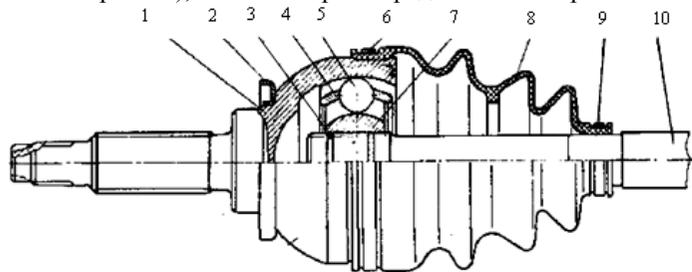


Рис. Б.3. Сферический шарнир:

1 – корпус шарнира; 2 – грязеотражатель; 3 – стопорное плоское кольцо; 4 – сепаратор; 5 – шарик; 6 – хомут; 7 – внутренняя обойма; 8 – чехол; 9 – малый хомут; 10 – вал

Сферический шарнир (см. рис. Б.3) состоит из корпуса 1, сепаратора 4, внутренней обоймы 7 и шести шариков 5. В корпусе шарнира и во внутренней обойме сделаны канавки для размещения шариков. Канавки в продольной плоскости выполнены по радиусу, что обеспечивает необходимый угол поворота шарнира. Внутренняя обойма насажена на шлицы вала 10 и удерживается на нем стопорным кольцом 3. При сборке шарнира все внутренние поверхности смазываются специальной пластичной смазкой, которая также закладывается внутрь шарнира. Для защиты от загрязнения на шарнир надевается гофрированный резиновый чехол 8. Герметичность чехла обеспечивается двумя стяжными хомутами 6 и 9.

### 2. Описание модели проектируемого устройства

В качестве объекта моделирования принят сферический шарнир (прототип см. рис. Б.3). Схема, отражающая существенные в рамках моделирования конструктивные особенности прототипа представлена на рис. Б.4.

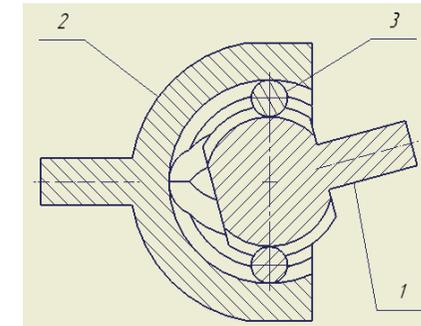


Рис. Б.4. Схема модели сферического шарнира:

1 – внутренняя обойма шарнира; 2 – корпус шарнира; 3 – шарик

В создаваемой модели существенными конструктивными элементами приняты внутренняя обойма шарнира и корпус, имеющие 6 канавок в продольной плоскости, а также 6 шариков, обеспечивающих передачу вращения от канавок внутренней обоймы к канавкам корпуса.

В модели вал 10 (см. рис. Б.3) принят одной деталью с внутренней обоймой; грязеотражатель, чехол и стяжные хомуты 2, 8, 6, 9 (см. рис. Б.3) опущены; сепаратор 4 (см. рис. Б.3) принят фиксацией шариков 3 (см. рис. Б.4) в плоскости, перпендикулярной оси корпуса шарнира и проходящей через центр шарнира.

Схема ключевых варьируемых параметров модели представлена на рис. Б.5.

На схеме представлены варьируемые параметры модели:

$d_{\text{в}}$  – диаметр хвостовика шарнира (вала для прототипа);

$l_{\text{в}}$  – длина хвостовика (вала для прототипа);

$ug$  – угол, определяющий положение центра шарнира относительно плоскости  $I$  (см. рис. Б.5) стыка сферической и цилиндрической частей внутренней обоймы

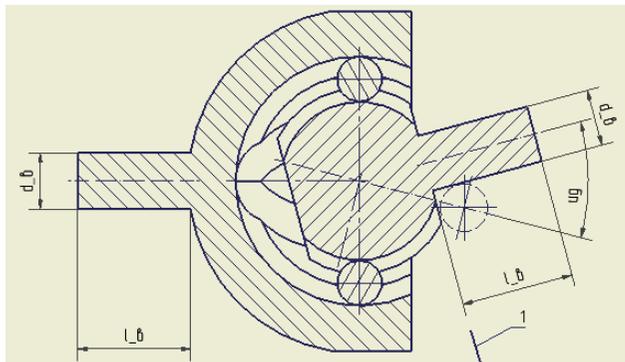


Рис. Б.5. Схема варьируемых параметров

Схема модели с указанием дополнительных расчетных параметров представлена на рис. Б.6.

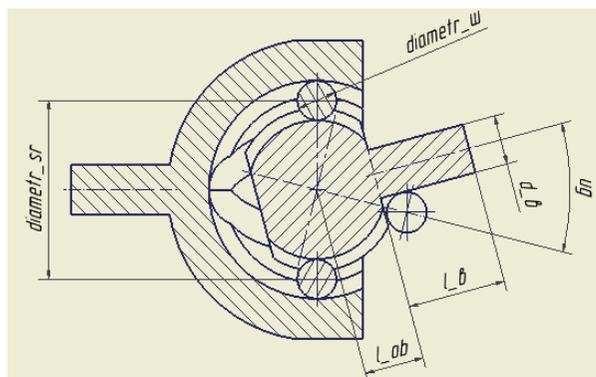


Рис. Б.6. Схема параметров модели

Расчет дополнительных параметров ведется по соотношениям:

– диаметр шариков

$$diametr_{\text{ш}} = 0,8 d_{\text{в}},$$

где 0,8 – коэффициент, учитывающий передачу вращающего момента частями поверхностей шариков, соприкасающимися с поверхностью канавок;

– средний диаметр шарнира (по центрам шариков)

$$diametr_{\text{sr}} = 2 (0,5 d_{\text{в}} + 0,5 diametr_{\text{ш}}) / \sin(ug);$$

– расстояние от центра шарнира до стыка сферической и цилиндрической частей внутренней обоймы

$$l_{\text{об}} = (0,5 diametr_{\text{sr}} - 0,5 diametr_{\text{ш}}) \cos(ug)$$

### 3. Моделирование нестандартных компонент

Моделирование сферического шарнира производится в проекте AI, содержащем модель внутренней обоймы (файл детали), модель корпуса (файл детали), модель шарика (файл детали), модель шарнира (файл сборки), файл электронных таблиц MS Excel с варьируемыми и основными расчетными параметрами (рис. Б.7).

	A	B	C
1	d в		30 мм
2	ug		30 град
3	l в		60 мм
4	diametr ш	=0,8*B1	мм
5	diametr sr	=2*(0,5*B1+0,5*B4)/SIN(B2*ПИ()/180)	мм
6	l об	=COS(B2*ПИ()/180)*(B5*0,5-0,5*B4)	мм

Рис. Б.7. Электронная таблица параметров модели

#### 3.1. Моделирование внутренней обоймы сферического шарнира

С файлом модели внутренней обоймы (Деталь1.ipt) связывается электронная таблица параметров (см. рис. Б.7).

Структура Браузера модели внутренней обоймы и основные эскизы модели представлены на рис. Б.8.

Глубина канавок (параметры  $d0$ ,  $d1$ , см. рис. Б.8) принимается исходя из расчета  $0,35 diametr_{\text{ш}}$ .

Общая структура параметров модели внутренней обоймы представлена на рис. Б.9.

Общий вид модели внутренней обоймы приведен на рис. Б.10.

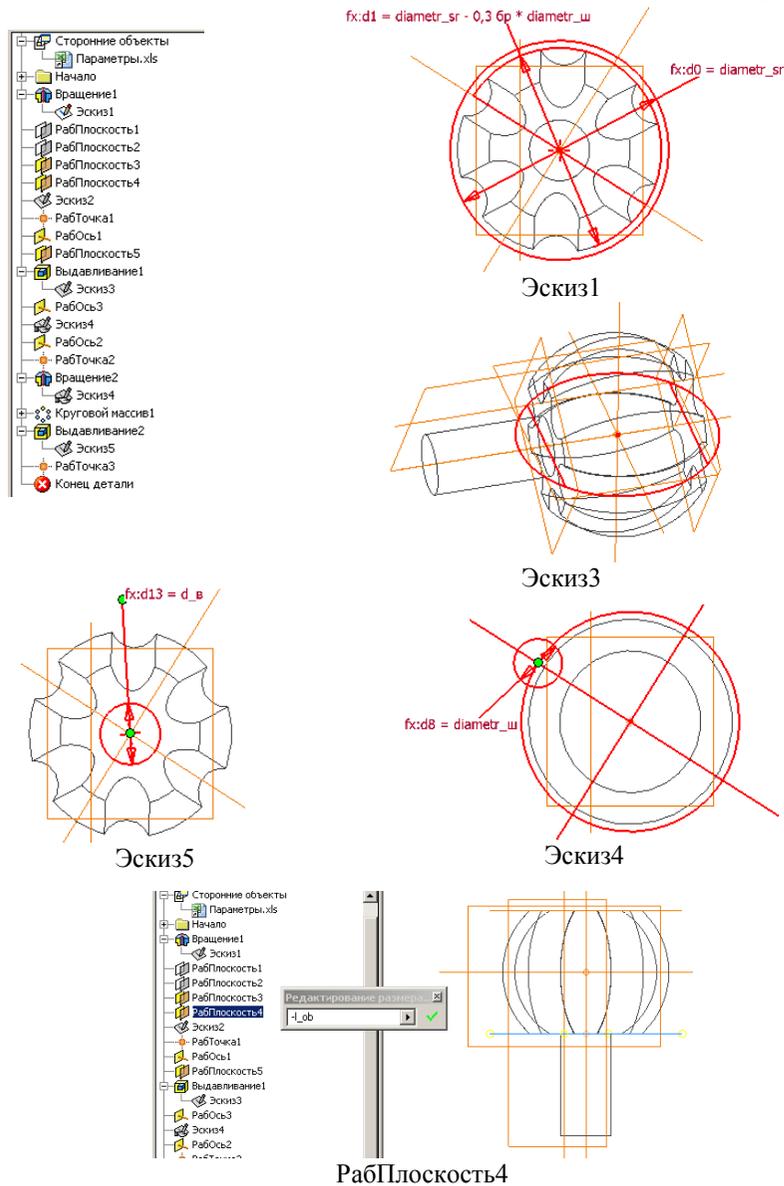


Рис. Б.8. Конструирование модели внутренней обоймы сферического шарнира

Параметры модели

Имя параметра	Ед.	Формула	Номин. знач.	Доп.	Значение в модели	Примечание
d0	мм	diametr_sr	108,000000	●	108,000000	
d1	мм	diametr_sr - 0,3 бр * diametr_ш	100,800000	●	100,800000	
d3	мм	-(d1 / 2 бр)	-50,400000	●	-50,400000	
d4	мм	l_ob	36,373067	●	36,373067	
d5	мм	-l_ob	-36,373067	●	-36,373067	
d7	град	0 град	0,000000	●	0,000000	
d8	мм	diametr_ш	24,000000	●	24,000000	
d9	град	180 град	180,000000	●	180,000000	
d10	бр	6 бр	6,000000	●	6,000000	
d11	град	360 град	360,000000	●	360,000000	
d13	мм	d_в	30,000000	●	30,000000	
d14	мм	l_в	60,000000	●	60,000000	
d15	град	0 град	0,000000	●	0,000000	

Пользовательские

Имя параметра	Ед.	Формула	Номин. знач.	Доп.	Значение в модели	Примечание
d_в	мм	30 мм	30,000000	●	30,000000	
ug	град	30 град	30,000000	●	30,000000	
l_в	мм	60 мм	60,000000	●	60,000000	
l_ob	мм	36,3730669589464 мм	36,373067	●	36,373067	
diametr_sr	мм	108 мм	108,000000	●	108,000000	
diametr_ш	мм	24 мм	24,000000	●	24,000000	

I:\Work\Work\_2\Kurs\_SAPR\RG21\Параметры.xls

Имя параметра	Ед.	Формула	Номин. знач.	Доп.	Значение в модели	Примечание
d_в	мм	30 мм	30,000000	●	30,000000	
ug	град	30 град	30,000000	●	30,000000	
l_в	мм	60 мм	60,000000	●	60,000000	
l_ob	мм	36,3730669589464 мм	36,373067	●	36,373067	
diametr_sr	мм	108 мм	108,000000	●	108,000000	
diametr_ш	мм	24 мм	24,000000	●	24,000000	

Рис. Б.9. Параметры модели внутренней обоймы сферического шарнира

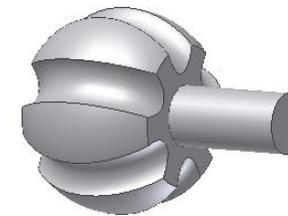


Рис. Б.10. Общий вид модели внутренней обоймы сферического шарнира

### 3.2. Моделирование корпуса сферического шарнира

С файлом модели корпуса (Деталь2.prt) связывается электронная таблица параметров (см. рис. Б.7).

Структура Браузера модели внутренней обоймы и основные эскизы модели представлены на рис. Б.11.

Общая структура параметров модели внутренней обоймы представлена на рис. Б.12.

Общий вид модели внутренней обоймы приведен на рис. Б.13.

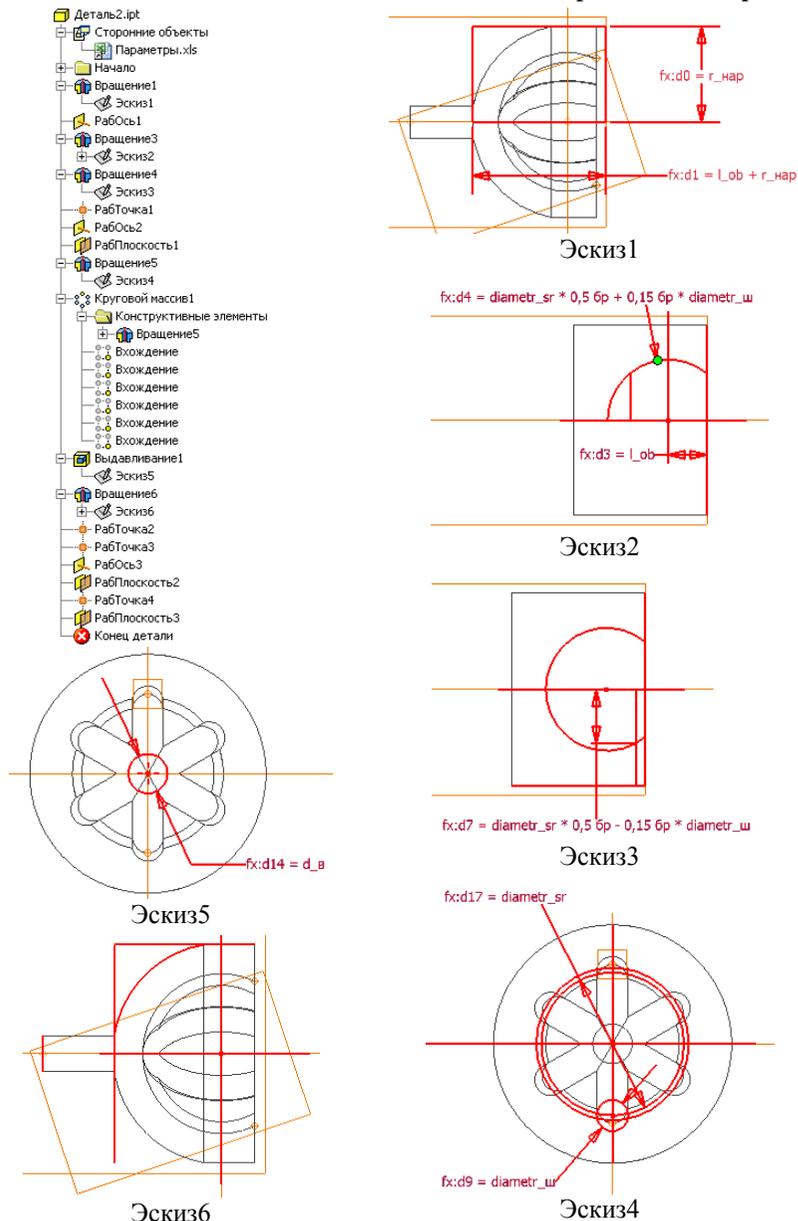


Рис. Б.11. Конструирование модели корпуса сферического шарнира

Имя параметра	Ед.	Формула	Номи. знач.	Доп.	Значение в модели	Примечание
d0	мм	r_нар	90,000000	●	90,000000	
d1	мм	L_ob + r_нар	126,373067	●	126,373067	
d3	мм	L_ob	36,373067	●	36,373067	
d4	мм	diametr_sr * 0,5 бр + 0,15 бр * diametr_ш	57,600000	●	57,600000	
d7	мм	diametr_sr * 0,5 бр - 0,15 бр * diametr_ш	50,400000	●	50,400000	
d9	мм	diametr_ш	24,000000	●	24,000000	
d10	град	180 град	180,000000	●	180,000000	
d11	бр	6 бр	6,000000	●	6,000000	
d12	град	360 град	360,000000	●	360,000000	
d14	мм	d_в	30,000000	●	30,000000	
d15	мм	L_в	60,000000	●	60,000000	
d16	град	0 град	0,000000	●	0,000000	
d17	мм	diametr_sr	108,000000	●	108,000000	

Имя параметра	Ед.	Формула	Номи. знач.	Доп.	Значение в модели	Примечание
r_нар	мм	diametr_sr * 0,5 бр + 1,5 бр * diametr_ш	90,000000	●	90,000000	

Имя параметра	Ед.	Формула	Номи. знач.	Доп.	Значение в модели	Примечание
d_в	мм	30 мм	30,000000	●	30,000000	
ug	град	30 град	30,000000	●	30,000000	
L_в	мм	60 мм	60,000000	●	60,000000	
diametr_ш	мм	24 мм	24,000000	●	24,000000	
diametr_sr	мм	108 мм	108,000000	●	108,000000	
L_ob	мм	36,3730669589464 мм	36,373067	●	36,373067	

Рис. Б.12. Параметры модели корпуса сферического шарнира

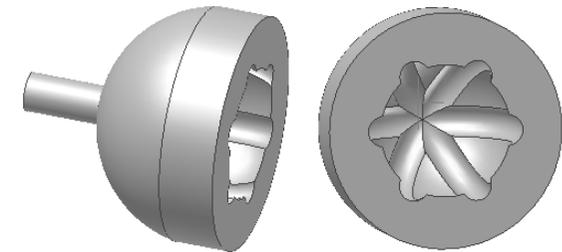


Рис. Б.13. Общий вид модели корпуса сферического шарнира

### 3.3. Моделирование шарика сферического шарнира

С файлом модели шарика (Деталь3.ipt) связывается электронная таблица параметров (см. рис. Б.7).

Структура Браузера модели, эскиз и таблица параметров модели представлены на рис. Б.14.

Плоскость XY модели шарика будет использоваться для его позиционирования в корпусе шарнира (см. рис. Б.4).

Параметры

Имя параметра	Ед.	Формула	Номин. знач.	Доп.	Значение в модели	Примечание
d0	мм	diametr_ш * 0,5 бр	12,000000	●	12,000000	

Пользовательские

Имя параметра	Ед.	Формула	Номин. знач.	Доп.	Значение в модели	Примечание
d_v	мм	30 мм	30,000000	●	30,000000	
ug	град	30 град	30,000000	●	30,000000	
l_v	мм	60 мм	60,000000	●	60,000000	
diametr_ш	мм	24 мм	24,000000	●	24,000000	
diametr_sr	мм	108 мм	108,000000	●	108,000000	
l_ob	мм	36,3730669589464 мм	36,373067	●	36,373067	

1:\Work\Work\_2\Kurs\_SAPR\RGZ1\Параметры.xls

Имя параметра	Ед.	Формула	Номин. знач.	Доп.	Значение в модели	Примечание
d_v	мм	30 мм	30,000000	●	30,000000	
ug	град	30 град	30,000000	●	30,000000	
l_v	мм	60 мм	60,000000	●	60,000000	
diametr_ш	мм	24 мм	24,000000	●	24,000000	
diametr_sr	мм	108 мм	108,000000	●	108,000000	
l_ob	мм	36,3730669589464 мм	36,373067	●	36,373067	

Только параметры, участвующие в формулах

Вид допуска для модели

Добавить Связь

Деталь3:ipr

Сторонние объекты

Параметры.xls

Начало

Плоскость YZ

Плоскость XZ

Плоскость XY

Ось X

Ось Y

Ось Z

Центр

Вращение1

Эскиз1

Концы детали

fx:d0 = diametr\_ш \* 0,5 бр

Рис. Б.14. Таблица параметров и конструирование шарика сферического шарнира

#### 4. Моделирование общей сборки

Файл сборки сферического шарнира (Изделие1.iam) имеет структуру, представленную на рис. Б.15.

Изделие1.iam

Representations

Начало

Плоскость YZ 1

Плоскость XZ 2

Плоскость XY 3

Ось X

Ось Y

Ось Z

Центр

Деталь1:1 4

Деталь2:1 5

Деталь3:2 6

Деталь3:4 7

Деталь3:5 8

Деталь3:6 9

Деталь3:7 10

Деталь3:8 11

РаbПлоскость2 12

Рис. Б.15. Структура модели сборки сферического шарнира

Сборочные зависимости модели по типам и элементам представлены в табл. Б.1.

Таблица Б.1

#### Сборочные зависимости модели сферического шарнира

Тип и наименование зависимости	Связываемые элементы	Параметр
Совмещение:2	Деталь2:1/РаbОсь1 – Изделие1/ОсьX	0
Совмещение:4	Деталь2:1/РаbПлоскость1 – Деталь3:6/ПлоскостьXY	0
Совмещение:6	Деталь2:1/РаbПлоскость1 – Деталь3:4/ПлоскостьXY	0
Совмещение:7	Деталь2:1/РаbПлоскость1 – Деталь3:2/ПлоскостьXY	0
Совмещение:8	Деталь2:1/РаbПлоскость1 – Деталь3:5/ПлоскостьXY	0
Касательность:1	Деталь2:1 – Деталь3:2	
Касательность:2	Деталь2:1 – Деталь3:5	
Касательность:3	Деталь2:1 – Деталь3:6	
Касательность:4	Деталь2:1 – Деталь3:4	
Совмещение:9	Деталь2:1/РаbПлоскость1 – Деталь3:7/ПлоскостьXY	0
Касательность:5	Деталь2:1 – Деталь3:7	
Совмещение:10	Деталь2:1/РаbПлоскость1 – Деталь3:8/ПлоскостьXY	0
Касательность:6	Деталь2:1 – Деталь3:8	
Совмещение:11	Деталь2:1/РаbТочка1 – Деталь1:1/РаbТочка2	0
Угол:1 (165 град)	Деталь2:1/РаbОсь3 – Деталь1:1/РаbОсь1	d50
Совмещение:14	Деталь2:1/РаbОсь3 – Изделие1/РаbПлоскость2	0
Совмещение:15	Деталь2:1 – Изделие1/ПлоскостьYZ	0
Касательность:7	Деталь1:1 – Деталь3:7	
Совмещение:12	Деталь1:1/РаbОсь1 – Изделие1/ПлоскостьXY	0
Совмещение:13	Деталь1:1/РаbОсь1 – Изделие1/ РаbПлоскость2	0

Параметр сборки, не учитываемый в деталях –  $d50$  – угол зависимости Угол:1 (см. табл. Б.1).

#### 5. Исследование модели

Ниже представлены варианты варьирования конструкции по параметру  $ug$  – углу, определяющему положение центра шарнира относительно плоскости стыка сферической и цилиндрической частей внутренней обоймы (рис. Б.17) и  $d_v$  – диаметру хвостовика шарнира (рис. Б.18).

Для каждого из вариантов применяется варьирование сборочной зависимости Угол:1 с учетом анализа контактов между корпусом и внутренней обоймой, что позволяет установить максимальный конструктивный угол передачи шарнира (рис. Б.16).

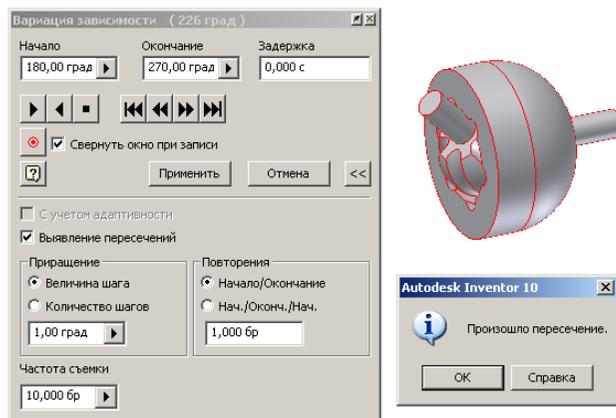


Рис. Б.16. Вариация зависимости Угол:1 (угол между осями корпуса и внутренней обоймы) модели сборки сферического шарнира

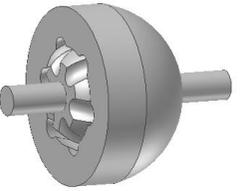
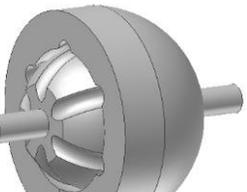
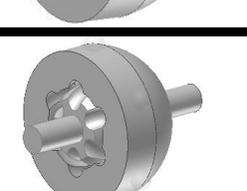
$d_v$	30	мм		Максимальный угол передачи 46°
$u_g$	30	град		
$l_v$	60	мм		
$diametr_{u_i}$	24	мм		
$diametr_{sr}$	108	мм		
$l_{ob}$	36,37	мм		
$d_v$	30	мм		Максимальный угол передачи 56°
$u_g$	20	град		
$l_v$	60	мм		
$diametr_{u_i}$	24	мм		
$diametr_{sr}$	157,88	мм		
$l_{ob}$	62,91	мм		
$d_v$	30	мм		Максимальный угол передачи 42°
$u_g$	35	град		
$l_v$	60	мм		
$diametr_{u_i}$	24	мм		
$diametr_{sr}$	94,14	мм		
$l_{ob}$	28,73	мм		

Рис. Б.17. Вариация конструкции сферического шарнира по параметру  $u_g$

Вариация зависимости Угол:1 ведется в пределах от 180° (соосность деталей) до 270° (прямой угол между осями). Максимальный угол передачи определяется как разница между величиной угла при появлении пересечения и начальным значением. Для данных варьирования по рис. Б.16 максимальный угол передачи составляет  $226^\circ - 180^\circ = 46^\circ$ .

Пределы варьирования по параметру  $u_g$  – [20...35 град].

Пределы варьирования по параметру  $d_v$  – [20...40 мм].

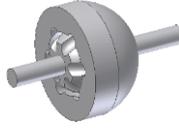
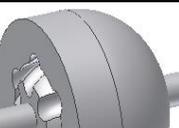
$d_v$	20	мм		Максимальный угол передачи 45°
$u_g$	30	град		
$l_v$	60	мм		
$diametr_{u_i}$	16	мм		
$diametr_{sr}$	72	мм		
$l_{ob}$	24,25	мм		
$d_v$	25	мм		Максимальный угол передачи 45°
$u_g$	30	град		
$l_v$	60	мм		
$diametr_{u_i}$	20	мм		
$diametr_{sr}$	90	мм		
$l_{ob}$	30,31	мм		
$d_v$	40	мм		Максимальный угол передачи 45°
$u_g$	30	град		
$l_v$	60	мм		
$diametr_{u_i}$	32	мм		
$diametr_{sr}$	144	мм		
$l_{ob}$	48,49	мм		

Рис. Б.18. Вариация конструкции сферического шарнира по параметру  $d_v$

6. Выходная документация

На рис. Б.19. и Б.20. приведена выходная чертежная документация.

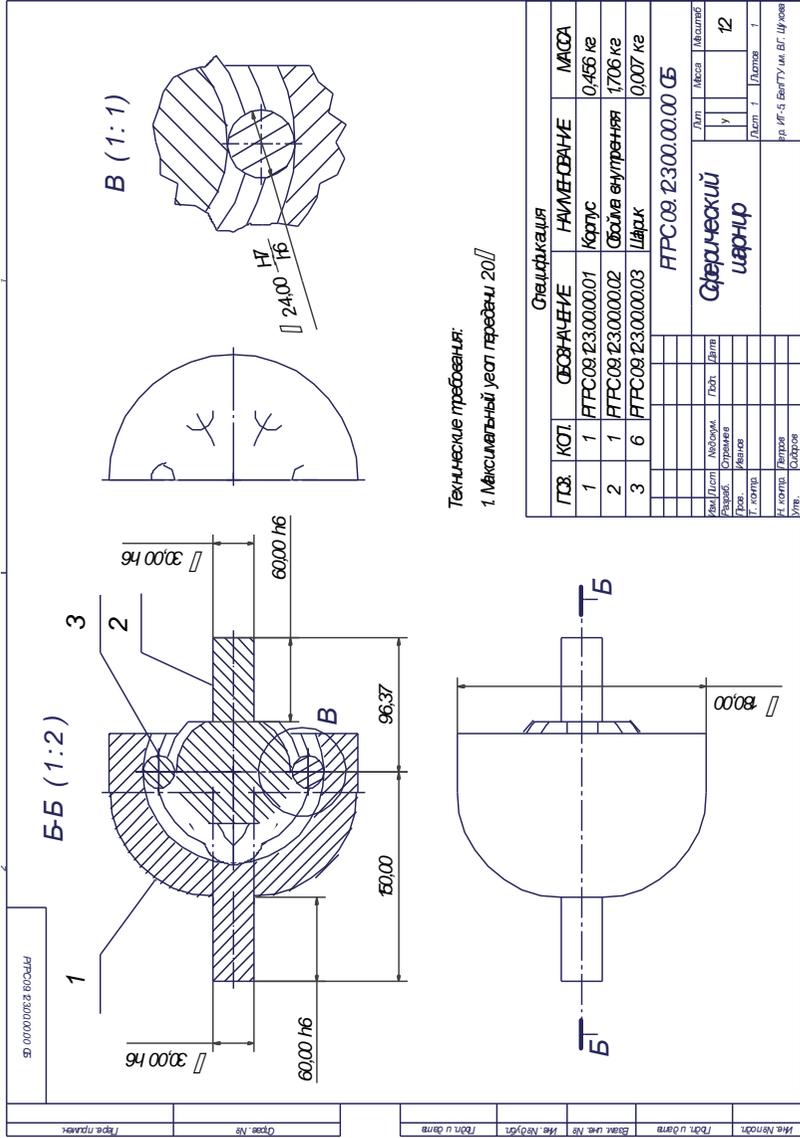


Рис. Б.19. Сборочный чертеж сферического шарнира

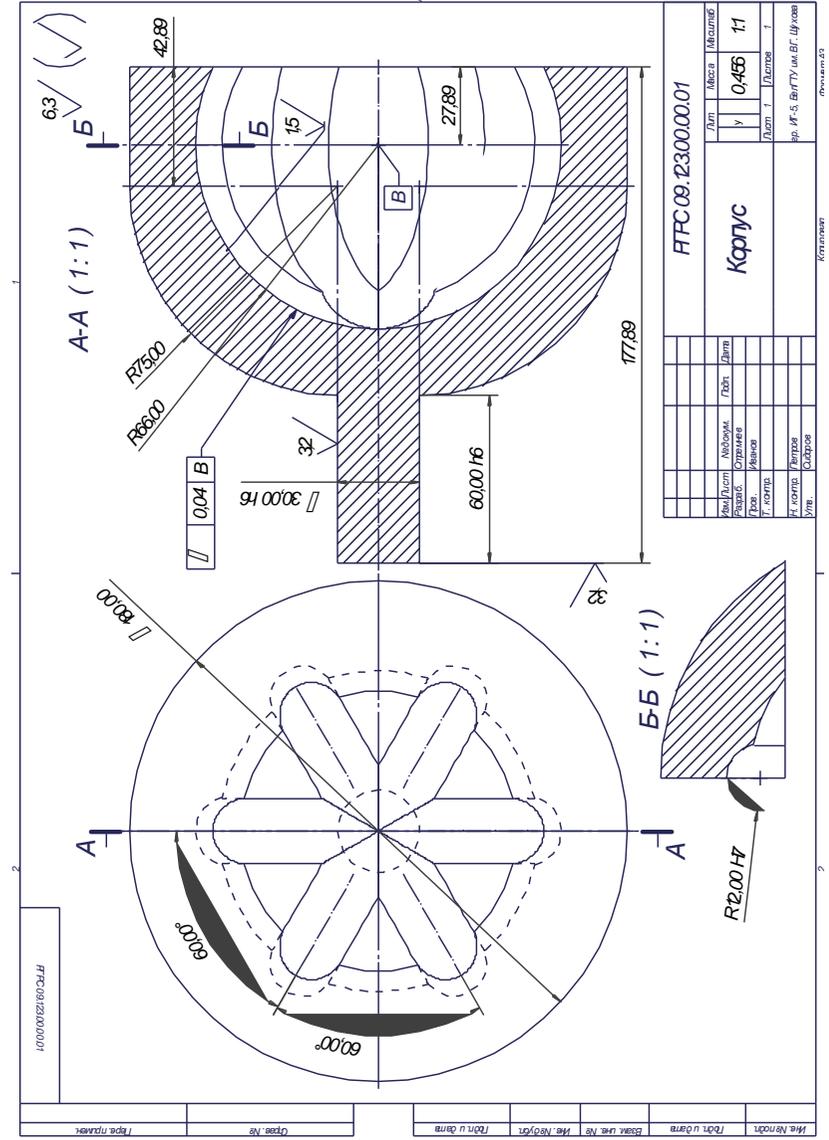


Рис. Б.20. Чертеж детали “Корпус” сферического шарнира

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам
2. Банах Т. Autodesk Inventor Essentials. – М.: Питер, 2006. – 768 с. + CD-ROM
3. Вербовой Л.В. Работа в Autodesk Inventor. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 495 с.
4. Гагарина Л.Г., Кокорева Е.В., Виснадул Б.Д. Технология разработки программного обеспечения: учеб. пособие / Под ред. Л.Г. Гагариной. – М.: ИД “ФОРУМ”: ИНФРА-М, 2008. – 400 с.
5. Концевич В.Г. Твердотельное моделирование машиностроительных изделий в Autodesk Inventor Release 5.3: учеб. пособие по курсу “Геометрическое моделирование”. – Сумы: Сумской государственный университет, 2005. – 321 с.
6. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). – М.: Питер, 2004. – 560 с.
7. Autodesk Inventor 10: Autodesk Official Training Courseware / Autodesk-Press, 2005. – 390 с. + CD-ROM
8. <http://discussion.autodesk.com/forums>