

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

**Разработка интеллектуальной системы  
автоматизации конструирования зубчатых колес  
и проектирования технологических процессов  
их обработки**

**В трех частях**

**Часть 1**

*Методические указания к лабораторному практикуму  
по курсу «Системы автоматизированного проектирования  
в интегрированных компьютеризованных производствах»*

Москва  
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2007

УДК 658.52.011.56(076)

ББК 32.965

P177

Рецензент канд. техн. наук, доц. *А.М. Савинов*

**Разработка интеллектуальной системы автоматизации конструирования зубчатых колес и проектирования технологических процессов их обработки:** Метод. указания к лабораторному практикуму по курсу «Системы автоматизированного проектирования в интегрированных компьютеризованных производствах»: В 3. ч. – Ч. 1 / Г.Б. Евгеньев, А.А. Кокорев, С.С. Крюков, А.Г. Стисес. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 16 с.

В методических указаниях описана первая лабораторная работа цикла из трех лабораторных работ с домашними заданиями, составляющих учебно-лабораторный практикум курса. Лабораторная работа поможет освоению методов и средств разработки графической базы знаний для интеллектуальной системы автоматизации конструирования зубчатых колес.

Для студентов старших курсов МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 658.52.011.56(076)

ББК 32.965

*Учебное издание*

**Евгеньев Георгий Борисович  
Кокорев Александр Александрович  
Крюков Станислав Сергеевич  
Стисес Алексей Григорьевич**

**Разработка интеллектуальной системы  
автоматизации конструирования зубчатых колес  
и проектирования технологических процессов их обработки**

**Часть 1**

Редактор *А.В. Сахарова*

Корректор *Р.В. Царева*

Компьютерная верстка *И.А. Марковой*

Подписано в печать 28.12.2007. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,85. Тираж 100 экз.

Изд. № 133. Заказ №

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007

Настоящий учебно-лабораторный практикум входит в состав курса «Системы автоматизированного проектирования в интегрированных компьютеризованных производствах» и связан с разработкой интеллектуальной системы конструирования деталей типа зубчатых колес и проектирования технологических процессов их изготовления с помощью этой системы.

Практикум позволяет достичь следующих целей:

- приобрести навыки формирования графических баз знаний в виде параметризованных чертежей унифицированных деталей;
- освоить инструментальные средства и приобрести умение формировать базы инженерных знаний и создавать на их основе специализированные интеллектуальные системы проектирования;
- приобрести навыки автоматизированной разработки технологических процессов с помощью интеллектуальной системы проектирования.

Первая лабораторная работа практикума поможет освоению методов и средств разработки графической базы знаний для интеллектуальной системы автоматизации конструирования зубчатых колес.

## **1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА**

Основные параметры зубчатых колес (рис. 1, 2) и валов-шестерен (рис. 3), необходимые для создания геометрической базы знаний, рассчитывают по следующим формулам:

делительный диаметр

$$d = mz / \cos(\beta);$$

диаметр окружности вершин колес внешнего зацепления

$$d_a = d + 2m;$$

диаметр окружности вершин колес внутреннего зацепления

$$d_a = d - 2m;$$

диаметр окружности впадин колес внешнего зацепления

$$d_f = d - 2,5m;$$

диаметр окружности впадин колес внутреннего зацепления

$$d_f = d + 2,5m;$$

диаметр ступицы

$$d_s = 1,5d_0 + 10,$$

где  $d_0$  – диаметр отверстия;

длина ступицы

$$l_s = (0,63...1,5) d_0 \geq b,$$

где  $b$  – ширина зубчатого венца;

толщина обода

$$S = 2,5m + 2;$$

толщина диска

$$C = (0,3...0,4)b;$$

$$C_1 = 0,5b.$$

Размер  $f$  фаски на торцах ступицы и обода колеса определяется следующим образом:

$d_a$ , мм	20...30	30...40	40...50	50...80	80...120	120...150	150...250	250...500
$f$ , мм	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0

Размер  $f$  для зубчатого венца, полученный в ходе расчета, округляют до ближайшего стандартного. На венцах прямозубых колес фаску выполняют под углом  $45^\circ$ , на венцах косозубых и шевронных колес следующим образом: при твердости рабочих поверхностей  $HВ \leq 350$  – под углом  $45^\circ$ , при твердости  $HВ > 350$  – под углом  $15...20^\circ$ .

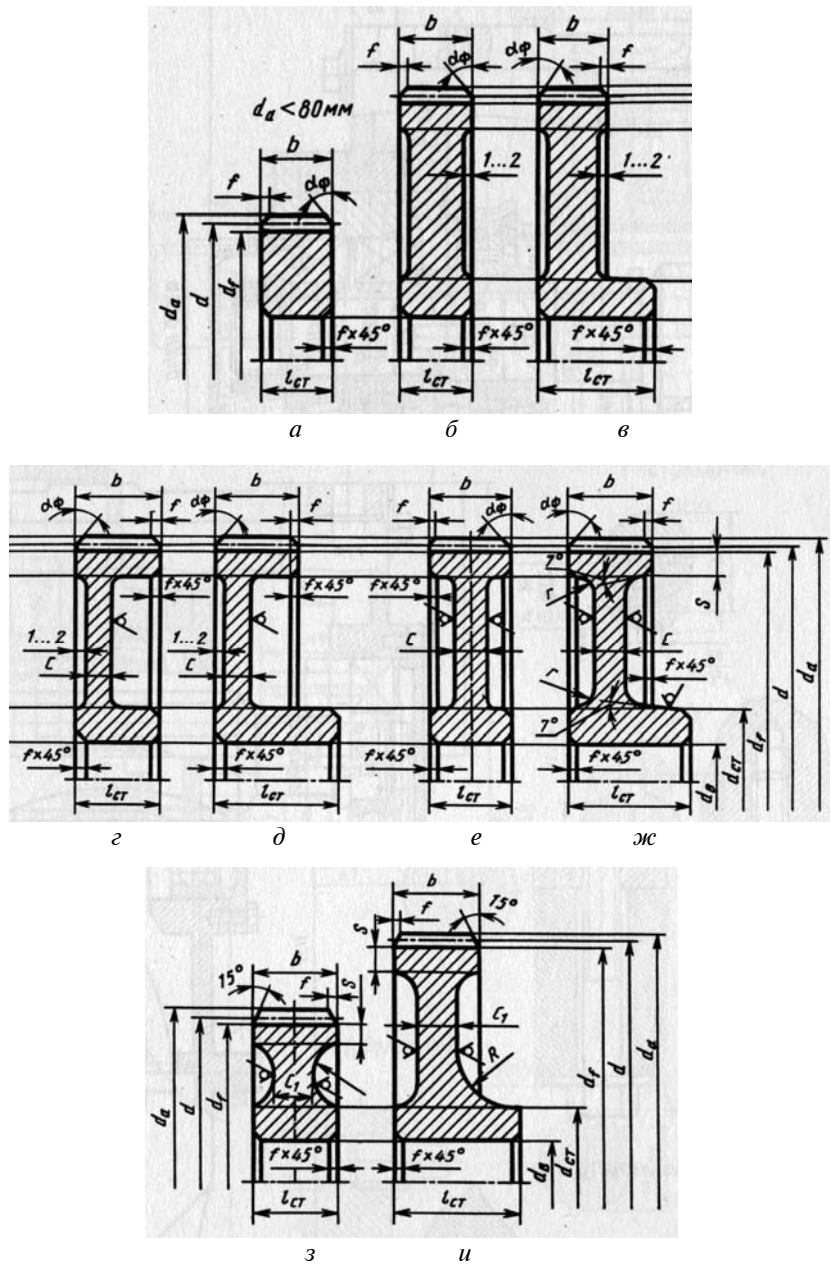
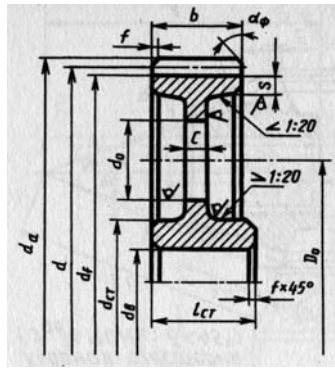
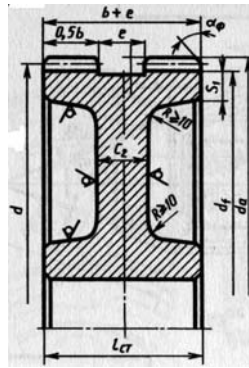


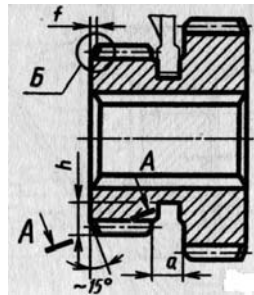
Рис. 1. Зубчатые колеса: а-и – варианты эскизов (начало)



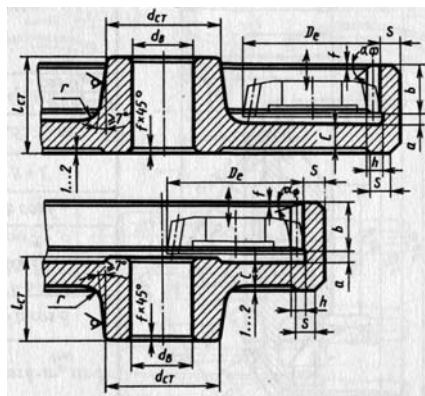
К



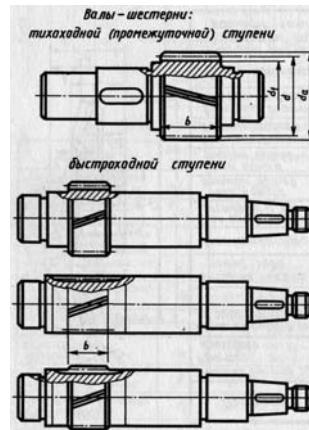
Л



М



Н



О

Рис. 1. Зубчатые колеса: к-о — варианты эскизов (окончание)

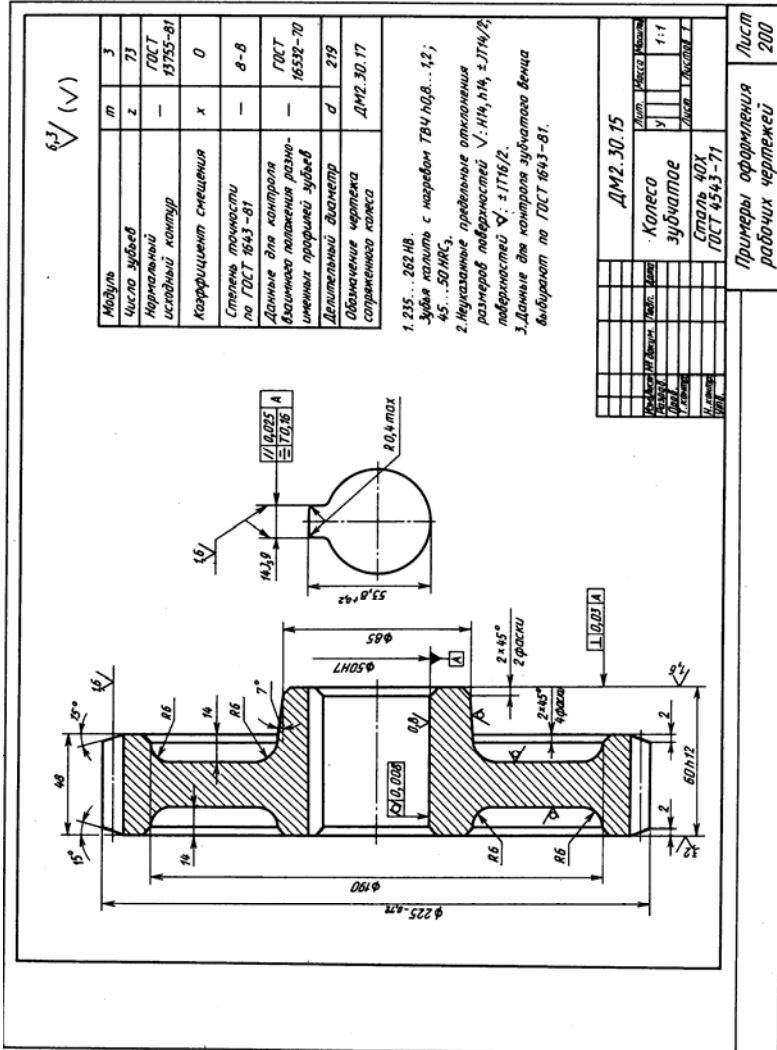


Рис. 2. Пример чертежа зубчатого колеса

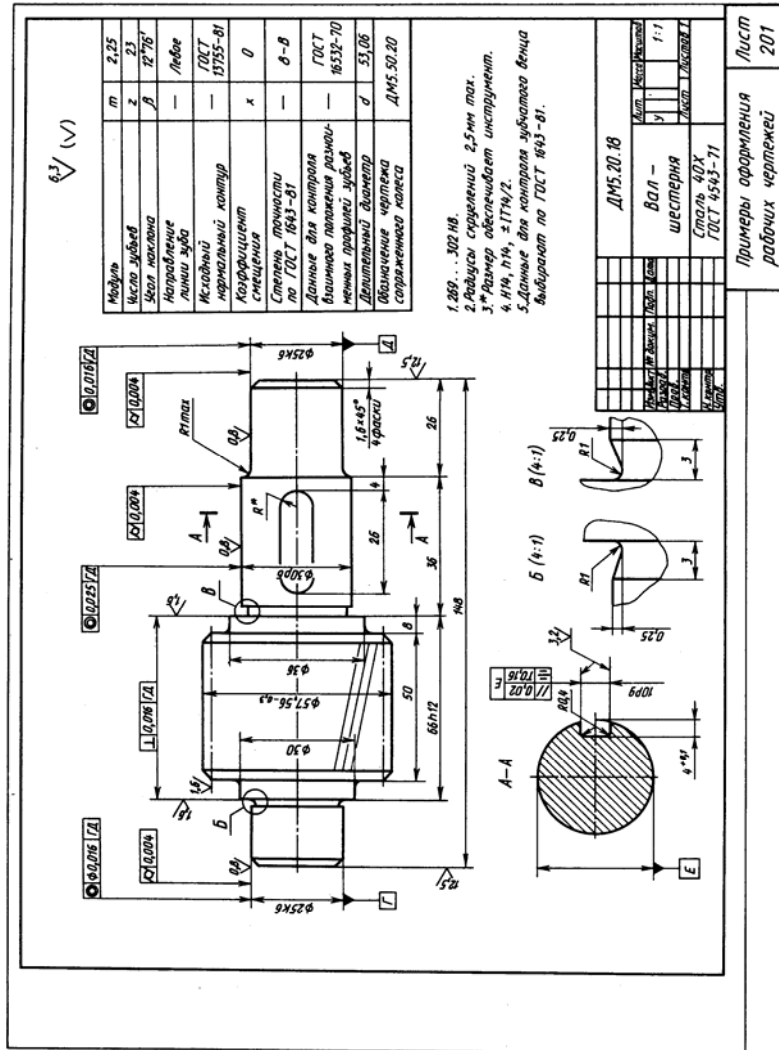


Рис. 3. Пример чертежа вала-шестерни



## 2. ПОСТРОЕНИЕ ПАРАМЕТРИЗОВАННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА В SprutCAD

I. Начало работы. Запускаем SprutCAD. Создаем новую модель: входим в меню **Файл**, выбираем **Создать модель** и вводим имя модели, например *koleso*.


II. Определение параметров модели – геометрических размеров колеса (диаметры и длины). В закладке «Параметры» заполняем столбцы «Параметр», «Значение» и «Наименование». Параметр должен быть задан латиницей и состоять как минимум из двух символов, например, для диаметра создаем параметр **d\_**. Значения задаем произвольно с сохранением геометрических пропорций – меньший размер должен быть меньше большего размера, например диаметр вала должен быть меньше делительного диаметра. В «Наименовании» записываем комментарий пользователя, например: **делительный диаметр, мм**. Для всех вариантов основные параметры колеса (в миллиметрах) следующие:


- диаметр вала;
- делительный диаметр;
- диаметр впадин;
- диаметр вершин;
- ширина зубчатого венца;
- ширина фаски.


В зависимости от конструкции колеса могут добавляться другие параметры.

III. Построение модели в закладке «Геометрия».

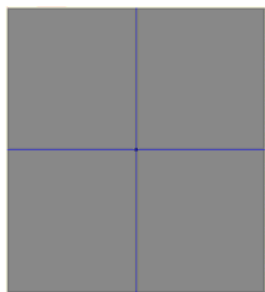
1. Определяем систему координат – строим точку с координатами (0, 0) и проводим через нее две прямые оси X и Y (рис. 4).

Нажимаем на кнопку «Определение точки» . В поле ввода «X» набираем 0 и нажимаем клавишу Enter, в поле «Y» также вводим 0. Мы построили точку (0, 0), она должна появиться в левом нижнем углу.

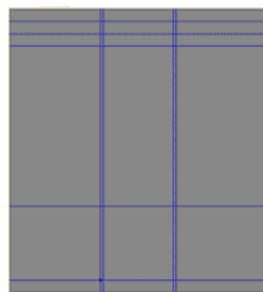
Нажимаем на кнопку «Определение прямой» . Подводим курсор мыши к точке (она должна подсветиться) и фиксируем точку. После этого прямая «привязана» к точке. В поле ввода «А» вводим значение угла – 0°. Мы построили ось X, точно так же необходимо построить ось Y.

**Примечание.** На закладке «Отладчик» автоматически генерируется текст программы на геометрическом языке, причем связь между моделью и программой двусторонняя, т. е., изменяя модель, мы изменяем программу, и наоборот, редактируя программу, мы изменяем модель. Для того чтобы перестроить модель после редактирования программы, необходимо нажать на кнопку «Выполнить программу» .



2. Построим прямую, параллельную данной, на расстоянии, заданном параметром (рис. 5).

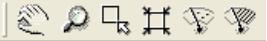


**Рис. 4.** Построение системы координат



**Рис. 5.** Построение параллельных прямых

Нажимаем на кнопку «Определение прямой» . Подводим курсор мыши к оси Y (она должна подсветиться) и выбираем ее. После этого прямая «привязана» к оси. Нажимаем в поле ввода «М», но не вводим значение, а выбираем его из параметров, для чего необходимо нажать на кнопку «Выбор параметра» . Выбираем параметр «ширина зубчатого венца, мм». После этого прямая зафиксирована. Если построение выполнено верно, то подтвердим его: для этого необходимо выбрать построенную прямую. Эта прямая обозначает правую сторону колеса. Теперь необходимо точно так же построить остальные прямые в соответствии с чертежом. Обратите внимание на то, что мы строим только верхнюю половину колеса, для построения нижней половины воспользуемся функцией отображения.

**Примечание.** На панели «Визуализация» расположены кнопки  со следующими значениями:  
сместить изображение;  
показать масштаб изображения;

увеличить фрагмент;  
показать все;  
обновить окно;  
обновить штриховки.

3. Построим фаску согласно чертежу на расстоянии, заданном параметром «ширина фаски, мм», и под углом  $45^\circ$  к оси X (рис. 6).

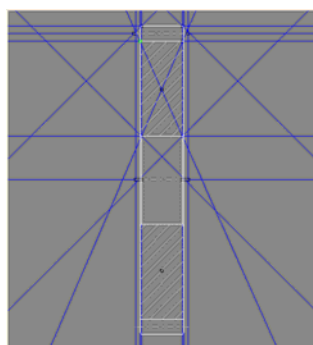


Рис. 6. Построение фаски

Строим прямую на расстоянии, определяемом параметром «ширина фаски, мм». Подводим курсор мыши к точке пересечения построенной прямой и прямой диаметра вала (она должна подсветиться) и выбираем ее. После этого прямая «привязана» к точке пересечения. Теперь задаем, чтобы она проходила под углом  $45^\circ$ . Мы построили правую фаску отверстия под посадку на вал, аналогично необходимо построить левую фаску, а также фаски зуба колеса (см. рис. 1).

4. Заменяем диаметры на радиусы. При построении мы откладывали прямые вверх от оси на расстояния, равные диаметрам, хотя на самом деле расстояние равно радиусу — это связано с тем, что в параметрах мы задавали диаметры, а не радиусы.

Для того чтобы заменить диаметры на радиусы, необходимо перейти на закладку «Отладчик», найти в тексте программы все параметры, соответствующие диаметрам, и поделить диаметры пополам, например из строки  $L16 = L11, M(d\_)$  должно получиться выражение  $L16 = L11, M(d\_ / 2)$ .

5. Строим контуры (рис. 7). Контуры начинаются и оканчиваются в точке; если контур замкнутый, то он начинается и заканчивается в одной и той же точке. После указания начала контура построение идет поэлементно, т. е. по прямым и окружностям (в нашем случае – только по прямым), поэтому *в построении дополнительных точек нет необходимости*.

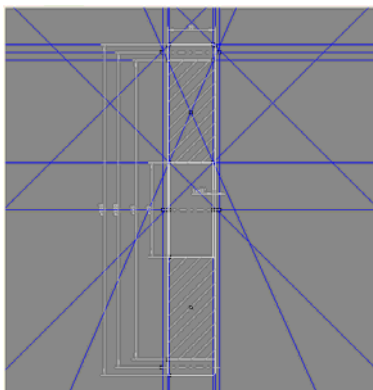




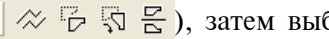









Рис. 7. Построение контуров

Строим контур, область которого заштрихована. Для построения контура необходимо нажать на кнопку «Построение контура» , затем указать начало контура: выбираем точку, через которую мы провели правую фаску отверстия под вал (точка пересечения прямой диаметра вала и прямой на расстоянии ширины фаски от правой стороны). Затем выбираем прямую фаски (прямая под углом  $45^\circ$ ) и на вертикальную прямую правой стороны колеса. Обратите внимание, что выбирать можно любую часть прямой, а не только ту, по которой будет проходить контур, при указании следующего элемента программа сама найдет правильное пересечение. Порядок элементов следующий: прямая – диаметр впадин, левая сторона (ось X), левая фаска (под углом  $-45^\circ$ ), затем диаметр вала. Чтобы замкнуть контур, нажимаем на кнопку «Замкнуть контур» . Если контур не замкнутый, его необходимо довести до конечной точки и нажать кнопку «Конец контура» . Теперь необходимо построить остальные контуры: контур зуба (замкнутый) и два контура для фасок отверстия под вал (не замкнутые).

Симметрично отображаем контуры относительно оси X. Для этого выбираем кнопку «Зеркальный контур»  (панель «Контурные операции» ) , затем выбираем контур и ось симметрии (ось X) и повторяем это действие для каждого из построенных контуров.

Выводим контуры в чертеж, для этого нажимаем на кнопку «Контур/окружность в чертеж»  и поочередно выбираем каждый из контуров. Для того чтобы увидеть чертеж, необходимо отжать кнопку «Видимость геометрии»  (панель «Графика, геометрия» ).

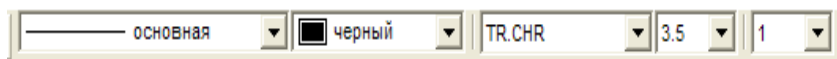
Сравним наш чертеж с чертежом варианта: на нашем чертеже отсутствуют оси, штриховка и размеры. Надо их построить.

**Примечание.** Чтобы отредактировать элементы, расположенные на чертеже (кнопка «Видимость геометрии»  отжата), можно воспользоваться следующими кнопками панели «Черчение»  :  – редактирование графического элемента (редактирование атрибутов элемента – закладка «Инспектор») и  – удаление графического элемента.

6. Построим осевые линии (рис. 8). По стандарту осевые линии наносятся штрихпунктиром и выступают на 3...5 мм за границы детали.

Проводим дополнительные прямые, выступающие на 3 мм за правую и левую стороны колеса.

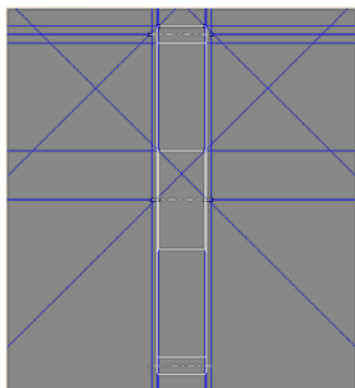
Строим контур, начинающийся с точки пересечения левой прямой и оси X, идущий по оси X и оканчивающийся в точке пересечения правой прямой и осью X.



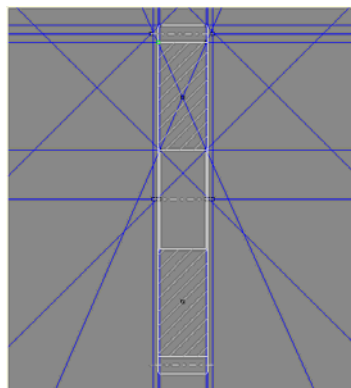
Перед тем как вывести построенный контур в чертеж, выбираем тип линии: «Штрихпунктир» (панель «Установки чертежа»).

Контур попадет в чертеж с выбранным стилем. Мы построили контур оси симметрии, необходимо аналогично построить оси, расположенные на делительном диаметре зуба.

7. Построим штриховку (рис. 9). Для этого необходимо указать точку внутри замкнутой области, состоящей из контуров, при этом все контуры должны быть выведены в чертеж.




**Рис. 8.** Построение осевых линий



**Рис. 9.** Построение штриховки

Строим точку внутри области штриховки. Так как мы имеем дело с моделью, а не просто с чертежом, то точку надо строить с учетом возможного изменения размеров штрихуемой области — для этого построим две диагонали и точку их пересечения.


Чтобы построить штриховку, выбираем кнопку «Штриховка»  (панель «Черчение»), а затем точку пересечения диагоналей. Сейчас штриховка находится в режиме редактирования (закладка «Инспектор»), чтобы подтвердить построение штриховки, необходимо щелкнуть указателем мыши в любом месте чертежа.

Для построения нижней штриховки необходимо симметрично отобразить точку. Для этого выбираем кнопку построения точки, затем выбираем точку пересечения диагоналей и выбираем ось X. Аналогичным образом строим нижнюю штриховку.

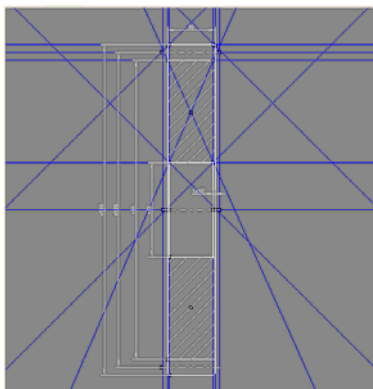
8. Проставим линейные размеры (рис. 10). Необходимо проставить размеры, соответствующие заданным параметрам. Для простановки размера необходимо указать точки, от которой и до которой проводим измерения.

Поставим размер для отверстия под вал.

Строим две точки — одна точка у нас уже есть, вторую получим, симметрично отобразив первую.

Нажимаем на кнопку «Линейный размер»  (панель «Черчение»), нажимаем левой кнопкой мыши на первую точку и, не отпуская кнопки, доводим указатель мыши до второй точки, после этого отпускаем. Сейчас размер находится в режиме ре-

дактирования — можно «потянуть» за красный квадратик и изменить привязку и выноску размера, на закладке «Инспектор» можно также отредактировать все его атрибуты. Теперь проставляем значок диаметра, для этого в «Инспекторе» находим атрибут «Текст1» и с помощью правой кнопки мыши выбираем в контекстном меню «Вставить специальный символ Alt+S». Появится таблица символов, в которой находим значок диаметра, выбираем его. Для того чтобы подтвердить построение размера, необходимо щелкнуть указателем мыши в любом месте чертежа. Далее надо проставить другие размеры в соответствии с чертежом (обратите внимание на простановку фаски: там в атрибуте «Текст2» надо задать параметр « $\times 45^\circ$ »).



**Рис. 10.** Простановка линейных размеров

Теперь, если на закладке «Параметры» мы поменяем значение какого-либо параметра, например ширины зуба, то увидим, что модель перестроилась, однако надпись на размере осталась прежней. Для того чтобы надпись размера менялась в зависимости от значения параметра, необходимо в отладчике найти соответствующую размеру строчку (оператор SizeL) и отредактировать ее, например для параметра  $d_1$ , следующим образом.

Из оператора

**SizeL** P13,P28,M14.856,A180, **Size 100**, Shift 42,Fract 1,0,0

надо получить оператор

**SizeL** P13,P28,M14.856,A180, **Size  $d_1$** , Shift 42,Fract 1,0,0

Таким образом, вместо значения параметра надо подставить его идентификатор.

9. Проверим модель, изменяя параметры. Сохраним модель в формате Sprut.

### **3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 1. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА**

*Содержание работы.* Для заданного варианта домашнего задания с помощью методики, изложенной в гл. 1, провести расчет размеров детали и назначить технические требования для ее изготовления.

Сделать чертеж рассчитанной детали.

*Порядок выполнения работы.*

1. В соответствии с исходными данными варианта задания рассчитать параметры детали.

2. По рассчитанным параметрам сделать чертеж спроектированной детали, руководствуясь примерами оформления (см. рис. 1–3).

3. Оформить отчет о проделанной работе.

### **4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ**

*Содержание работы.* На основе данных, полученных при выполнении домашнего задания № 1, в системе SprutCAD разработать и отладить модель чертежа детали. Генерировать и вывести на дискету PRT-программу формирования чертежа детали.

*Порядок выполнения работы.*

1. Сформировать программу – модель детали и проверить работоспособность ее для рассчитанного в домашнем задании набора переменных.

2. Сгенерировать PRT-программу формирования чертежа детали и вывести ее на дискету для последующего использования при выполнении лабораторной работы № 2.

3. Оформить отчет о проделанной работе, приложив к нему документы, программы и результаты распечатки.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Методика расчета параметров зубчатого колеса.....	3
2. Построение параметризованной геометрической модели зубчатого колеса в SprutCAD .....	9
3. Домашнее задание № 1. Расчет параметров зубчатого колеса .....	16
4. Лабораторная работа № 1. Разработка геометрической базы знаний для генерации чертежа детали.....	16