

**Федеральное агентство по образованию и науки Российской Федерации
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика С.П. КОРОЛЕВА»**

**Объемное моделирование элементов и деталей
шлицевых соединений и зубчатых передач в среде
графического редактора ADEM 3D**

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний*

**Самара
Издательство СГАУ
2007**

УДК 621.88:629.7



Инновационная образовательная программа "Развитие центра компетенции и подготовка специалистов мирового уровня в области аэрокосмических и геоинформационных технологий"

Рецензент Л.А.Чемпинский

Составители: Л.М. Рыжкова, С.С. Комаровская.

Объемное моделирование элементов и деталей шлицевых соединений и зубчатых передач в среде графического редактора ADEM 3D: метод. указания / Сост.: С.С. Комаровская, Л.М. Рыжкова.- Самара: изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 32 с.

Рассмотрены особенности создания объемных моделей деталей типа «зубчатое колесо». Представлены способы формирования базовых элементов формы, а также рекомендации по выбору рационального алгоритма действий.

Методические указания разработаны для студентов, обучающихся по специальности 16.03.01 – Авиационные двигатели и энергетические установки – и выполняющих графические работы по дисциплинам «Инженерная графика» и «Графические редакторы».

Предназначены оказать методическую помощь студентам и разработаны на основе ГОСТов 2.312-72, 2.313-72 «Единой системы конструкторской документации» /ЕСКД/, содержит основные формулы, необходимые для расчетов при вычерчивании зубчатых колес, а также справочные материалы из ГОСТов, необходимые для выполнения индивидуальной графической работы.

Данные методические указания разработаны с учетом инновационных обучающих технологий, используют принципы трехмерного компьютерного моделирования, необходимы для подготовки высококвалифицированных специалистов аэрокосмической отрасли промышленности.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные элементы цилиндрических зубчатых колес и цилиндрической зубчатой передачи (основные понятия и определения).....	4
2. Создание объёмных моделей зубчатых колес.....	6
2.1. Общие правила моделирования зубчатого колеса.....	6
2.2. Рекомендации по выполнению чертежа цилиндрического зубчатого колеса....	6
2.3. Моделирование цилиндрического зубчатого колеса.....	8
2.3.1. БЭФ – зубчатый венец.....	8
2.3.2. БЭФ – вал.....	12
2.3.3. БЭФ – ступенчатое отверстие.....	12
2.3.4. БЭФ – шлицы.....	13
2.3.5. Создание объёмной модели цилиндрического зубчатого колеса.....	13
3. Построение объёмной модели конического зубчатого колеса.....	14
3.1. Параметры конического зубчатого венца.....	14
3.2. Создание объёмной модели вала с коническим зубчатым венцом.....	16
3.2.1. Создание 3D-модели конического зубчатого венца.....	16
3.2.2. Создание 3D-модели резьбовой поверхности (БЭФ - резьба).....	17
3.2.3. Создание 3D-модели фаски.....	18
3.3. Создание объёмной модели зубчатого колеса с торцевыми шлицами.....	19
3.4. Создание 3D-модели – зубчатого колеса с внутренним зацеплением.....	21
3.5. Создание 3D-модели – «шлицевой вал».....	23
3.6. Создание 3D-модели – «отверстие со шпоночным пазом».....	24
4. Подготовка 3D-модели к выводу на формат чертежа и его оформление.....	25
5. Вывод чертежа на печать в Microsoft Word.....	26
6. Примеры чертежей с объёмными моделями.....	26
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	31

1. Основные элементы цилиндрических зубчатых колес и цилиндрической зубчатой передачи

(основные понятия и определения)

Зубчатые передачи предназначены для передачи вращательного движения между валами или преобразования вращательного движения в поступательное. Усилие от одного элемента к другому передается посредством зубьев, последовательно вступающих в контакт друг с другом.

Цилиндрическая зубчатая передача образуется парой двух цилиндрических зубчатых колес, зубья которых находятся в зацеплении.

Зубчатые колеса катятся относительно друг друга без проскальзывания по делительным поверхностям (цилиндрам). Делительная поверхность разбивает зуб зубчатого колеса на головку и ножку, а толщина зуба равна ширине впадины по дуге делительной поверхности.

На рис. 1 изображены дискретные положения зубьев двух цилиндрических зубчатых колес, находящихся в зацеплении, в процессе работы. Стрелкой показано направление вращения ведущего колеса. Начальное положение зубьев выбрано таким образом, что контуры двух зубьев (сплошная толстая линия) соприкасаются в полюсе зацепления точками рабочей поверхности, находящимися на делительных окружностях зубчатых колес. В конечном положении рабочие поверхности (сплошная тонкая линия) выходят из соприкосновения.

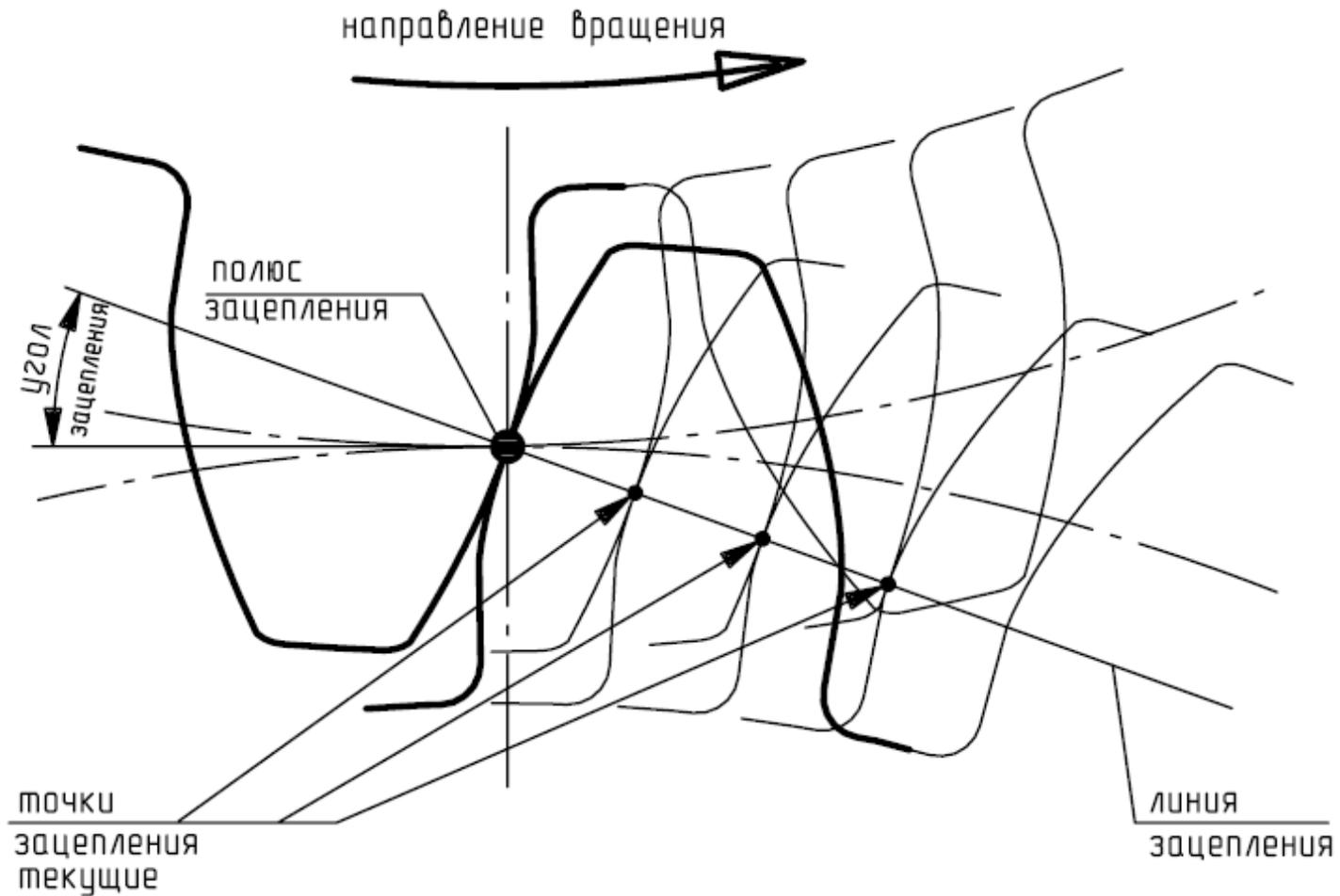


Рис.1

Рассмотрим более подробно основные понятия и определения. На рис. 2 показаны некоторые из основных элементов цилиндрической зубчатой передачи.

Основные элементы цилиндрических зубчатых колес и цилиндрической зубчатой передачи определяют ГОСТ 16531-83 и ГОСТ 16530-83 ([рис.3](#) и [4](#)).

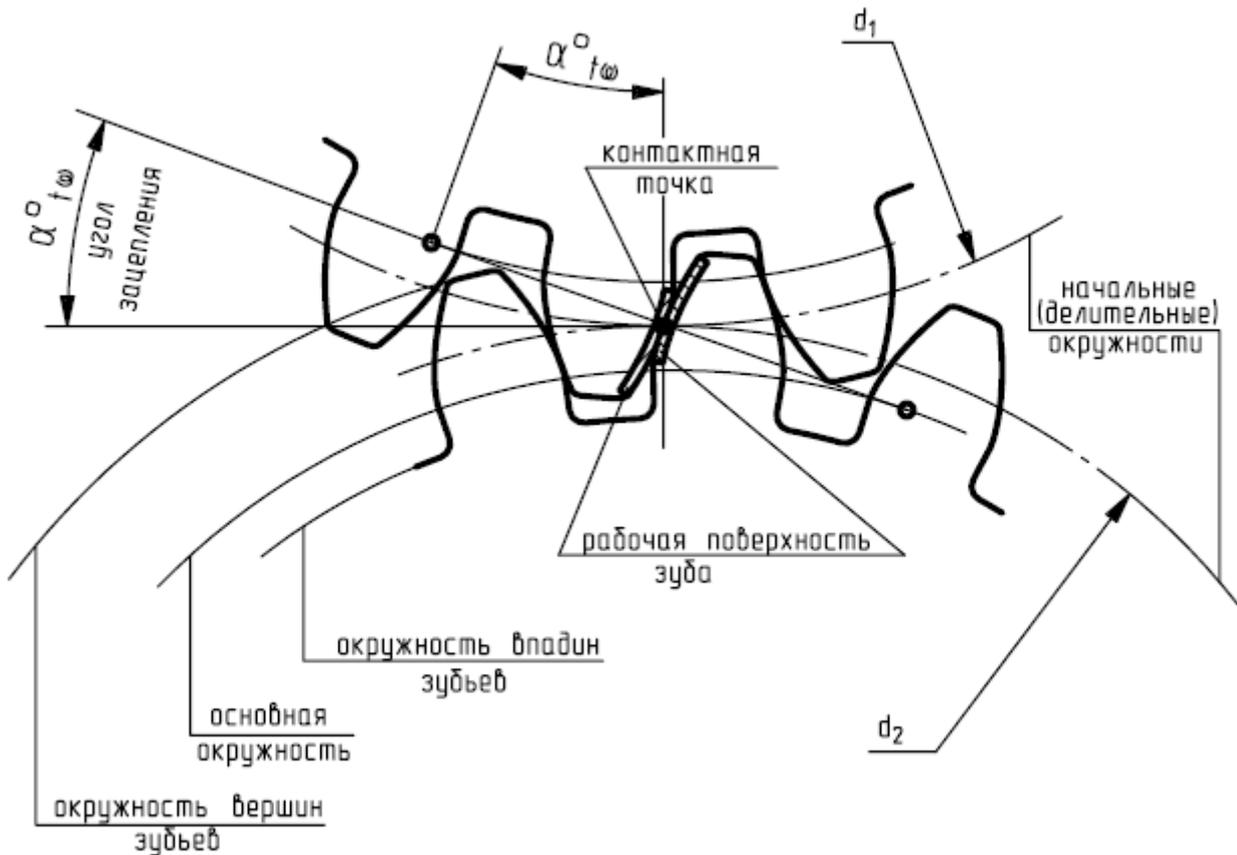


Рис. 2

Диаметр окружности вершин (выступов) зубьев, определяемый диаметром d_a .

Диаметр окружности впадин, определяемый диаметром d_f .

Диаметр делительной (начальной) окружности, определяемый диаметром d .

Диаметр основной окружности, определяемый диаметром d_b .

Межосевое расстояние a цилиндрической зубчатой передачи равно:

полусумме делительных диаметров $(d_1+d_2)/2$ - при внешнем зацеплении;

полуразности делительных диаметров $(d_1-d_2)/2$ при внутреннем зацеплении.

Высота зуба цилиндрического зубчатого колеса h - расстояние между окружностью вершин зубьев и окружностью впадин цилиндрического зубчатого колеса и равна полуразности диаметров этих окружностей.

Высота головки зуба h_a - расстояние между делительной окружностью цилиндрического зубчатого колеса и его окружностью вершин.

Высота ножки зуба h_f - расстояние между делительной окружностью цилиндрического зубчатого колеса и его окружностью впадин.

Межосевая линия - прямая линия, пересекающая оси зубчатых колес передачи под прямым углом.

Угол зацепления α_{ω}^0 - острый угол в главном сечении эвольвентной цилиндрической зубчатой передачи между линией зацепления и прямой, перпендикулярной к межосевой линии.

Линия зацепления - траектория общей точки контакта зубьев при ее движении относительно неподвижной зубчатой передачи, которая при линейном контакте определяется в ее главном сечении.

Контактная точка - одна из точек поверхности (профиля) зуба зубчатого колеса, в которых в данный момент происходит взаимодействие зубчатых колес передачи.

Рабочий профиль зуба - профиль зуба, расположенный на его рабочей стороне.

Профиль боковой поверхности зуба - линия пересечения боковой поверхности зуба и плоскости, перпендикулярной оси зубчатого колеса.

2. Создание объёмных моделей зубчатых колес

Данные методические указания адаптированы для графического редактора ADEM 3.03, но все процедуры, описанные ниже, могут быть применены и для других версий.

2.1. Общие правила моделирования зубчатого колеса

Моделирование зубчатого колеса (3D - модели) необходимо начать с анализа его формы. Внимательно изучите чертеж и найдите контуры, являющиеся характерными очерками простейших геометрических поверхностей. В результате такого анализа деталь мысленно разделяется на простейшие поверхности БЭФ - базовые элементы формы.

Продумайте конфигурацию и способ создания (Лифт, Сечения и т.д.) каждого базового элемента формы. Далее представьте себе последовательность объединения составных частей и вычитание объёмов, имитирующих режущий инструмент, для получения 3D - модели – объёмного элемента (ОЭ).

Перед выполнением булевых операций объединения или вычитания внимательно изучите взаимное расположение элементов. Проверьте правильность размещения на всех плоскостях проекций: XY, XZ, YZ. Объёмный элемент (ОЭ) может состоять из одного базового элемента формы (БЭФ) или из множества БЭФ.

Помните, что в любой булевой операции могут участвовать только один ОЭ и любое количество БЭФ. Нельзя соединить в одно целое два ОЭ или вычесть один ОЭ из другого ОЭ!

2.2. Рекомендации по выполнению чертежа цилиндрического зубчатого колеса

Выполнение чертежа цилиндрического зубчатого колеса невозможно без определения расчетных параметров зубчатого венца (рис.5).

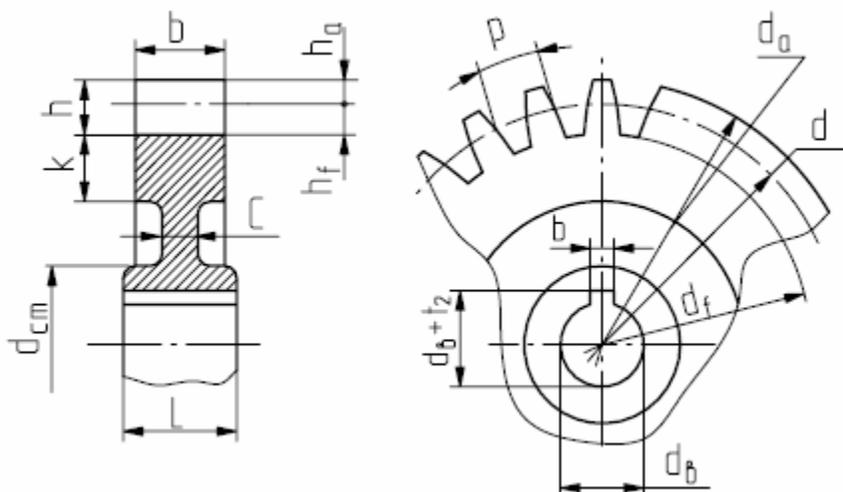


Рис. 5

Для этого необходимо измерить диаметр вершин зубьев - D_a и подсчитать число зубьев - z зубчатого колеса:

$$D_a = m(z+2), \text{ отсюда } m = D_a / (z+2)$$

где $m = P/\pi$ - модуль зубчатого колеса,

P - окружной шаг зубчатого колеса (расстояние, измеренное по диаметру делительной окружности D_d между одноименными точками двух соседних зубьев) (рис.4), $\pi = 3,14$.

Полученное значение модуля уточняется и принимается ближайшее стандартное значение из перечисленных ниже рядов (значение первого ряда предпочтительнее)

1ряд: 1; 1,25; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8

2ряд: 1,125; 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 5,5; 7

Затем пересчитывают значения D_d - диаметра делительной окружности (рис.2), D_a - диаметра выступов зубьев, D_f - диаметр впадин зубьев.

На рис. 6 изображен рабочий чертёж зубчатого колеса, на примере которого рассмотрим создание объёмной модели (3D модели) зубчатого колеса.

2.3. Моделирование цилиндрического зубчатого колеса

Для построения объёмной модели зубчатого колеса (см. [рис.3](#)) сначала необходимо создать БЭФ компоненты:

БЭФ - зубчатый венец

БЭФ – ступенчатое отверстие

БЭФ – вал

БЭФ – шлицевое отверстие

2.3.1. БЭФ – зубчатый венец

Создание БЭФ - зубчатый венец начинается с построения профиля боковой (рабочей) поверхности зуба, которая является частью кривой линии - «эвольвенты». Построение эвольвенты (развертки) окружности по заданному диаметру показано на рис. 7.

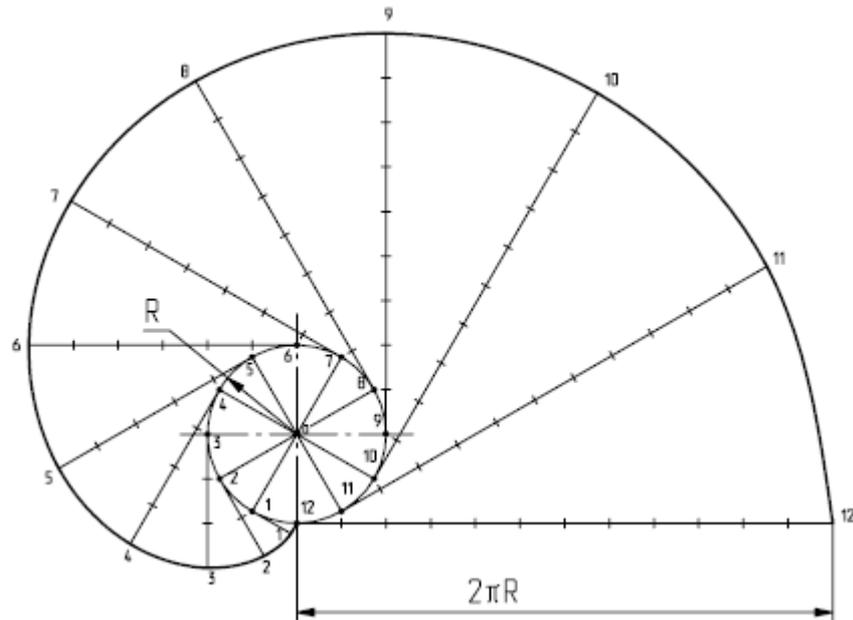


Рис.7

Исходную окружность с центром O необходимо разделить на произвольное число равных частей ($n = 12$). В точках деления 1, 2, ..., 12 провести касательные к окружности, направленные в одну сторону. Касательную, проведенную из последней точки деления, ограничить отрезком, равным длине окружности ($2\pi R$), и разделить этот отрезок на 12 равных частей. Последовательно отмечая на всех касательных точки, соответствующие определенному числу делений длины окружности: на первой – одному делению, на второй – двум и т.д., соединить их плавной кривой линией.

В нашем случае для построения профиля боковой поверхности зуба достаточно определить 5 точек эвольвенты в следующей последовательности:

1. Определить угловой шаг зубьев колеса $\alpha = 360^\circ / z$ (z - число зубьев колеса).
2. Из центра O зубчатого колеса (модуль АДЕМ-2D, слой 2) провести делительную окружность, основную окружность $D_o = D_d \cos 20^\circ$ (где стандартный угол зубчатого колеса равен 20° , а $\cos 20^\circ \approx 0,94$), окружности вершин и впадин зубьев (рис.8) провести вспомогательные прямые, соответствующие: α - угловому шагу зубчатого колеса, $\alpha/2$ и $\alpha/4$.
3. Из точки B_1 (пересечения делительной окружности прямой, проведенной из центра O под углом $\alpha/4$) провести касательную к основной окружности * (рис. 9). Определить точку касания A_1 и установить относительное начало координат «O» в эту точку.

* Термин «основная окружность» рассматривается подробнее в курсе теории машин и механизмов

4. Длину отрезка $|B_1A_1|$ можно вычислить как катет прямоугольного треугольника ΔB_1OA_1 , в котором угол $B_1OA_1 = \beta$, по формуле $\ell = m z \sin \beta / r$, где $r = D_o/2$.

Длину A_1B_1 можно так же определить, если включить строку текущих координат (нажать клавишу S) и переместить курсор из точки A_1 в точку B_1

(см. параметр S=... в строке текущих координат). Значение длины отрезка A_1B_1 нужно записать, т.к. оно потребуется в дальнейшем для построений.

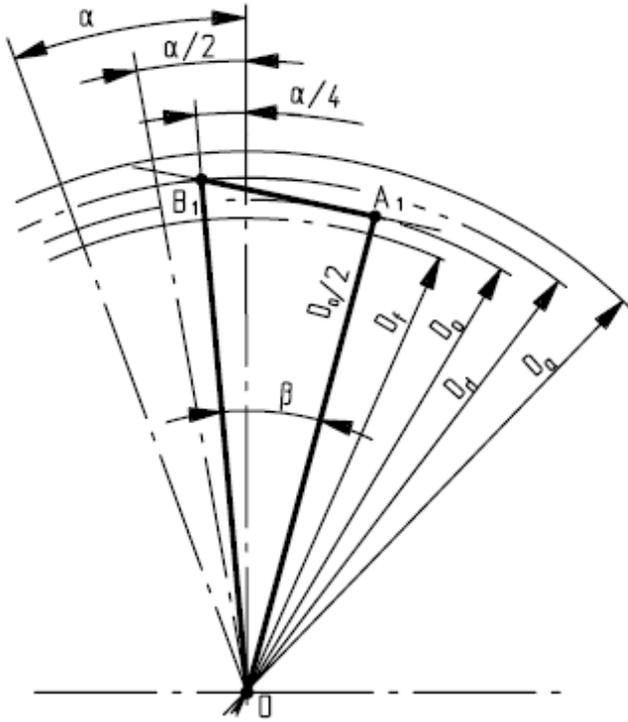


Рис. 9

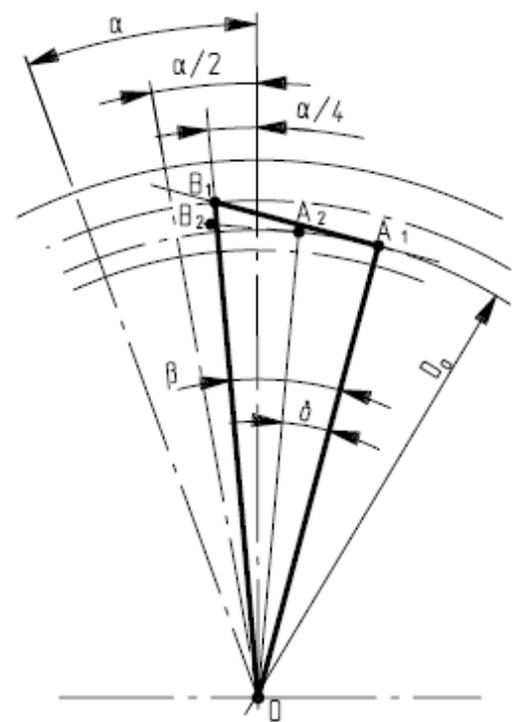


Рис. 10

5. Чтобы построить точку B_2 (рис. 10), надо из центра O провести прямую под углом δ (равным $5 \dots 10^\circ$), которая пересечет основную окружность в точке A_2 . Из A_2 построить прямую, перпендикулярную радиусу OA_2 , переместить относительное начало координат в точку A_2 и отложить на этом перпендикуляре отрезок $l_n = l - \Delta l$,

где Δl определяется по формуле

$$\Delta l = \pi m \delta (z-2,5) / 360^\circ.$$

Δl – длина дуги $A_1 A_2$. Она должна быть сравнима с длиной хорды $A_1 A_2$. Длину отрезка $A_1 A_2$ можно не рассчитывать, а определить по перемещению курсора на дисплее (см. параметр S в строке текущих координат). Отсюда следует, что

$$|A_2B_2| = |A_1B_1| - |A_1 A_2|.$$

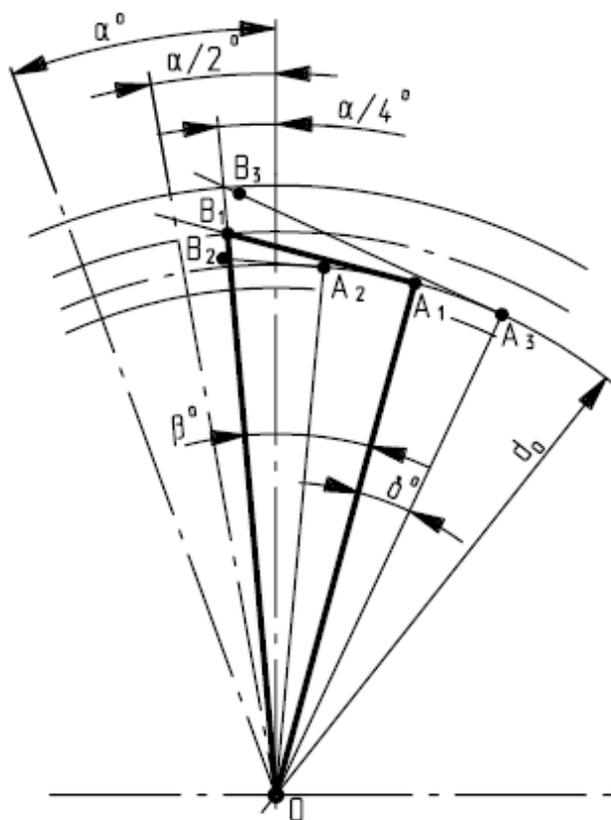


Рис.11

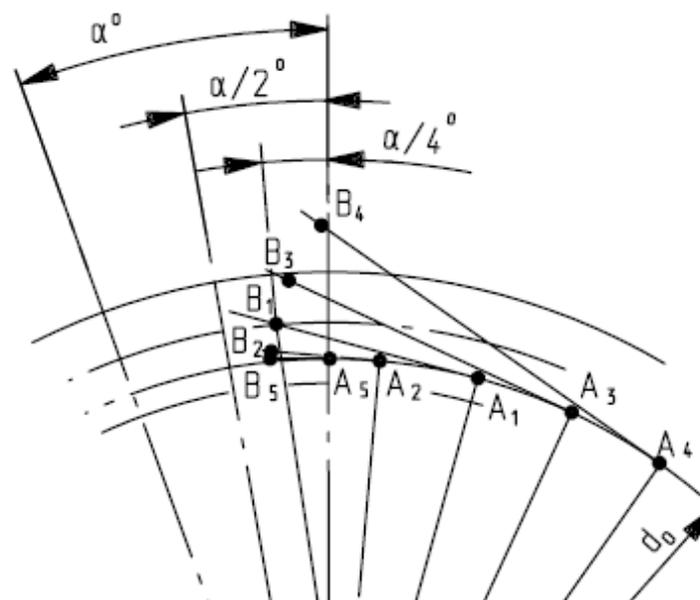


Рис. 12

6. Переместить относительное начало координат «О» в точку A_2 и повторить п.4 для построения любой другой точки, расположенной левее точки A_1 , т.е. ниже дуги делительной окружности (рис. 11).

7. Для построения точек эвольвенты, расположенных выше делительной окружности,

ℓ_n следует вычислять по формуле

$$\ell_n = \ell + \Delta\ell.$$

8. Полученные точки зафиксировать клавишей N, т.е. в точках поставить вспомогательные узлы (рис.12). Соединить между собой полученные точки ([рис.13](#)) плавной линией (сплайн - линией со слабым закреплением).

9. Провести ломаную линию ([рис.14](#)) в следующей последовательности:

$B_{10}, B_9, B_8, B_7, B_5, B_2, B_1, B_3, B_6, B_4$, где точка B_6 определяется как точка пересечения эвольвенты с окружностью вершин зубьев. Перейти в основной – 1-й слой (клавишей Tab↔). Выбрать точки B_{11}, B_{12}, B_{13} , которые располагаются на окружности вершин зубьев. Точка B_{13} является срединной точкой профиля зуба на окружности вершин зубьев. Точки B_7, B_8, B_9 и B_{10} располагаются на окружности впадин зубьев.

Точка B_7 – результат пересечения нормали, проведенной из точки B_5 к окружности d_o , с окружностью d_f . Полученную ломаную линию скруглить:

(XY+0) в точках B_1, B_8, B_{12} и

(XY+R) в точках B_6, B_7 . ($R = 0.2 \dots 0.5$ мм).

Если отрезки B_6-B_{13} и $B_{10}-B_7$ малы, то точки B_9, B_8, B_{11}, B_{12} можно не строить.

Боковые стороны профиля зуба (рабочие поверхности) могут быть очерчены по *эвольвенте*. В процессе зацепления нормаль, проведенная к кривым в точке касания, всегда проходит через полюс зацепления. Геометрическое место точек касания в эвольвентном зацеплении – прямая, составляющая угол 20° с перпендикуляром, восстановленным в полюсе зацепления к линии, соединяющей центры зубчатых колес. Профиль рабочей поверхности зуба реального зубчатого колеса состоит не только из эвольвенты, а конструкция ножки зуба зависит от конкретных условий работы зубчатой передачи. Для повышения прочности и уменьшения износа зубья подвергают *корригированию*: высоту головки зуба колеса меньшего диаметра увеличивают за счет ножки, а колеса большего диаметра – уменьшают, и начальные окружности уже не будут совпадать с делительными (см. [рис.2](#)). У каждого колеса появится своя делительная окружность d , не совпадающая с начальной. У некорригированных зубчатых колес делительная окружность совпадает с начальной. Колеса зубчатых передач, у которых $z_1 = z_2$, не корригируют.

Эвольвента – сложная для построения кривая. Поэтому на этапе знакомства с зубчатым колесом и построением 3D-модели создадим упрощенное изображение боковой поверхности зуба (в модуле ADEM 2D) по точкам 1,3,5,7,9, как показано на [рис.15](#).

Скруглим профиль боковой поверхности зуба в точке B5 функцией (XY+0). В точках 3 и 7 выполним скругления радиусом $R=0.2 \dots 0.5$ мм, для этого в контур 1-3-5-7-9 вводим функцией (+XY) точки 2, 4 и 6, 8 ([рис.16](#)).

После построения боковой поверхности зуба – Gr0 выполняем зеркальное отражение линии 1- 9 относительно оси зуба, проходящей через точку 1, в результате получаем профиль одного зуба ([рис.17](#)).

Теперь выполняем угловое копирование профиля одного зуба относительно центра колеса, заключив его в Gr 2. Число копий равно $(z-1)$, где z -число зубьев ([рис.18](#)), угол копирования равен α . В результате получаем полный профиль зубчатого венца.

Далее необходимо объединить элементы всех зубьев в одну замкнутую линию для построения 3D-модели зубчатого венца. На экране внизу справа функционального меню включить экранную кнопку - &. Выбираем режим «Сборка элемента», при высвечивании контура зубчатого венца дать подтверждение «Y».

После этого можно приступить к выполнению 3D-модели зубчатого венца ([рис.20](#)).

Проверьте положение начала координат «O», включите экранную кнопку «3D БЭФ» и выберите в меню способ «БЭФ Труба», укажите на чертеже «Сечение XY» (контур зубчатого венца), подтвердите свой выбор в ответ на запрос системы. Задайте точку сжатия ([рис.19](#)) в начале координат «O», укажите «Путь XZ» (для заданного зубчатого колеса $XZ=11$ мм).

Полученный БЭФ – зубчатый венец (см. [рис.20](#)) сохраним в БЭФ – файле.

ВНИМАНИЕ: объем оперативной памяти может оказаться недостаточным для выполнения булевых операций (объединения и вычитания БЭФ).

В этом случае из контура боковой поверхности зуба (см. [рис.16](#)) можно исключить (-XY) точки 2, 4, 6, 8, что позволит уменьшить количество узлов.

2.3.2. БЭФ – вал

Приступаем к выполнению следующего компонента БЭФ – вал. В модуле ADEM 2D выполняем подготовительные построения (рис. 21). «Сечение XY» и «Лифт линия» вычерчены согласно размерам на чертеже (см. [рис.6](#)).

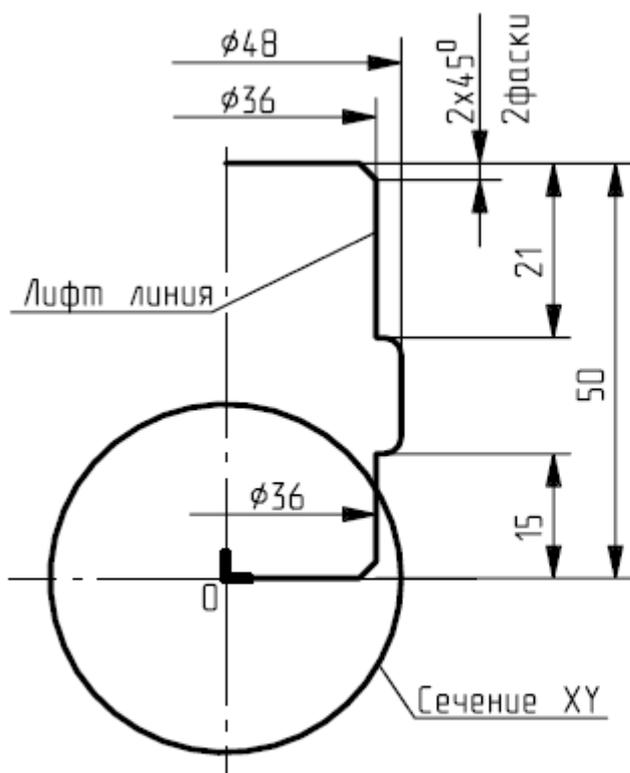


Рис. 21

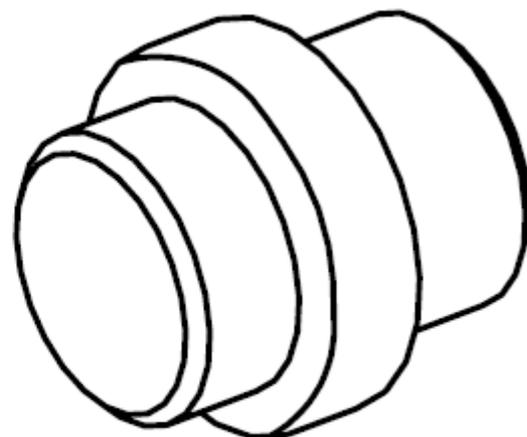


Рис. 22

Проверьте положение начала координат «0», включите экранную кнопку «3D БЭФ» и выберите в меню способ «БЭФ Лифт», укажите на чертеже «Сечение XY»-окружность (подтвердите свой выбор в ответ на запрос системы), укажите «Лифт линия» (сечение вала). Получив БЭФ – вал (рис. 22), сохраним его в БЭФ – файле.

2.3.3. БЭФ – ступенчатое отверстие

БЭФ – ступенчатое отверстие для создания отверстия в БЭФ – вал показано на рис. 23, 24.

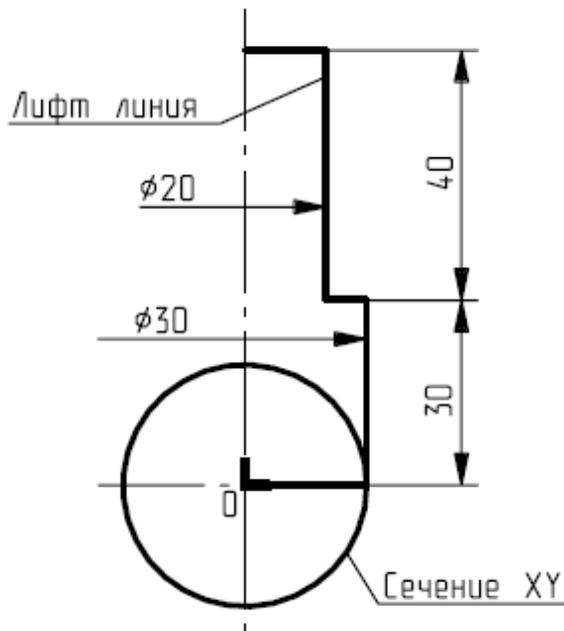


Рис.23

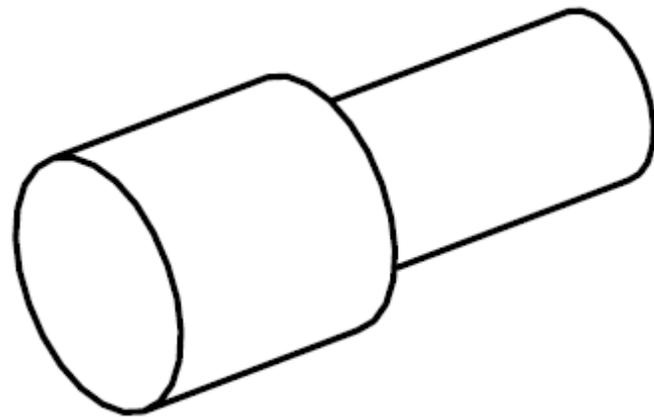


Рис.24

Обратите внимание, что БЭФ – ступенчатое отверстие инструмент по длине имеет большие размеры, чем БЭФ – вал. Полученный БЭФ – ступенчатое отверстие (см. рис.24) сохраним в БЭФ – файле.

2.3.4. БЭФ – шлицы

Приступаем к выполнению следующего компонента БЭФ – шлицы. В модуле ADEM 2D выполняем следующие построения. На виде слева рабочего чертежа зубчатого колеса (см. [рис.6](#)) изображен профиль прямобоочных шлицов. Можно применить этот вид для выполнения БЭФ – шлицы (рис. 25).

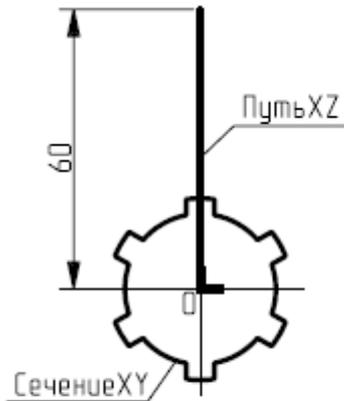


Рис. 25

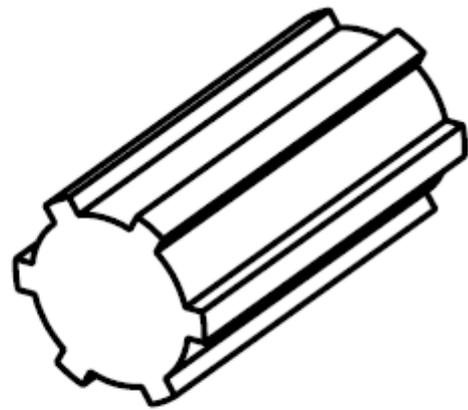


Рис. 26

Теперь можно приступить к выполнению 3D-модели шлицы (см. рис. 25). Проверьте положение начала координат «О», включите экранную кнопку «3D БЭФ» и выберите в меню способ «БЭФ Труба», укажите на чертеже «Сечение XY» - (контур шлицевого отверстия), подтвердите свой выбор в ответ на запрос системы. Задайте точку сжатия в «О», укажите путь XZ=60мм. Длина лифт-линии выбирается больше, чем длина шлицов на чертеже (см. рис. 1) (длина шлицов на чертеже 30мм).

Создав объемную модель БЭФ – шлицы (рис. 26), сохраним его в БЭФ – файле.

2.3.5. Создание объёмной модели цилиндрического зубчатого колеса

Формирование объёмного элемента ОЭ – зубчатого колеса состоит из четырёх БЭФ – компонентов и выполняется в модуле ADEM 3D. Следите за правильным взаимным расположением БЭФ относительно друг друга (согласно чертежу). Для этого в правой части функционального меню модуля ADEM 3D необходимо проконтролировать взаимное расположение БЭФ относительно друг друга на всех трех плоскостях проекций XY, XZ и ZY.

Для чтения модели из БЭФ – файла используется экранная кнопка →. ОЭ получается в результате выполнения булевых операций:

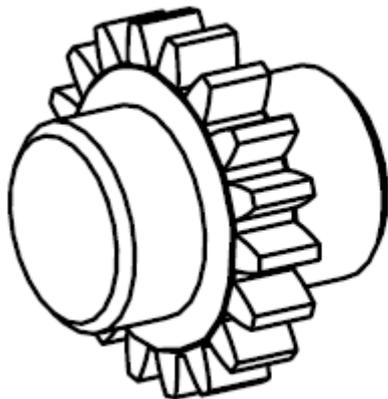


Рис. 27



Рис. 28

1. Операция «Объединение» - соединить БЭФ – зубчатый венец (начальным ОЭ следует выбрать зубчатый венец) и БЭФ – вал. Получаем ОЭ (рис. 27).
2. Операция «Вычитание БЭФ из ОЭ». Результатом операции является ОЭ, полученный удалением сегментов поверхности ОЭ, попадающих внутрь вычитаемого БЭФ – ступенчатого отверстия. В ОЭ получаем сквозное ступенчатое отверстие (рис. 28).
3. Операция «Вычитание БЭФ из ОЭ». Результатом операции является ОЭ, полученный удалением сегментов поверхности ОЭ, попадающих внутрь вычитаемого БЭФ – шлицевого отверстия. Получаем ОЭ – зубчатого колеса (3D-модель) (рис. 29).

На рис. 30 показана ОЭ – зубчатого колеса (3D- модель) с вырезом.



Рис.29



Рис. 30

Сохраним модель зубчатого колеса с расширением `bsf`. Затем необходимо сохранить модель в файле с расширением `cat`, для подготовки изображения объёмной модели зубчатого колеса в модуле ADEM 2D.

3. Построение объёмной модели конического зубчатого колеса

На [рис.31](#) изображен рабочий чертеж вала с коническим зубчатым венцом, на примере которого будет рассмотрено создание объёмной модели.

3.1. Параметры конического зубчатого венца

Выполнение чертежа вала с коническим зубчатым колесом невозможно без определения расчетных параметров зубчатого венца. Конические колеса имеют делительный конус, конусы вершин и впадин зубьев, а также дополнительный конус, на котором располагаются торцевые стороны зубьев.

Размеры зубьев конического колеса (рис.32), а следовательно и модуль - величины переменные. Они уменьшаются к вершине конуса. Поэтому введено понятие - «дополнительный конус», образующие которого перпендикулярны образующим делительного конуса.

За основную (расчетную окружность) принимают делительную окружность d_e , лежащую в воображаемой плоскости общего основания конусов – делительного и дополнительного. По дуге этой окружности измеряют шаг и модуль m_e . Значения модуля выбирают из ГОСТ 9563-60.

Высота зуба h_e , головки h_{ae} и ножки h_{fe} определяется по образующей дополнительного конуса и регламентируется исходным контуром в соответствии с ГОСТ 13754-81: $h_{ae} = m_e$; $h_{fe} = 1,2 m_e$. Отсюда следует, что:

$$\begin{aligned} d_e &= m_e z, \\ d_{ae} &= m_e (z + 2 \cos \delta), \\ d_{fe} &= m_e (z - 2,4 \cos \delta). \end{aligned}$$

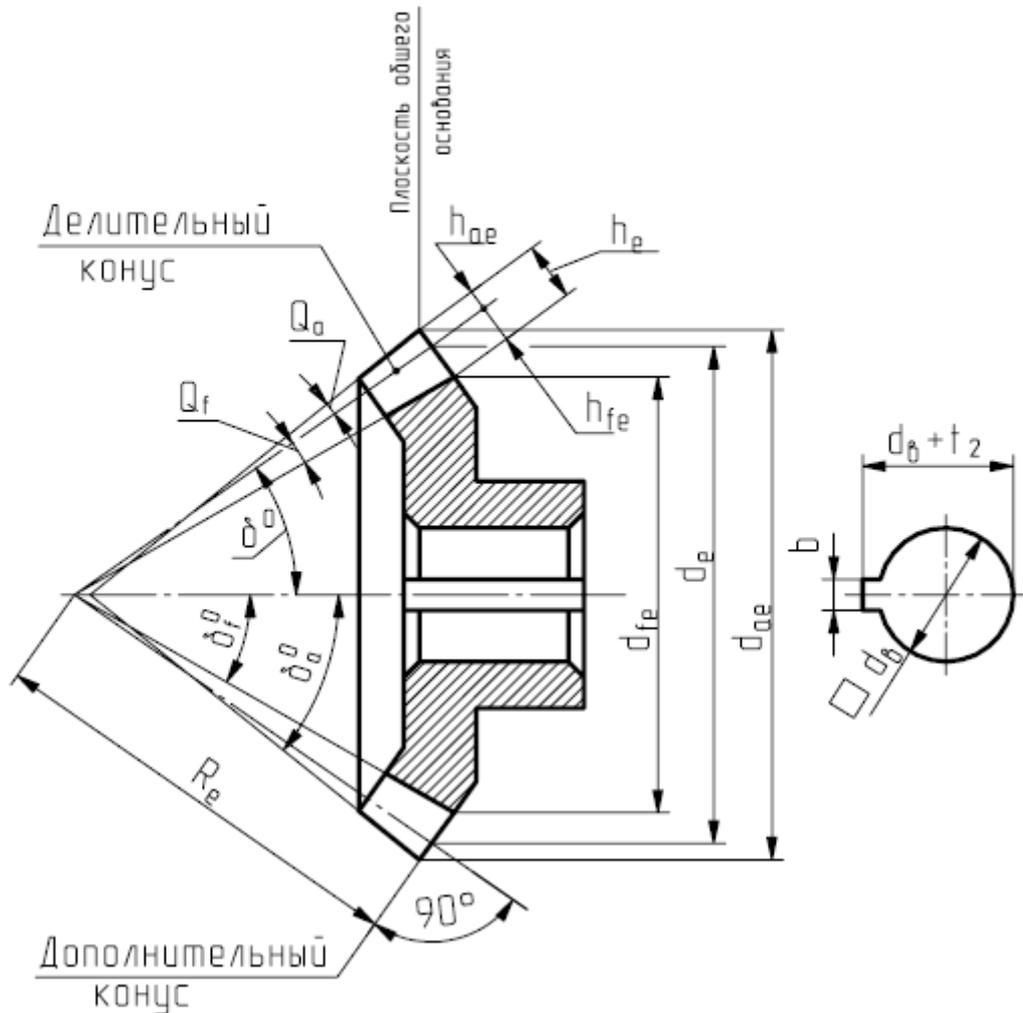


Рис. 32

На чертежах конических зубчатых колес кроме указанных диаметров могут быть проставлены размеры углов:

δ - угол делительного конуса;

δ_a - угол конуса вершин зубьев;

δ_f - угол конуса впадин зубьев.

Эти углы определяются по формулам

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta &= z_1 / z_2, \\ \delta_a &= \delta + \theta_a, \quad \delta_f = \delta - \theta_f, \end{aligned}$$

где z_1 и z_2 – числа зубьев колес данной зубчатой передачи (угол между осями валов 90°), θ_a и θ_f – углы головки и ножки зуба.

Согласно ГОСТ 19325-73 вершина конуса выступов зубьев смещена по отношению к вершине делительного конуса. Это смещение получается в результате того, что угол головки зуба каждого зубчатого колеса передачи равен углу ножки зуба каждого зубчатого колеса, т.е.

$$\theta_a = \theta_f = \theta.$$

Равенство указанных углов обеспечивает постоянство зазора по длине зубьев сопрягаемых колес в конических зубчатых передачах. Величина угла ножки зуба определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \theta = h_{fe} / R_e = 2,4 \sin \delta / z.$$

Длина образующей делительного конуса /внешнее конусное расстояние/ равна

$$R_e = d_e / 2 \sin \delta.$$

Для определения параметров реального зубчатого венца необходимо измерить d_{ae} , высоту зуба по дополнительному конусу h_e , подсчитать число зубьев. Определить модуль зубчатого венца по формуле

$$m_e = h / 2,2.$$

Полученное значение модуля уточняется и принимается ближайшее стандартное значение из перечисленных ниже рядов (значение первого ряда предпочтительнее)

1ряд: 1; 1,25; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8.

2ряд: 1,125; 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 5,5; 7.

Определяем угол δ :

$$\cos \delta = (d_{ae} - d_e) / 2 m_e.$$

3.2. Создание объемной модели вала с коническим зубчатым венцом

Для построения объемной модели вала с коническим зубчатым венцом (см. [рис.27](#)) сначала необходимо создать БЭФ компоненты:

БЭФ - зубчатый венец

БЭФ – резьба

БЭФ – вал

БЭФ – отверстие

БЭФ – шлицевое отверстие

БЭФ – шпоночный паз

БЭФ – фаска

Рассмотрим создание моделей БЭФ - зубчатый венец и БЭФ – резьба. Остальные БЭФ – компоненты создаются аналогично рассмотренным в разделе «Моделирование цилиндрического зубчатого колеса».

3.2.1. Создание 3D- модели конического зубчатого венца

Полный профиль зубчатого венца конического зубчатого колеса создается аналогично цилиндрическому колесу, а 3D-модель – лифт-линией, схема построения которой представлена на рис. 33.

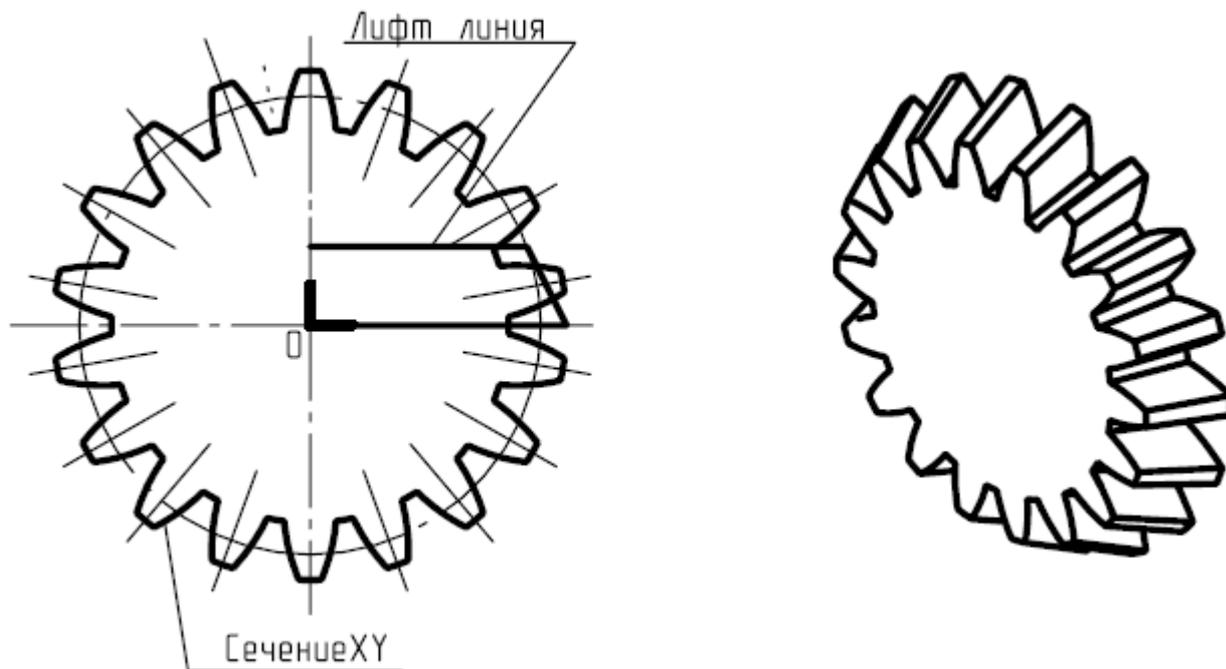


Рис. 33

3.2.2. Создание 3D- модели резьбовой поверхности (БЭФ - резьба)

В модуле ADEM 2D открываем программу User, появляется меню «Создание метрических резьб». Подтвердить - «ОК». Высвечивается меню «Создание 3D-модели метрической резьбы». На запрос «Установить параметры резьбы» для наружной резьбы M16x0,75 (см. [рис.27](#)) устанавливаем:

вид резьбы - наружная;
шаг резьбы - мелкий - 0,75;
диаметр резьбы - 16мм;
длина резьбы - 12мм;
имя файла - Rez16x12.csf.

Длина резьбы соответствует длине вала, на котором нарезана резьба. Обратите внимание на расширение **csf** в имени файла **Rez16x12.csf**. после выбора всех параметров резьбы выберите - «создать». Меню «Создание 3D-модели метрической резьбы» на экране исчезает, резьба на экране в модуле 2D не отображается.

Переходим в модуль 3D и открываем файл с расширением **csf** - «Rez16x12.csf» в следующей последовательности: «Файл» – открыть; «Тип файла» - Файл ADEM3D(*.csf); открыть диск C:\adem303\adm. Затем открываем папку ADM, вызываем на экран Rez16x12.csf. После появления резьбовой поверхности на экране монитора перезаписываем файл с расширением «**bsf**» и сохраняем файл в свою папку D:\WORK\N группы. Имя файла «Rez16x12. bsf».

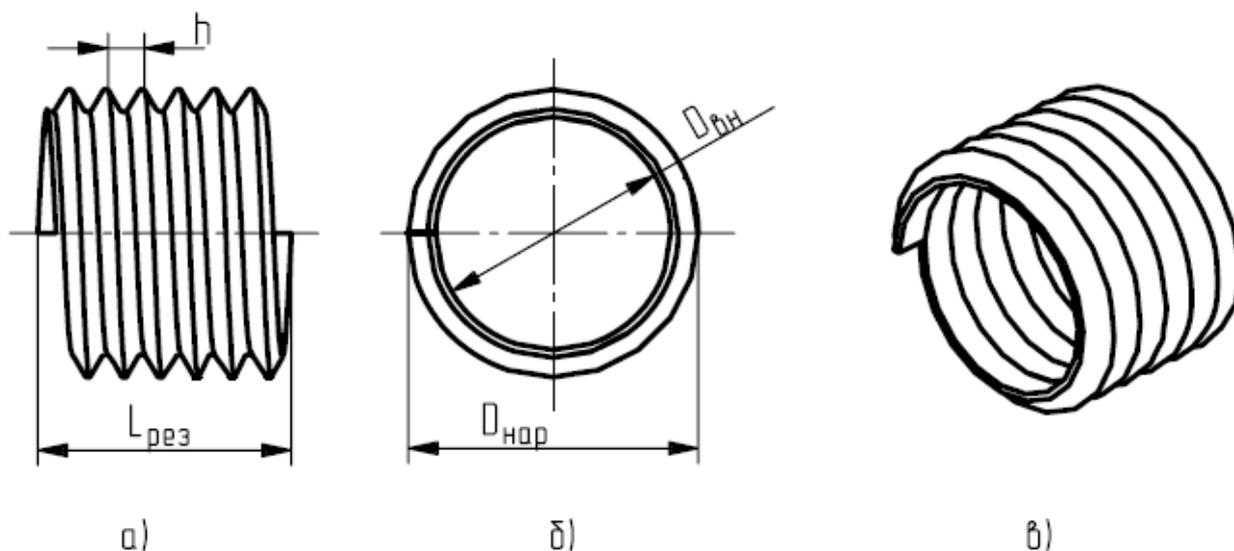


Рис. 34

На рис. 34 показано изображение двух проекций XZ (рис. 34,а) и YZ (рис. 34,б) и аксонометрическое изображение резьбовой поверхности (рис. 34, в) в модуле 3D. Выбираем проекцию YZ, измеряем внутренний диаметр витков $D_{вн}$, клавишей S включаем бегущую строку.

При создании наружной резьбы необходимо определить внутренний радиус витков, так как объединение БЭФ – резьба с БЭФ – валом происходит примерно по внутреннему диаметру резьбы. Поэтому БЭФ – вал создадим после определения внутреннего диаметра витков резьбы.

Для резьбы M16 радиус равен 6,48мм, следовательно внутренний диаметр витков $D_{вн} = 12,96$ мм, поэтому при создании БЭФ - вала диаметр поверхности под наружную резьбу должна быть несколько больше, чем внутренний диаметр витков ($D_{вн} = 12,96$ мм). Диаметр вала под резьбу 13,2мм.

3.2.3. Создание 3D- модели фаски

Любая резьба не может быть изготовлена без фаски, выполненной на торцевой поверхности. Поэтому возникает необходимость создать БЭФ – «фаска - инструмент».

Для внутренней резьбы (или отверстия) можно воспользоваться геометрическим примитивом «конус» из функционального меню ADEM – 3D, задав высоту конуса равной разности радиусов меньшего и большего оснований конуса. Диаметр меньшего основания должен быть меньше внутреннего диаметра резьбы минимум на 1...2 мм, а размер большего основания – больше наружного диаметра резьбы на такую же величину.

Для снятия фаски на наружной резьбе (или любой другой поверхности вращения) нужно создать БЭФ - «фаска - инструмент» по следующей схеме (рис. 35):

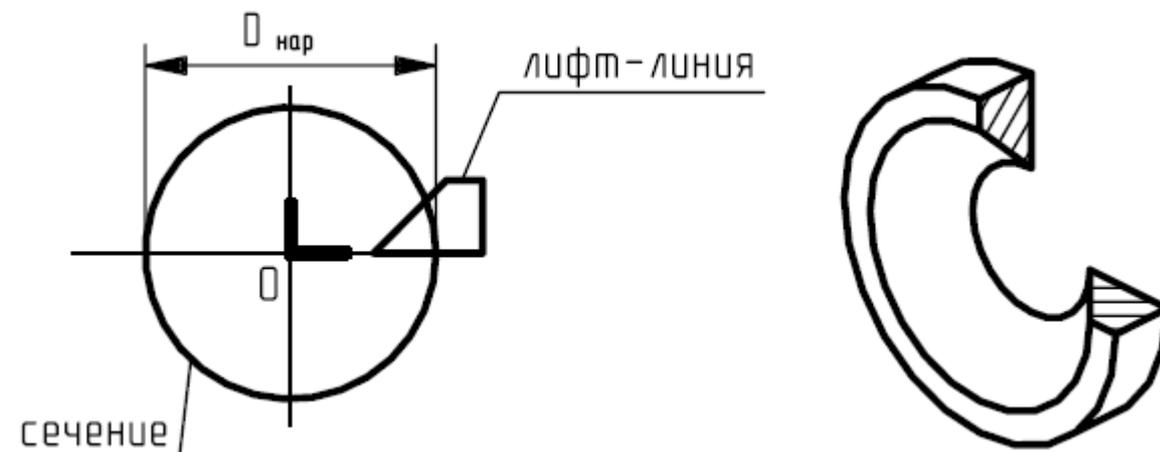


Рис. 35

После выполнения булевых операций получаем объемную модель вала с коническим зубчатым венцом, показанную на рис. 36.

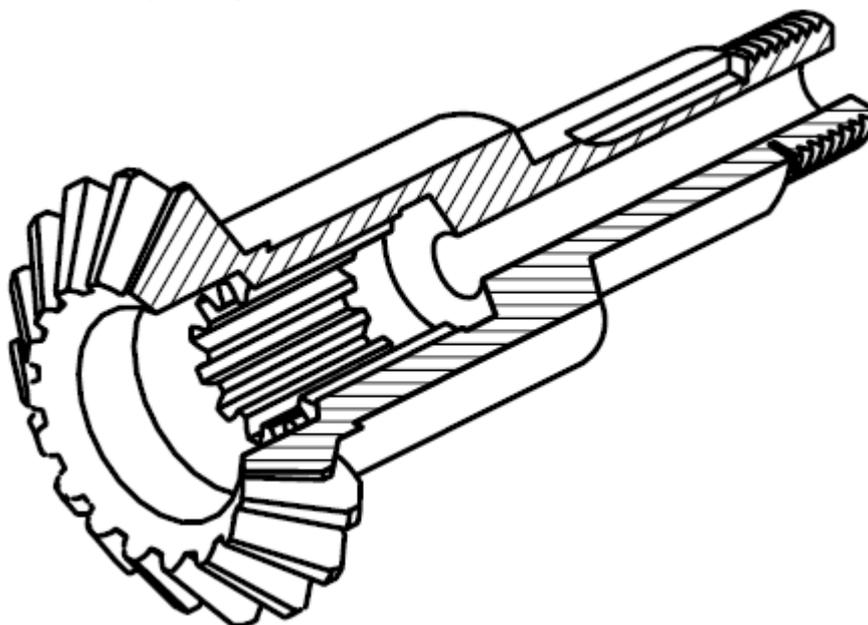


Рис. 36

3.3. Создание объемной модели зубчатого колеса с торцевыми шлицами

Создадим объемную модель зубчатого колеса с торцевыми шлицами, чертеж которого представлен на [рис.37](#).

На чертежах, содержащих нестандартизованные шлицевые соединения с торцевыми шлицами треугольного профиля (с V-образным или «мышинным зубом») (рис. 38), помещают изображение профиля зуба с впадинами со всеми необходимыми сведениями (рис. 39).

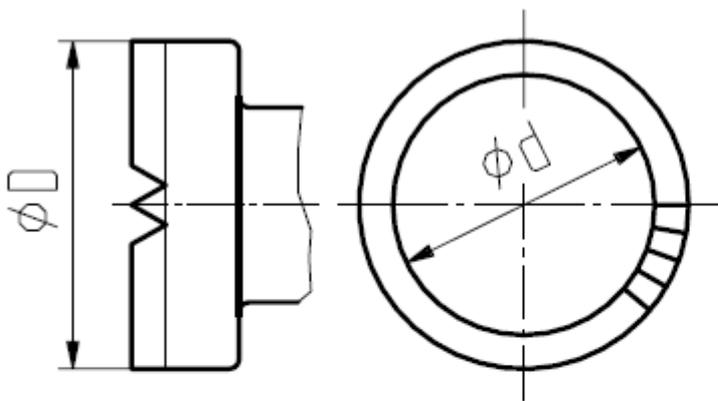


Рис. 38

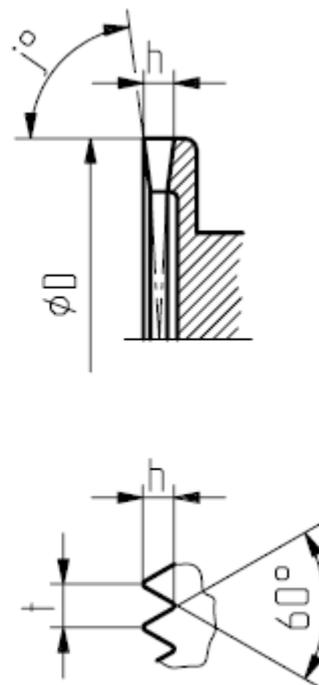


Рис.39

Сначала необходимо создать БЭФ компоненты:

БЭФ - зубчатый венец

БЭФ – вал

БЭФ – отверстие

БЭФ – шлицы - инструмент

БЭФ – кольцо

Рассмотрим создание моделей шлиц - инструмент и БЭФ – кольцо.

Остальные БЭФ – компоненты создаются аналогично рассмотренным в разделе «Моделирование цилиндрического зубчатого колеса».

Создание *ОЭ – торцевые шлицы* начинается с образования профиля боковой (рабочей) поверхности зуба торцевых (V-образных «мышинных») шлиц треугольного профиля.

Для этого создадим *БЭФ - шлицы - инструмент*, представляющий собой трехгранную призму, основанием которой является равносторонний треугольник с высотой h.

В функциональном меню модуля ADEM 2D выбираем второй лист меню M2,



геометрический примитив

задаем число сторон 3 и вычерчиваем правильный треугольник с высотой h, равной высоте профиля шлиц (рис. 40). Затем скругляем один из углов кнопкой XY+R (см рис.40), задав необходимую величину радиуса R (например 1мм). Копируем полученный плоский контур на том же месте, уменьшаем его в масштабе 1:0,01 и приступаем к созданию объемной модели инструмента *БЭФ - шлицы – инструмент*.

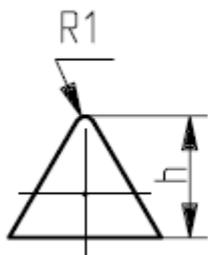


Рис. 40

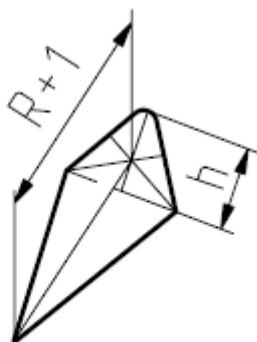


Рис. 41

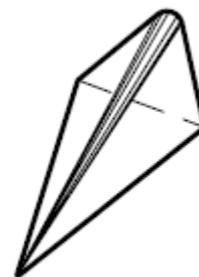


Рис. 42

Включив экранную кнопку 3D БЭФ, выбираем команду БЭФ Сечение. На экране в качестве сечения №1 указываем сечение, выполненное в масштабе 1:1, задаем значение $Z=0$. В качестве сечения №3 выбираем сечение, выполненное в масштабе 1:0,01, и задаем значение $Z = R+1$ мм, где R – радиус наружной поверхности вала (рис. 41). Записываем полученный инструмент *шлиц - инструмент* с расширением bsf (рис. 42).

Формирование объемного элемента ОЭ-торцевые шлицы выполняется в модуле ADEM 3D и начинается с образования объемного элемента ОЭ – вала, на торцевой поверхности которого находятся шлицы. Для этого:

1. Из функционального меню модуля ADEM 3D выбираем заранее сформированную модель БЭФ – вал с расширением bsf (либо геометрический примитив – цилиндр) и располагаем на экране.
2. Включаем экранную кнопку $>$ и выбираем БЭФ – *шлиц - инструмент* для формирования одной впадины между шлицами. Проверьте положение данного БЭФ. Обратите внимание, что БЭФ - *шлиц - инструмент* по высоте имеет большие размеры, чем радиус цилиндра R .
3. Теперь выполняем угловое копирование БЭФ - *шлиц -инструмент* одной впадины между шлицами относительно центра основания цилиндра. Число копий равно $(z-1)$, где z – количество шлиц. Угол копирования равен $360/z$. Центр копирования - центр основания цилиндра.
4. Операция «Вычитание БЭФ из ОЭ». Результатом операции является ОЭ, полученный удалением сегментов поверхности ОЭ, попадающих внутрь вычитаемых последовательно БЭФ – *шлиц - инструмент*. В ОЭ получаем поверхность с торцевыми шлицами треугольного профиля (рис. 42).
5. Операция «Вычитание БЭФ из ОЭ». Результатом операции является ОЭ, полученный удалением цилиндра для формирования отверстия (рис. 43)

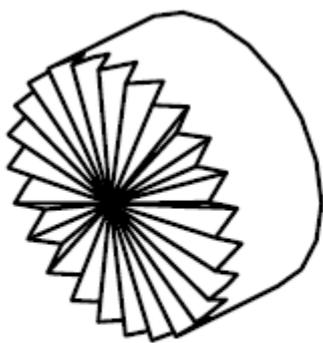


Рис. 42

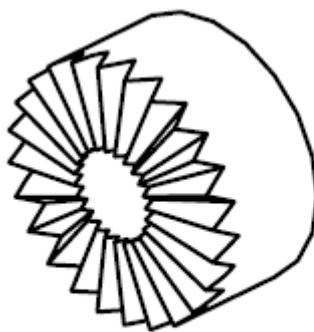


Рис.43

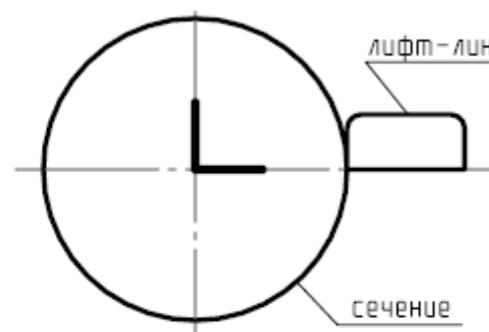


Рис. 44

Формирование *БЭФ – кольцо* необходимо для образования облегчающих кольцевых проточек и формирования диска зубчатого колеса. На рис. 44 показана схема образования *инструмента – кольцевая проточка*, объемная модель которой изображена на рис. 45 и объемное изображение зубчатого колеса с *инструментом – кольцевая проточка* (рис. 46).

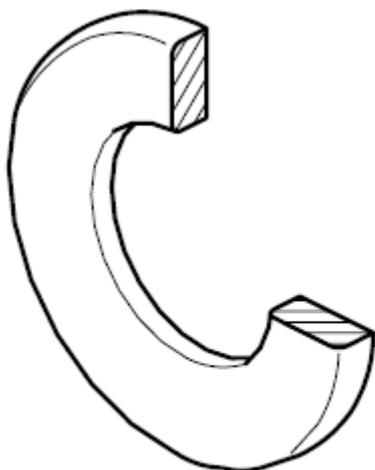


Рис. 45

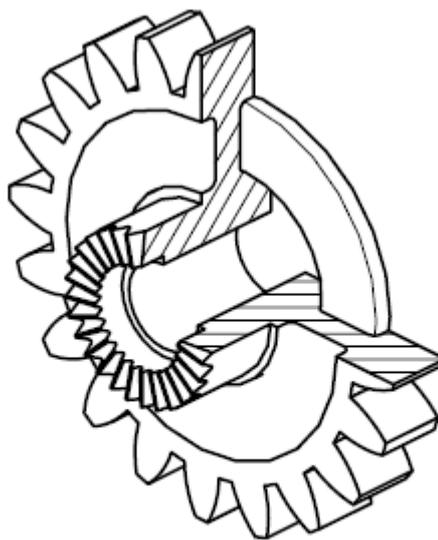


Рис. 46

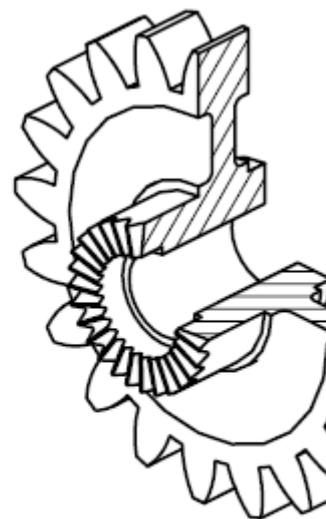


Рис. 47

На рис. 47 представлена объемная модель зубчатого колеса с торцевыми V-образными шлицами, чертеж которой изображен на [рис.37](#).

3.4. Создание 3D-модели – зубчатого колеса с внутренним зацеплением

На [рис.48](#) показан чертеж зубчатого колеса с внутренним зацеплением, модель которого создадим, разбив на составляющие компоненты.

Для этого сформируем

БЭФ – отверстие, БЭФ - заготовка
БЭФ - колесо – инструмент

Существуют цилиндрические зубчатые передачи с внутренним зацеплением, у одного из колес которой зубья расположены на внутренней стороне обода. В такой передаче выпуклый зуб колеса с наружными зубьями сцепляется с вогнутым зубом колеса с внутренними зубьями и оба вращаются в одну сторону. Эта передача компактна, имеет высокий коэффициент полезного действия и работает очень плавно.

Создание 3D-модели зубчатого колеса с внутренним зацеплением следует начать с образования *БЭФ – заготовка* и *БЭФ – колесо - инструмент*, которые изображены соответственно на рис. 49 и 50. *БЭФ – заготовку* выполним при помощи операции БЭФ Лифт, а *БЭФ – колесо - инструмент* - БЭФ - Сечение (описание дано ранее в разделе «Моделирование цилиндрического зубчатого колеса»).

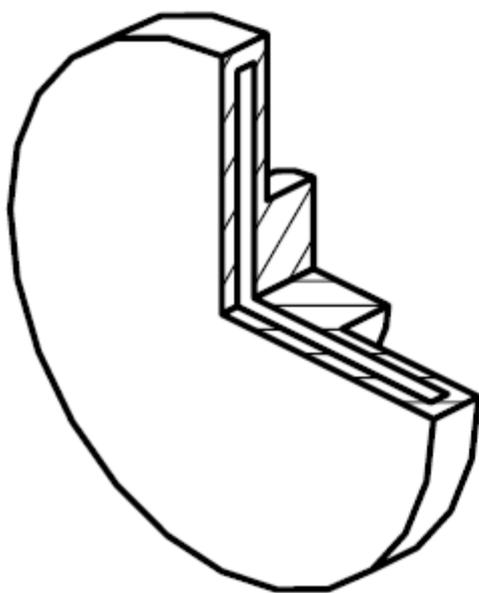


Рис. 49

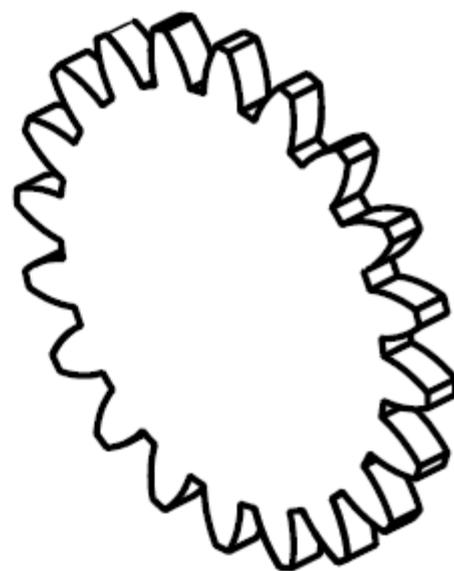


Рис. 50

После выполнения булевых операций вычитания *БЭФ – колесо - инструмент* из *БЭФ – «заготовка»* образуется ОЭ, из которого надо вычесть отверстие $\varnothing 24$. В результате получим объемную модель зубчатого колеса с внутренним зацеплением, представленную на рис. 51, которую и расположим на свободном поле чертежа детали.

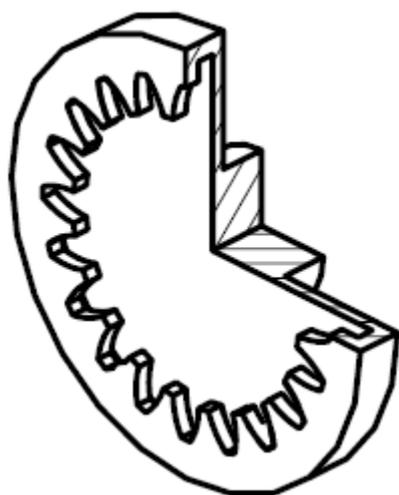


Рис. 51

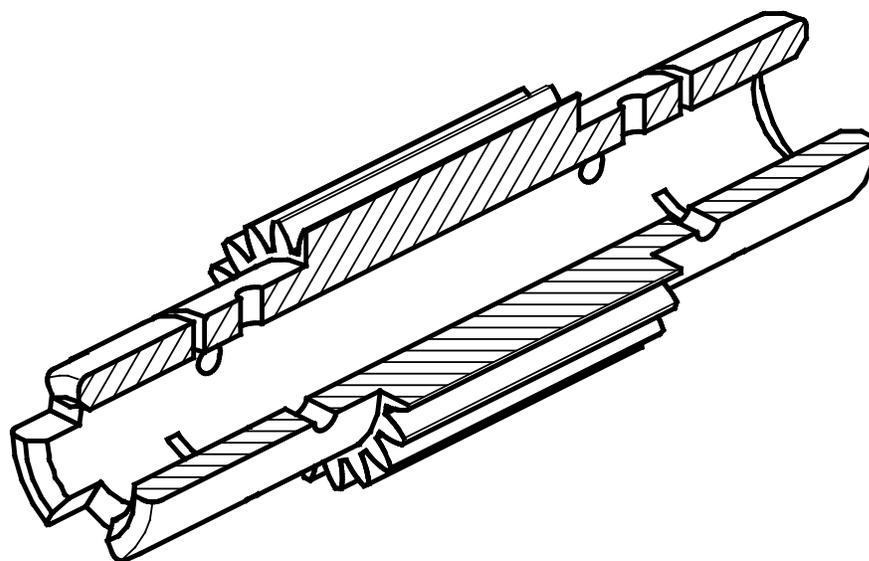


Рис. 56

3.6. Создание 3D-модели – «отверстие со шпоночным пазом»

Отверстия со шпоночными пазами очень часто применяются при проектировании и изготовлении зубчатых колес. Поэтому рассмотрим подготовительные операции для создания инструмента - «отверстие со шпоночным пазом».

Подготовим сечение отверстия. Для этого во вспомогательном листе построим окружность, диаметр которой равен диаметру отверстия, и проведем линии, ограничивающие шпоночный паз, размеры которого подобраны по диаметру (рис. 57). Построим плоский контур (рис. 58), скруглим $XU+0$ указанную вершину контура (рис.59) и получим сечение отверстия (рис. 60). При помощи операции БЭФ Лифт создадим модель отверстия со шпоночным пазом (рис. 61). Длина Лифт – линии должна быть несколько больше длины отверстия.

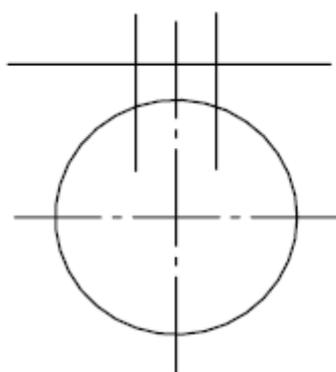


Рис. 57

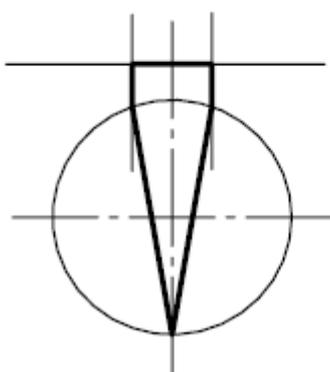


Рис. 58

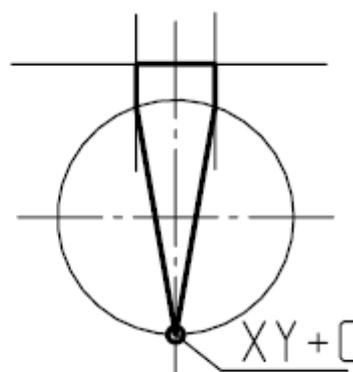


Рис. 59

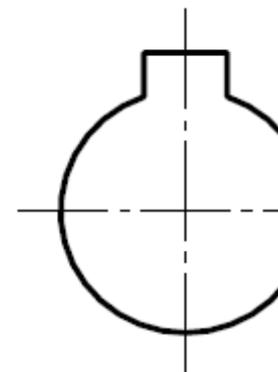


Рис. 60

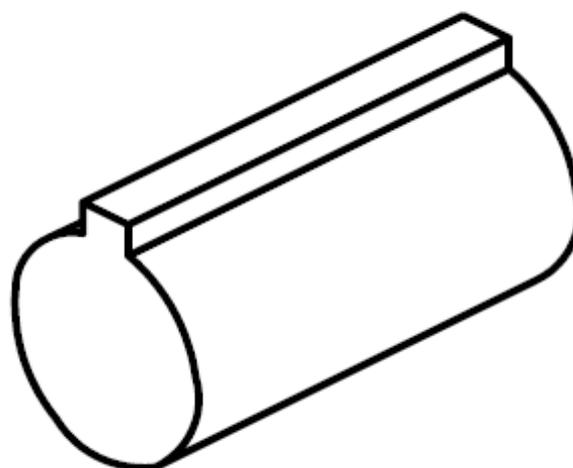


Рис. 61

4. Подготовка 3D-модели к выводу на формат чертежа и его оформление

Оформление чертежа следует начинать с выбора формата. Для этого необходимо включить экранную кнопку «Режим», в появившемся меню выбрать «Формат». Определить границы формата А3 (420x297) и включить функцию «Рисовать границу». Открыть из каталога cat. диск C:\ ADEM 303\ADM. Из папки FORMESKD выбрать файл A3 L1 L формата А3 с основной надписью и вывести его изображение на экран («Точка привязки» - Home, «Направление» - пробел). На формате А3 выполняем чертеж зубчатого колеса и на свободном поле формата располагаем объёмную модель зубчатого колеса, записанную в cat. файле, выбрав место «точки привязки» и «направление».

Равномерно распределить изображения на чертеже в проекционной связи, редактировать аксонометрическое изображение детали и заполнить основную надпись чертежа.

Редактирование аксонометрического изображения детали заключается в удалении лишних узлов и линий (оставшихся после конвертирования *bsf* - файла в *cat* - файл) и выполнении штриховки в разрезе (штриховка плоского контура из функционального меню для этого не подходит). Штриховку в разрезе необходимо выполнить по правилам нанесения штриховки в аксонометрических проекциях (провести ряд параллельных тонких линий с одинаковым шагом во втором слое и обвести их в первом слое по всему разрезу). После этого можно приступить к окончательному оформлению чертежа.

На [рис.62](#) и [63](#) показаны два варианта оформления чертежа цилиндрического зубчатого колеса (объёмная модель может быть выполнена без выреза (см. [рис.62](#)) или с вырезом (см. [рис.63](#)) по согласованию с преподавателем), а на [рис.64](#) представлен вариант оформления чертежа вала с коническим зубчатым венцом и объёмное изображение детали.

5. Вывод чертежа на печать в Microsoft Word

Любые изображения, выполненные в ADEM 2D, могут быть конвертированы в **emf**-файлы и размещены в тексте в Microsoft Word. Для этого графический документ (чертеж, схема, рисунок), предназначенный для вставки в документ Microsoft Word, предварительно переписывают из файла типа *.adm в файл *.emf. Запись в формате *.emf производится с помощью программы **ADEM Print** следующим образом:

1. Подготовьте графический документ (чертеж, схему, рисунок) в редакторе ADEM 2D.
2. Проверьте размер формата, на котором выполнено изображение: меню «Режим», Команда «Формат листа», команда «Задан пользователем»..., при этом размер формата должен максимально точно соответствовать размеру поля чертежа, схемы или рисунка.
3. Запишите документ в файл типа *.adm: меню Файл», команда «Сохранить как...». Имена файлов и папок могут состоять из букв латинского алфавита и цифр в количестве от 1 до 8.
4. Находясь в среде редактора ADEM 2D, загрузите программу печати (перевода файла типа *.adm в файл типа *.emf) **ADEM Print**: меню «Файл», команда «Печать», позиция «Печать файла».
5. В окне «ADEM Print» включите кнопку «Обзор» и выберите нужный adm-файл с графическим документом. Его имя с маршрутом будет выведено в окно «Имя».
6. Включите индикатор «Вывод в файл», затем укажите тип расширения «EMF».
7. Включите кнопку «Просмотр». Убедитесь, что изображения располагаются в пределах красного прямоугольника. Для перемещения документа в центр листа включите кнопку «В центр», затем «ОК» и вернитесь в окно «ADEM Print».
8. Включите кнопку «Перья...» и отрегулируйте толщины линий. Эту процедуру придется выполнить в том случае, если в документе Microsoft Word потребуется уменьшить размеры вставляемого чертежа и расположенные близко линии при этом будут сливаться.
9. В окне «Имя», расположенном ниже окна «Вывод в файл», исправьте имя EMF-файла, если оно должно отличаться от имени ADM-файла.
10. Включите кнопку «Печать».
11. Продолжите работу с другим ADM-файлом аналогичным образом или закройте окно «ADEM Print».

Для размещения графики из EMF-файла откройте текстовый документ Microsoft Word и включите: меню «Вставка», команду «Рисунок», позицию «Из файла...» и выберите необходимые диск, папку, файл.

Если ADM –файл уже создан, то редактор ADM 2D загружать не обязательно!

Для запуска программы печати Adem Print включите последовательно: кнопку «Пуск», команду «Программы», группу программ ADEM 3.03, программу Adem Print.

Можно обратиться непосредственно к файлу Aplot.exe, расположенному по маршруту C:\Program Files\Plt. Здесь приведено условное имя системной папки ADEM 3.03. При установке программы ADEM эта папка может быть названа по-другому.

6. Примеры чертежей с объемными моделями

В этом разделе представлены примеры выполнения графических работ.

На рис. 62 – 69 показаны варианты оформления чертежей зубчатого колеса, зубчатого колеса с отверстиями в диске, зубчатого колеса с торцевыми шлицами, планетарного зубчатого колеса и шлицевого вала.

[Рис.62](#)

[Рис.63](#)

[Рис.64](#)

[Рис.65](#)

[Рис.66](#)

[Рис.67](#)

[Рис.68](#)

[Рис.69](#)

Библиографический список

1. *Левицкий, В.С.* Машиностроительное черчение и автоматизация выполнения чертежей: учебник для вузов. -3-е изд., испр./ В.С. Левицкий. - М.: Высш. шк., 2001.-422с.
2. *Орлов, П.И.* Основы конструирования./ П.И. Орлов.- М., 1977.
3. *Иващенко, Объемное моделирование в задачах проекционного черчения: метод. указания / В.И. Иващенко – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2003.-47 с.*
4. *Чекмарев, А.А.* Справочник по машиностроительному черчению/ А. А. Чекмарев, В. К. Осипов – 3-е изд. – М.: Высш.шк., 2002. – 493 с.
5. *Чемпинский, Л.А.* Основы геометрического моделирования: учеб. пособие / Л.А. Чемпинский - Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2005. – 190 с.
6. Стандарты ЕСКД, по состоянию на 01.01.95.

Сведения об авторах

[Рыжкова](#) Людмила Михайловна, старший преподаватель кафедры инженерной графики
СГАУ,
тел. 267-45-11

[Комаровская](#) Светлана Семёновна, старший преподаватель кафедры инженерной графики
СГАУ,
тел. 267-45-11