

## ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС В SIEMENS NX

© 2012 Е. А. Рамзаева

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

В статье рассмотрены различные подходы параметрического 3D-моделирования зубчатых колёс с наружным и внутренним облегчением и алгоритм последовательного построения тел вращения, формирования зубчатого венца с эвольвентным профилем зубьев и эвольвентных шлицов в среде Siemens NX с использованием MS Excel и VBA макросов.

*Siemens NX, параметрическая 3D-модель, вал-шестерня, Excel документ, алгоритм построения.*

Параметрическая модель создаётся с целью сокращения времени на выполнение рутинной работы создания 3D-моделей типовых деталей. При построении моделей деталей типа «вал-шестерня» наиболее трудоёмкими элементами являются зубчатый венец и шлицы. Другие поверхности подобных деталей могут быть очень разнообразны по компоновке, но их построение с помощью стандартных операций Siemens NX не вызывает значительных затруднений. Самый полный комплексный представитель группы зубчатых колёс и валов требует применения сложной логики дерева построения модели. Сложность логических условий включения и отключения объектов, формирующих конечную модель, затрудняет её использование в большинстве стандартных деталей.

Компромиссным решением может быть использование двух подходов:

во-первых, использование элементарных параметрических моделей зубчатого венца на валу, зубчатого венца во втулке;

во-вторых, создание комплексной параметрической модели группы стандартных деталей.

В первом случае имеется возможность средствами NX сформировать произвольный контур тела вращения и получить объёмную модель уникального вала (шестерни), затем импортировать модель зубчатого венца, полученную на основе параметрической модели элементарного вала с зубчатым венцом. С помощью операции «Слияние» получаем модель тела вращения с произвольным контуром и зубчатым венцом. При этом формирование элементарного вала с зубчатым вен-

цом выполняется на основе параметрической модели, управляемой размерными значениями венца и значениями координат зубчатого венца в системе координат детали, контур которой задаётся произвольно.

В случае создания комплексной модели группы стандартных деталей появляется возможность быстрого получения серии моделей с различными параметрами, например при проведении численного инженерного анализа.

В обоих случаях параметрическая модель реализует известный алгоритм построения параметрического зубчатого венца, одинаково применимый для построения венца на валу и во втулке (для шлицов и зубьев).

Последовательность операций алгоритма уточним применительно к элементарной модели венца зубьев эвольвентного профиля, ось которого совпадает с осью X.

Параметрические размеры эскиза для получения исходного тела вращения представляются от осей координат (рис. 1).

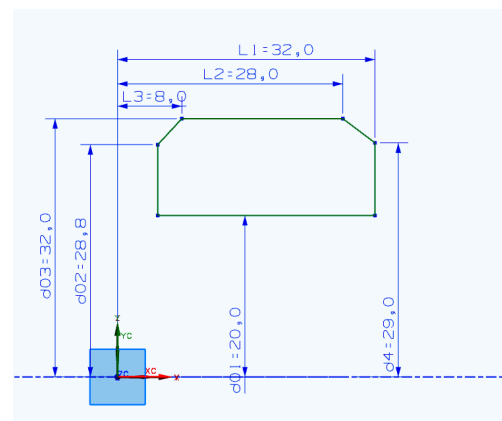


Рис. 1. Параметрический эскиз тела вращения

При такой постановке размеров не возникнет ситуации, когда значение какого-либо из них станет равным 0: например при получении модели без фасок. Пересчёт истинных размеров детали к размерам параметрической модели может выполняться автоматически при соответствующей организации Excel-документа, который используется в NX при получении семейства деталей.

Тело вращения (рис. 1, 2) имеет по наружной цилиндрической поверхности фаски: слева и справа.

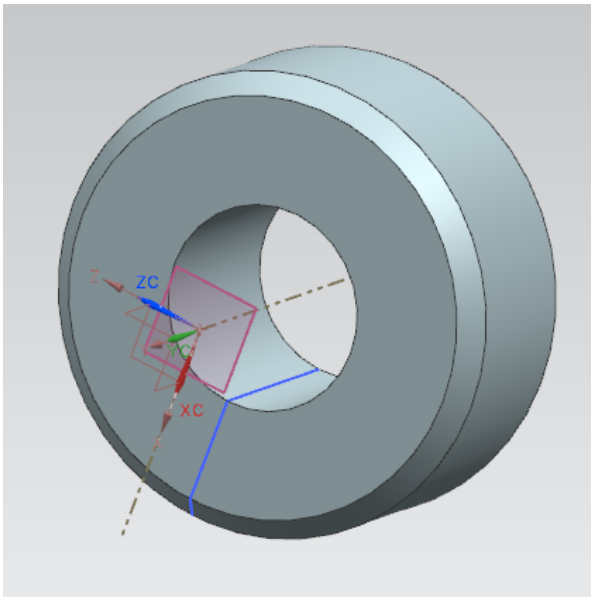


Рис. 2. Результат операции «Вращение»

Для построения исходного тела вращения можно использовать более простое прямоугольное сечение (без фасок). В таком случае в NX-дерево элементов 3D-модели придется включить операции добавления фасок. Операции с фасками должны быть выполнены до формирования зубчатого венца, т.к. «подрезать фаской» множество поверхностей, образующих зубчатый венец, слишком затруднительно.

Элементы, составляющие NX-дерево модели, могут отключаться с помощью специальных параметров, устанавливаемых Excel-документом. В случае такой простой модели оба варианта изменения конфигурации равнозначны.

Кроме размерных параметров в Excel-документ вносятся значения параметров  $z$ ,  $m$  и  $\alpha$  (число зубьев, модуль зубчатого венца и угол при вершине эвольвенты: для зубчатого венца  $\alpha=20^\circ$ , для шлицев  $\alpha=30^\circ$ ).

Координатная плоскость для построения контура эвольвентного зуба, параллельная плоскости XCZC, совпадает с левым торцом тела вращения. Эскиз эвольвентного зуба содержит четыре окружности: окружность вершин зуба, окружность делительного диаметра, окружность базового диаметра, окружность впадин. Значения диаметров окружностей определяются по известным формулам, которые вводятся в модель NX с помощью команды «Выражения» из меню «Инструменты»:

$$dd = m \cdot z \text{ - диаметр делительной окружности;}$$

$$d_{\text{main}} = dd \cdot \cos(\alpha), \quad \alpha = 20^\circ \text{ - диаметр основной окружности;}$$

$$da = dd + 2 \cdot m \text{ - диаметр вершин;}$$

$$df = dd - 2.5 \cdot m \text{ - диаметр впадин.}$$

Размерные параметры эскиза и параметры для построения зубчатого венца  $z$ ,  $m$  и  $\alpha$  включаются в список параметров комплексной модели с помощью команды меню «Инструменты – Выражения».

Для построения эвольвенты используется элемент «Кривая по закону». Этот инструмент создает полностью параметрическую кривую, определённую в трёхмерном пространстве. Поэтому элемент недоступен в режиме «Эскиз» и может быть построен только как самостоятельный элемент дерева модели.

Для применения инструмента «Кривая по закону» требуется задать выражения, определяющие зависимость координат точек кривой в трёхмерном пространстве от некоторого параметра  $t$ , изменяющегося в интервале от 0 до 1. Нужно ввести следующие выражения, соответствующие параметрическим уравнениям эвольвенты:

$$zt = d_{\text{main}} \cdot (\sin(180 \cdot t) + 2 \cdot \pi \cdot \cos(180 \cdot t))$$

$$xt = d_{\text{main}} \cdot (\cos(180 \cdot t) - 2 \cdot \pi \cdot \sin(180 \cdot t))$$

$$yt = p0$$

Выражения записываются с учётом того, что плоскость построения эскиза профиля зуба ориентирована по левому торцу тела, полученного вращением вокруг оси Y. Параметрические зависимости и параметр  $t$

вводятся с помощью команды «Инструменты – Выражения».

В результате в дереве модели формируется кривая в плоскости профиля зуба, т.к.  $ut = r_0 (\text{const})$ .

Для построения профиля зуба введём еще один параметр – толщина зуба:

$Tz = r_i() \cdot m$ , параметр добавляется командой «Выражения» (меню «Инструменты»).

С помощью инструмента эскиза «Дуга» от точки пересечения делительной окружности и эвольвенты строим дугу, точки которой находятся на делительной окружности. Для линии дуги и делительной окружности накладываем ограничение – «центрирование». Кроме того, для дуги накладываем размерное ограничение её длины: выбираем размерное ограничение «периметр» и определяем его значение как формулу, в которой указываем выражение  $tz$ .

На рис. 3, 4 строится не контур зуба, а контур впадины венца.

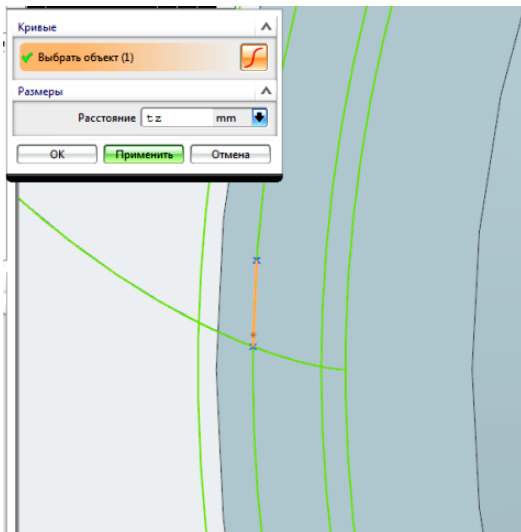


Рис. 3. Параметризация толщины зуба

Реальный зубчатый венец (на валу и во втулке) возникает на детали именно в результате удаления материала впадин, т.е. с учётом постоянных размеров инструмента обработки ширина впадины по всей толщине зубчатого венца постоянна. Это замечание важно при построении конического зубчатого венца, 3D-модель которого также может быть получена выполнением описываемого алгоритма.

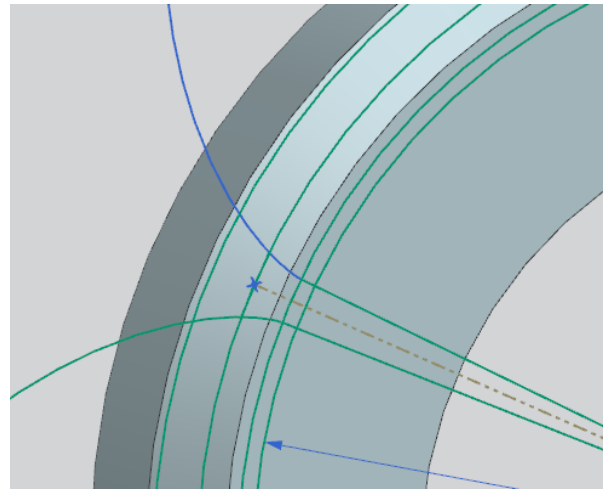


Рис. 4. Зеркальное отображение эвольвенты

При построении цифровой модели зубчатый венец формируется вычитанием «лишнего» из тела вращения. Поверхность зубчатого венца будет получена методом «Вытягивание» с параметром «Вычитание» параллельно оси  $Y$  на длину, равную ширине венца.

«Вычитание параллельно оси  $Y$ » применяется для получения цилиндрического венца (рис. 5). При построении конического венца операция «Вычитание» должна производиться параллельно образующей конуса и на длину образующей.

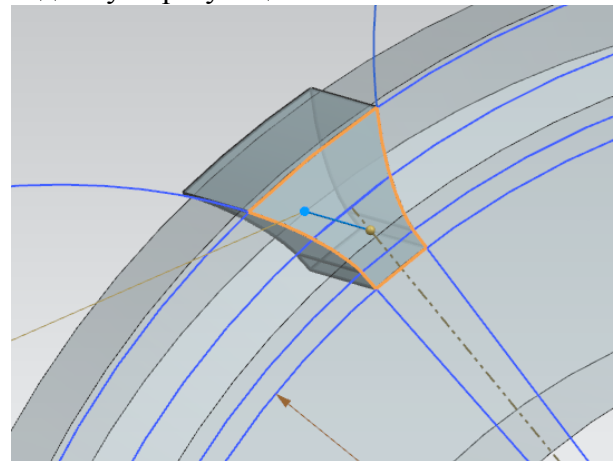


Рис. 5. Результат операции «Вытягивание» с параметром «Вычитание»

Полученную модель впадины копируем с помощью операции «Круговой шаблон» из группы «Множественные операции».

В качестве оси вращения выбираем ось  $Y$ , количество элементов задаётся выражением  $z$ , угол поворота определяется по формуле  $2 \cdot \pi() / z$  (рис. 6).

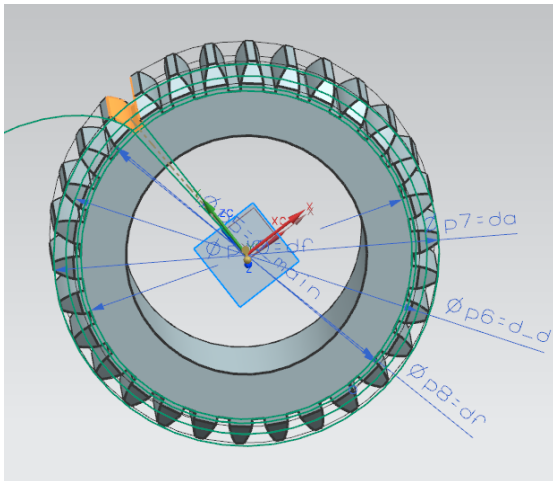


Рис. 6. Результат операции «Круговой шаблон»

Параметры операции «Круговой шаблон» могут определяться вне модели (из файла Excel).

В итоге в NX-дереве элементов 3D-модели элементарного зубчатого венца сформированы элементы: «Эскиз», «Вращение», «Координатная плоскость», «Кривая по закону», «Вытягивание» и «Круговой шаблон».

Последовательность операций для получения модели внутренних шлицов или зубчатого венца во втулке аналогична, но не может быть получена на основе того же файла параметрической модели зубчатого венца на валу.

В модели для внутренних шлицов иначе выполняется построение контура впадины: дуга ширины впадины откладывается в сторону наклона эвольвенты. При построении контура шлицов во втулке именно так образуется контур между шлицами (рис. 7).

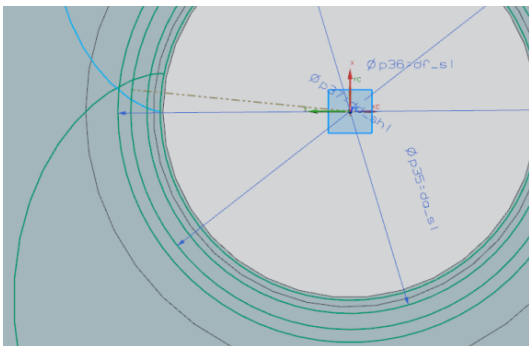


Рис. 7. Зеркальное копирование эвольвенты при построении контура между шлицами

Последующие действия выполняются аналогично (рис. 8, 9).

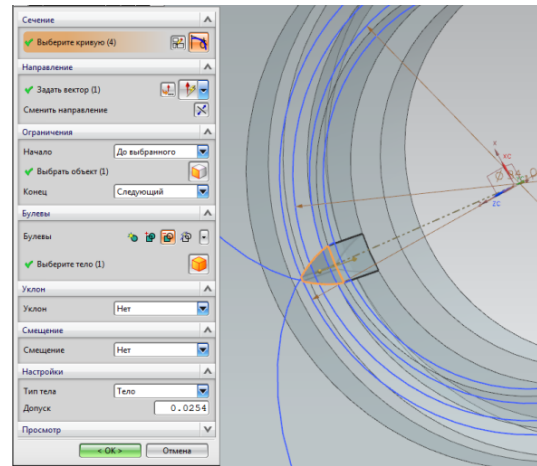


Рис. 8. Вытягивание с удалением области между шлицами

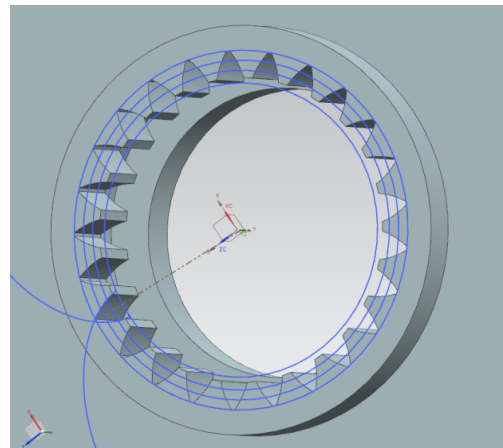


Рис. 9. Получение формы с помощью элемента «Круговой шаблон»

3D-модель комплексной детали типа «вал-шестерня» должна иметь более сложный контур сечения тела вращения. Параметрический эскиз состоит из общих элементов всех деталей группы комплексного представителя. К общим элементам отнесём и те, что встречаются не у всех, но у многих деталей группы. Например, многочисленная группа деталей может быть сформирована на основе комплексного представителя, который имеет венец эвольвентных зубьев с осью вдоль оси X (рис. 10).

Зубчатое колесо может иметь внешние облегчения или они могут отсутствовать. Диск колеса находится на валу, торцы которого отстоят от диска зубчатого венца или один торец вала может совпадать с торцом зубчатого венца.

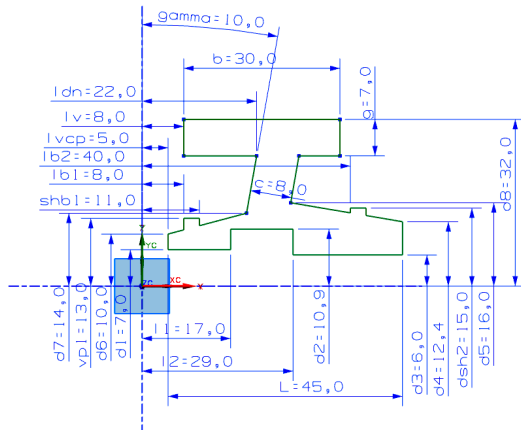


Рис. 10. Эскиз модели для получения тела с помощью вращения

На наружной поверхности вала могут выступать (или отсутствовать) буртики. Внутренняя полость вала может быть гладкой или состоять из трёх цилиндров разного диаметра.

В среде NX внесение в эскиз нулевых размеров часто приводит к получению непредсказуемых результатов. По этой причине начальная координата чертежа по оси X смещена относительно базовой системы координат на некоторый постоянный размер  $lv_{cp}$ , а не совпадает с левым торцом вала (рис. 10). Такая простановка параметрических размеров позволяет задавать угол наклона  $\gamma$  от нуля (рис. 11) до 360 градусов, т.к. линия левого торца эскиза отделена от вертикальной оси базовой системы координат. Отрицательный угол  $\gamma$  невозможен.

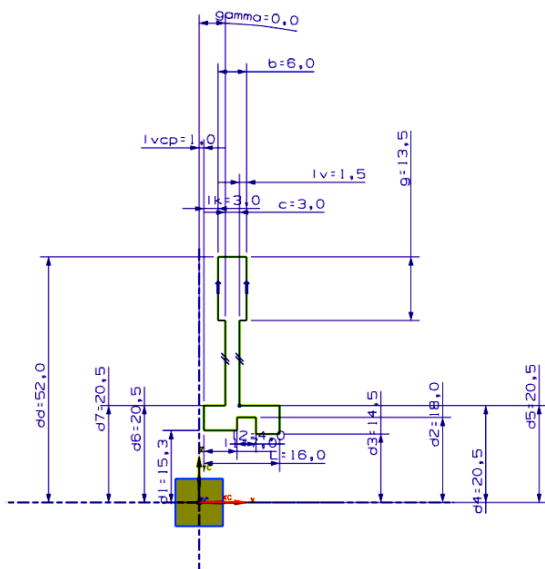


Рис. 11. Параметрически изменённый эскиз детали

Значения параметров эскиза связаны с таблицей MS Excel, которая имеет основной и вспомогательный листы. На вспомогательном листе задаются действительные размеры конкретной детали, которые пересчитываются средствами MS Excel для соответствия размерной схемы эскиза модели комплексного представителя.

Размеры, обозначенные на эскизе как диаметры, должны соответствовать своим радиусным значениям. Пересчёт этих значений выполняется формулами первого листа Excel.

При отсутствии в чертеже реальной детали некоторых элементов (например, внутренняя полость представляет собой сплошной цилиндр или обод колеса – гладкий цилиндр, а не конус) пользователю не требуется задавать все отсутствующие размеры. Например, если на листе действительных размеров не заданы значения размеров  $d2$  и  $d3$  (гладкий внутренний цилиндр), то по формулам Excel, связывающим 1-й и 2-й листы, значения  $d2$  и  $d3$  устанавливаются равными  $d1$ , но не нулевыми. При этом значения линейных размеров  $l1$  и  $l2$  автоматически устанавливаются равными размеру  $lv_{cp}$  (расстояние от центра координат) и пользователь может не задавать значения этих размеров (рис.12).

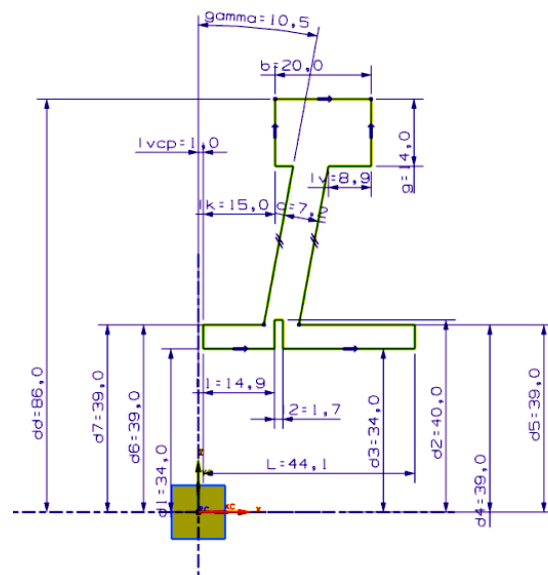


Рис. 12. Параметрически изменённый эскиз геометрии детали

Выражения, заложенные в книге Excel, настроены таким образом, чтобы назначать минимум нулевых значений для параметров эскиза.

Параметр  $\gamma$  позволяет изменять форму обода до строго вертикальной. Если глубина выборки  $lv$  установлена равной  $lv_{ср}$ , получаем эскиз без выборок. Если сумма размеров  $lv$  и  $s$  равна размеру  $b$ , то на эскизе будет присутствовать только левая выборка. Но более удобно управлять переменными элементами с помощью координатной про- становки размерных ограничений.

Иначе переменные элементы можно параметрически отключать в NX-дереве комплексной модели. Например, в эскиз комплексной детали не включены вспомога- тельные элементы, радиусы и фаски, так как у многих колес они отсутствуют. Это упро- щает параметрический эскиз.

NX-дерево модели комплексного пред- ставителя группы стандартных деталей мо- жет одновременно содержать элементы для построения нескольких зубчатых венцов. В этом случае все добавляемые выражения должны иметь уникальное обозначение, на-

пример:  $t_z$  – параметр толщины зуба венца на валу и тогда  $t_{z\_sh}$  – параметр, задающий толщину зуба внутренних шлицов.

Применение VBA позволяет организо- вать пространство Excel-документа таким образом, что при отсутствии в чертеже ре- альной детали некоторых элементов (напри- мер, внутренняя полость представляет собой сплошной цилиндр или обод колеса - глад- кий цилиндр, а не конус), пользователю не требуется задавать все отсутствующие раз- меры. Кроме того, с использованием VBA- макросов возможно выполнять автоматиче- скую проверку ошибочных соотношений вводимых пользователем параметров: ли- нейных и диаметральных размеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации на осно- вании Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

## PARAMETRIC MODELING COG WHEELS IN SIEMENS NX

© 2012 E. A. Ramzaeva

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

There are different approaches of parametric 3D modeling gears with internal and external relief in the article , and also algorithm successive construction of bodies of revolution, formation of the ring gear with involute tooth profile and involute splines among Siemens NX with using MS Excel and VBA macros.

*Siemens NX , parametric 3D model, gear shaft , Excel document, algorithm of construction.*

### Информация об авторах

**Рамзаева Елена Анатольевна**, заведующая вычислительным центром кафедры произ- водства двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский универси- тет). E-mail: [pdla@ssau.ru](mailto:pdla@ssau.ru). Область научных интересов: использование CAD/CAM/CAPP сис- тем при подготовке специалистов.

**Ramzaeva Elena Anatolyevna**, Head of the Department of Computing Centre production of aircraft engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (Na- tional Research University). E-mail: [pdla@ssau.ru](mailto:pdla@ssau.ru). Area of Research: using of CAD/CAM/CAPP systems for preparing specialists.