

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ
ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ
И ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний

САМАРА
Издательство СГАУ
2006

УДК 621.452.221.3.01(075.8)

ББК

И88



**Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэрокосми-
ческих и геоинформационных технологий"**

Составители: *А.И. Ермаков, А.С. Виноградов, С.А. Курушин*

Рецензент: *д-р техн. наук, проф. В.Б. Балякин*

**Использование разработанных для электронной базы данных параметриче-
ских моделей элементов и типовых деталей двигателей:** метод. указания /
И88 Самар. гос. аэрокосм. ун-т ; сост. *А.И. Ермаков, А.С. Виноградов, С.А. Курушин.* -
Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. - 35 с. 62 ил.

В методических указаниях рассмотрены вопросы применения параметрических моделей лопатки и диска турбины и компрессора, разработанных в системе твердотельного трехмерного моделирования Unigraphics (версия NX). Алгоритм использования моделей рассмотрен на конкретных примерах с пошаговым описанием последовательности действий.

Методические указания предназначены для студентов факультета двигателей летательных аппаратов, обучающихся по специальности "Авиационные двигатели и энергетические установки". Подготовлены на кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов.

УДК 621.452.221.3.01(075.8)

ББК

Оглавление

Предисловие	4
Введение	5
1. Установка приложения к Unigraphics для построения лопаток и дисков	6
2. Создание панелей инструментов для запуска программ	9
3. Создание параметрических моделей	12
3.1. Построение параметрической модели упрощенного диска	12
3.2. Создание пазов в диске типа «ласточкин хвост»	14
3.3. Создание пазов в диске елочного типа	17
3.4. Построение параметрической модели лабиринтного уплотнения	20
3.5. Построение параметрической модели хвостовика типа «ласточкин хвост»	22
3.6. Построение параметрической модели хвостовика ёлочного типа	24
3.7. Построение параметрических моделей пера лопатки для компрессора и турбины	26
3.8. Построение параметрической модели лопатки компрессора	27
3.9. Построение параметрических моделей лопаток проточной части компрессора или турбины	31
Заключение	33
Список литературы	34

Предисловие

Методические указания предназначены для использования при курсовом проектировании в рамках дисциплин «Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок (АД и ЭУ)», «Вибрация и прочность АД и ЭУ», а также «Основы проектирования АД и ЭУ» и «Компьютерное проектирование основных узлов АД и ЭУ». Данные дисциплины являются основополагающими при подготовке студентов по специальности 160301. В ходе выполнения учебного плана студентом выполняются курсовые работы и проекты, связанные с расчетом на прочность лопатки и соответствующего ей диска турбокомпрессора, а также проектированием узла двигателя. В рамках сквозного курсового проекта планируется внедрить трехмерное моделирование процесса сборки проектируемого узла или даже всего двигателя.

Как правило, те же расчеты выполняются студентами при дипломном проектировании. При сложившейся системе обучения задачу построения типовых элементов двигателя: лопатки, хвостовика, диска, паза в диске - приходится решать многократно. Но совершенно очевидно, что для дальнейшего совершенствования учебного процесса нет необходимости перегружать задания стандартными повторяющимися операциями, но, напротив, стоит больше внимания и сил уделять постановке и освоению качественно новых проблем. Этой цели способствует внедрение трехмерных параметрических моделей типовых деталей двигателя. Модели, о которых ведется речь, были разработаны на кафедре конструкции и проектирования ДЛА в системе трехмерного проектирования Unigraphics (версия NX).

Настоящие методические указания посвящены не созданию подобных моделей – это рассматривается как следующая ступень образовательного процесса, а практическому использованию уже созданного программного продукта. С помощью рекомендаций, приведенных в учебном пособии, студентом может быть создан целый ряд геометрически подобных моделей деталей. Это может быть очень удобным при выполнении расчетных исследований в любом программном комплексе, где возможно использования моделей, созданных в среде Unigraphics, что открывает широкие возможности для реорганизации и повышения интеллектуальной насыщенности процесса обучения.

При написании данных методических указаний были использованы параметрические модели, созданные в ходе дипломного проектирования, студентом группы 2605 (2005-го года выпуска) М.А. Хлопушиным. Большую техническую помощь в подготовке материалов для издания оказал студент Д.Н. Щипакин. Им авторы выражают самую искреннюю признательность.

Введение

Unigraphics – это не просто мощная система построения математических 3D-моделей, сочетающая приёмы твёрдотельного и поверхностного моделирования, это целый комплекс программных модулей, образующих единую систему. Он предназначен для решения задач промышленного дизайна и формирования облика будущего изделия; для высокоточного описания отдельных деталей и крупных сборочных узлов и агрегатов, состоящих из сотен и тысяч компонентов; для проведения сложных инженерных расчётов и моделирования поведения изделия в реальных условиях; для выпуска конструкторской документации и управления сложнейшими станками с числовым программным управлением.

Человек мыслит трёхмерными образами, но описать их посредством слов удаётся далеко не всегда. Поэтому проще всего передать информацию о каком-то объекте, тем более если он ещё не существует, а только проектируется, через его макет или модель. Возможно, сделать чертёж объекта, но это зачастую требует большего времени, чем создание модели, так как для сложных деталей требуется большое количество видов и разрезов и хорошо развитое пространственное мышление и опыта

Unigraphics – система трёхмерного твёрдотельного гибридного моделирования. Гибридное моделирование – это объединение возможности строить модели с помощью компонентов, определяемых набором параметров-размеров, и с помощью созданных в пространстве моделей элементов, которые в явном виде не определяются никакими числовыми параметрами. Во всех случаях модель ассоциативно связана с определяющими её элементами и будет изменяться в случае их редактирования. Таким образом, в системе Unigraphics одна и та же модель может быть создана множеством способов, и от выбранного способа построения будет зависеть лёгкость её дальнейшего редактирования. После создания трёхмерной модели сделать по ней чертёж намного проще, чем с нуля. 3D-модель легко поддаётся анализу, как средствами самого UG, так и с помощью других программных пакетов, таких, как ANSYS.

В данном методическом пособии рассматривается работа дополнительной программной оболочки к Unigraphics, которая позволяет строить весьма сложные модели в короткие сроки. Кроме того, модели, построенные с помощью этой программы, будут соответствовать действующим стандартам, что исключает необходимость использования справочной литературы при моделировании. Также данный программный продукт позволяет создать целый ряд однотипных деталей, например лопаток проточной части компрессора.

1. УСТАНОВКА ПРИЛОЖЕНИЯ К UNIGRAPHICS ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЛОПАТОК И ДИСКОВ

1. В начале необходимо переписать папку test с файлами-макросами на «жесткий» диск (для упрощения установки лучше нужную папку скопировать в каталог, куда установлен Unigraphics).

2. Откройте папку с файлами-макросами. Откройте файл kompressor_lopatka.grs при помощи текстового редактора Блокнот. Найдите строчку:

```
FETCH/txt,1,'C:\Program\EDS\Work\kompressor_koordinat.txt',$
```

В этой строчке записан оператор, который считывает координаты 3 сечений лопатки из файла kompressor_koordinat.txt. Вместо C:\Program\EDS\Work\ напишите путь к этому файлу на вашем компьютере.

3. Аналогичные изменения необходимо провести в файлах kompressor_pero.grs и kompressor_protochka.grs.

Необходимо исправить строчки:

```
FETCH/txt,1,'C:\Program\EDS\Work\kompressor_koordinat.txt',$
```

```
FETCH/txt,1,'C:\Program\EDS\Work\kompressor_protochka.txt',IFERR,err1: (2 строчки в одном файле)
```

```
FILE/TXT,1,'C:\Program\EDS\Work\kompressor_protochka.txt'
```

4. Точно также вносим исправления в файлах turbina_lopatka.grs, turbina_pero.grs, turbina_protochka.grs. Изменяем следующие строчки:

```
FETCH/txt,1,'C:\Program\EDS\Work\turbina_koordinat.txt',$
```

```
FETCH/txt,1,'C:\Program\EDS\Work\turbina_protochka.txt',IFERR,err1: (2 строчки в одном файле)
```

```
FILE/TXT,1,'C:\Program\EDS\Work\turbina_protochka.txt'
```

5. Чтобы программы строили модели лопатки с необходимой геометрией, следует изменить файлы: kompressor_koordinat.txt, kompressor_protochka.txt для лопатки компрессора и turbina_koordinat.txt, turbina_protochka.txt для лопатки турбины.

Для файла kompressor_koordinat.txt.

В первой строке указывается количество сечений пера:

Пример: 3

Начиная со второй строки вводятся коэффициенты изменения толщины каждого сечения:

Пример: 1

1

1

Затем, в пятой строке указывается количество точек на спинке первого сечения:

Пример: 10

После этого вводятся координаты X, Y и Z точек на спинке первого сечения. Сечение с номером 1 должно располагаться в корне лопатки:

Пример: -10.855, 18.028, 300

 -6.265, 15.118, 300

 -2.325, 11.358, 300

 0.995, 7.038, 300

 3.585, 2.248, 300

 5.345, -2.902, 300

 6.285, -8.262, 300

6.415,	-13.702,	300
5.835,	-19.132,	300
4.725,	-24.432,	300

Координаты и номера точек для построения модели пера лопатки необходимо взять с профилей, как показано на рис. 1. Центр системы координат при этом должен находиться в точке центра масс сечения. Окружности, вписанные между корытцем и спинкой, определяют точки для построения профиля в Unigraphics.

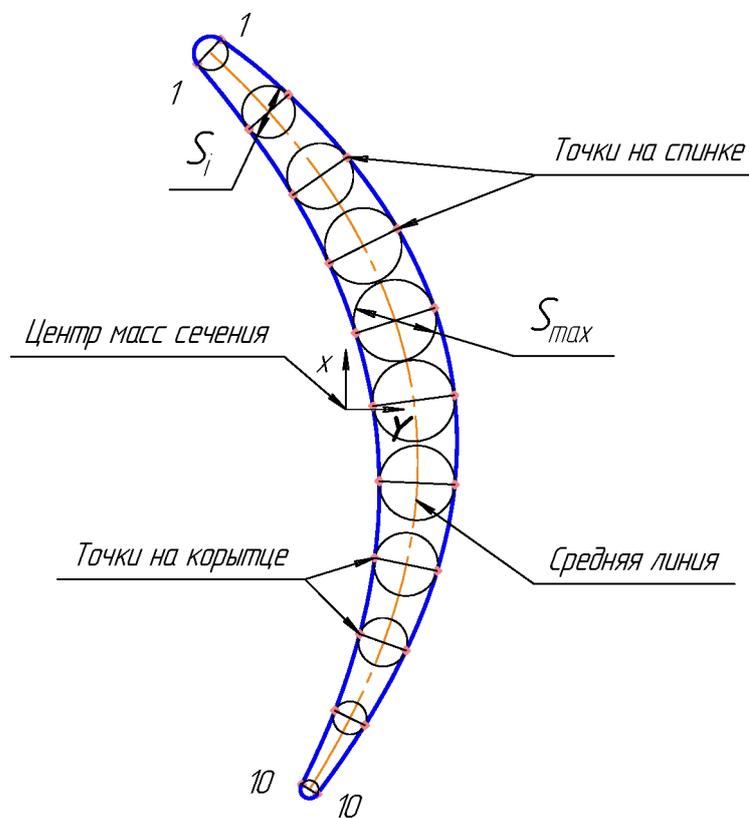


Рис. 1. Метод получения координат и номеров точек профилей

Далее указывается количество точек на корытце первого сечения:

Пример: 10

Вводятся координаты X, Y и Z точек на корытце первого сечения:

Пример:	1.926,	16.933,	300
	-9.096,	12.723,	300
	-6.226,	8.673,	300
	-3.606,	4.393,	300
	-1.326,	-0.067,	300
	0.574,	-4.717,	300
	2.044,	-9.507,	300
	3.124,	-14.397,	300
	3.804,	-19.347,	300
	4.064,	-24.357,	300

Аналогично вводятся количество и координаты точек остальных сечений.

6. Для построения исполняемого модуля программы необходимо запустить программную оболочку GRADE. Для этого выбираются следующие пункты меню: NX 3.0→NX Tools→NX Open Grip (рис. 4).

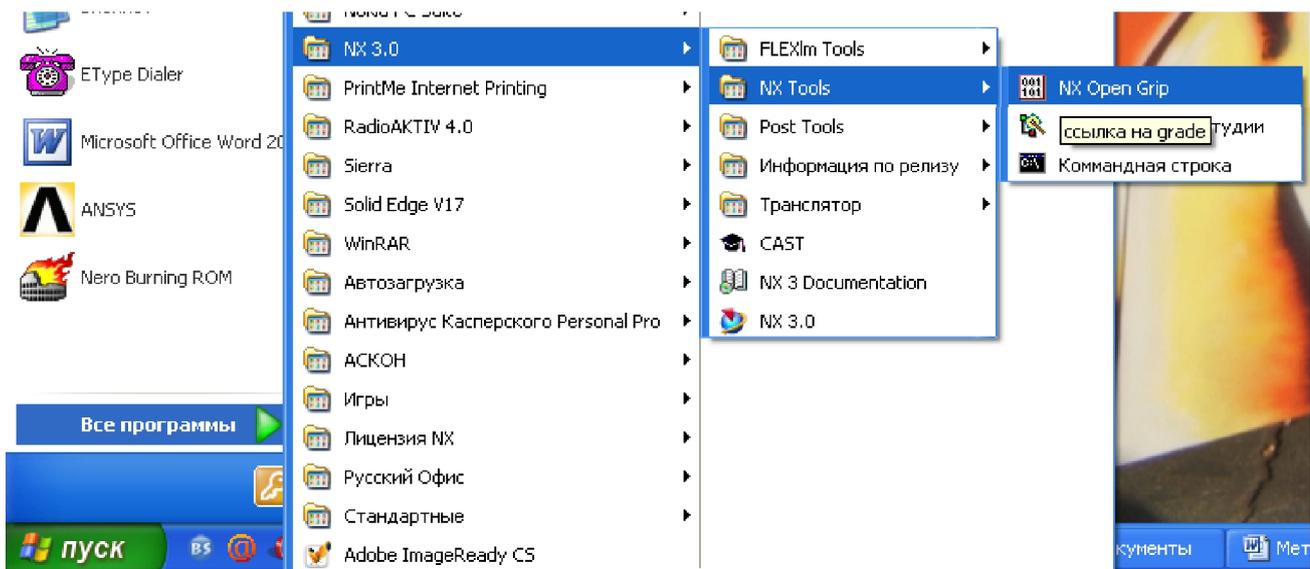


Рис. 2. Запуск программной оболочки

С помощью 4-го пункта меню (change Directory) необходимо изменить путь к папке, в которой сохранены исходные тексты программ (рис. 3). В именах папок и файлов лучше не использовать символы кириллицы и пробелы.

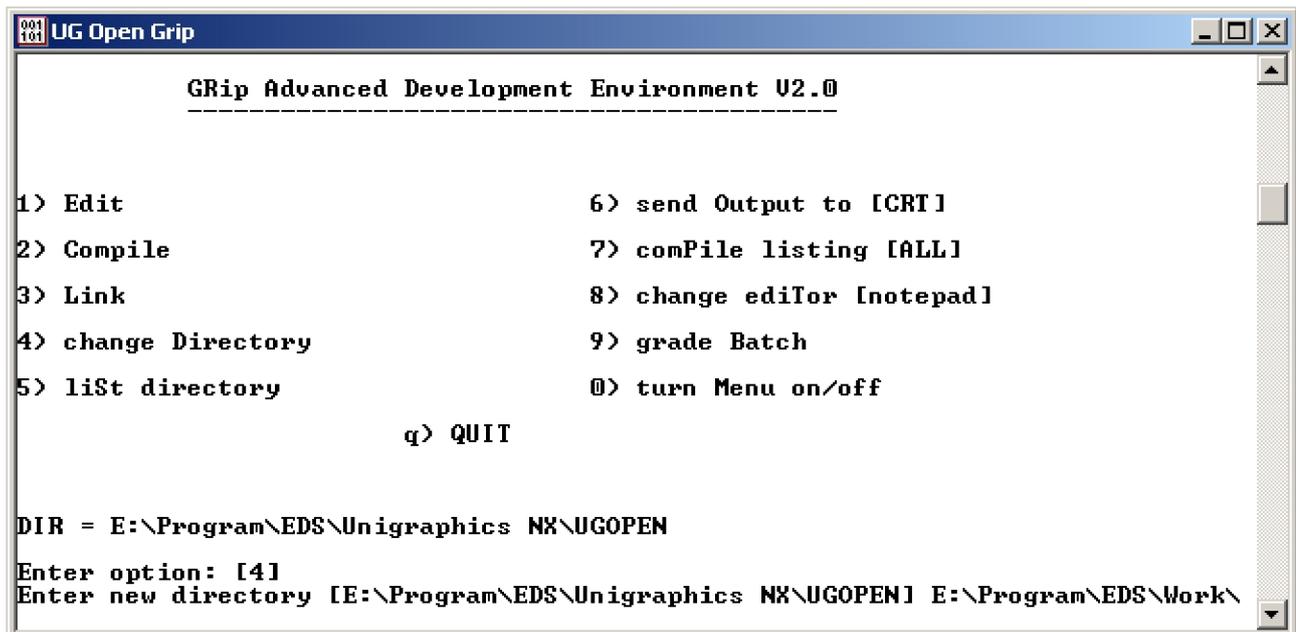


Рис. 3. Программная оболочка

После этого следует возвратиться к основному меню нажатием клавиши ENTER и приступить к компиляции программы.

Для этого выбирается второй пункт меню «Compile». (После нажатия клавиши ENTER появляется знак «*» и нужно ещё раз нажать ENTER.) Компилятор анализирует каждую строчку программы и формирует перечень, содержащий список всех переменных, меток и возможных ошибок. Если программа скомпилирована без ошибок, выводится сообщение «GRIP PROGRAM COMPILED WITHOUT ERROR», как показано на рис. 4. При компиляции будут скомпилированы все программы, которые находятся в выбранной папке. В результате в папке появляется файл со специальным объектным кодом, имеющий то же имя, что и файл с исходным текстом, и расширением .gri.

```

001 101 UG Open Grip
RESP      NUMBER      42570
END       LABEL        2432
M5        LABEL        673
M6        LABEL        691
LOOP3     LABEL        1035
M3        LABEL        1030
LOOP4     LABEL        1560
LOOP5     LABEL        1918
M4        LABEL        1803

0 ERRORS, PROGRAM = 2437, DATA = 42758
INTERACTIVE LINK FILE

=====

*** 1 GRIP PROGRAM COMPILED WITHOUT ERROR

=====

<RETURN>

```

Рис. 4. Компилирование файла программы

После компиляции выполняется заключительный этап – линкование, который состоит в построении исполняемого модуля из объектного файла. Для линкования следует выбрать третий пункт меню. В результате в папке появляется исполняемый файл программы, имеющий то же имя, что и объектный файл, но с расширением .grx.

2. СОЗДАНИЕ ПАНЕЛЕЙ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ЗАПУСКА ПРОГРАММ

Любая панель инструментов определяется в Unigraphics как внешний текстовый файл с расширением .tbr, который содержит раздел описания заголовка панели инструментов и собственно раздел описания кнопок панели.

Чтобы создать панель инструментов, откройте в текстовом редакторе «Блокнот» файлы lopatka.tbr и disk.tbr, находящиеся в папке «startup», измените пути для файлов с расширениями .bmp и .grx. Например, замените указанные пути: E:\Program\EDS\Work\bitmaps\ и E:\Program\EDS\Work\ на необходимые для продолжения работы.

Ниже приведены тексты программ для создания панелей инструментов. Панель инструментов, создаваемая файлом lopatka.tbr, имеет название «Лопатки ГТД». Каждая кнопка имеет универсальный идентификатор BUTTON, который определяет всплывающую подсказку (она появляется в момент наведения указателя мыши на кнопку панели инструментов). Оператор LABEL определяет текст всплывающей подсказки. Оператор BITMAP для изображения кнопки. В нём указывается путь к группе растровых bmp-файлов. И описание выполняемого этой кнопкой действия ACTION. Текст данных файлов приведён ниже.

1. Для дисков ГТД и их элементов:

```
TITLE Диски ГТД
VERSION 170
```

```
BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM
LABEL Построить упрощенный диск
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\disk.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\disk.grx
```

```
BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_1
LABEL Вырезать паз типа ласточкин хвост
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\paz_lastochka.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\paz_lastochka.grx
```

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_2
LABEL Вырезать паз ёлочного типа
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\paz_elka.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\paz_elka.grx

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_3
LABEL Вырезать пазы во всех дисках
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\paz_all.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\paz_all.grx

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_4
LABEL Построить лабиринтное уплотнение
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\labirint.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\labirint.grx

2. Для лопаток ГТД и их элементов:

TITLE Лопатки ГТД
VERSION 170

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_5
LABEL Построить хвостовик типа ласточкин хвост
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\lastochka.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\last_xvost.grx

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_6
LABEL Построить хвостовик ёлочного типа
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\elka.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\elka_xvost.grx

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_7
LABEL Построить перо лопатки компрессора
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\komppero.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\kompressor_pero.grx

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_8
LABEL Построить перо лопатки турбины
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\turbpero.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\turbina_pero.grx

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_9
LABEL Построить лопатку компрессора
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\komplolopatka.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\kompressor_lopatka.grx

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_10
LABEL Построить лопатку турбины
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\turblopatka.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\turbina_lopatka.grx

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_11
LABEL Построить все лопатки компрессора
BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\kompprotchka.bmp
ACTION E:\Program\EDS\Work\kompressor_protchka.grx

BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM_12

LABEL Построить все лопатки турбины

BITMAP E:\Program\EDS\Work\bitmaps\turbprotochka.bmp

ACTION E:\Program\EDS\Work\turbina_protchka.grx

Окончательно панели инструментов для запуска программ будут выглядеть следующим образом (рис. 5):

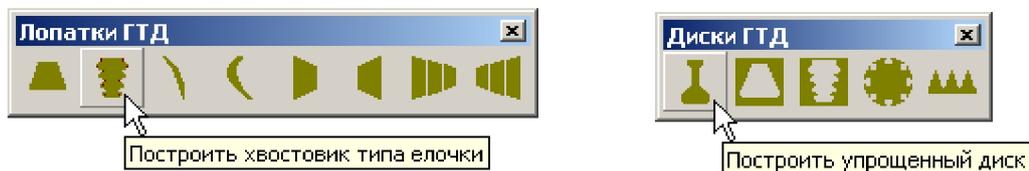
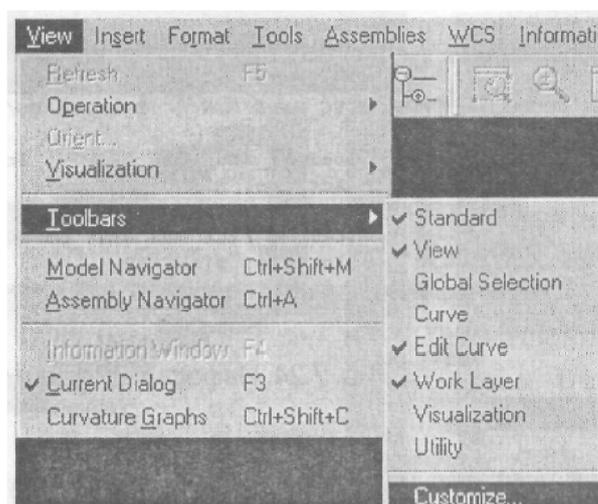


Рис. 5. Вид панелей инструментов для запуска программ

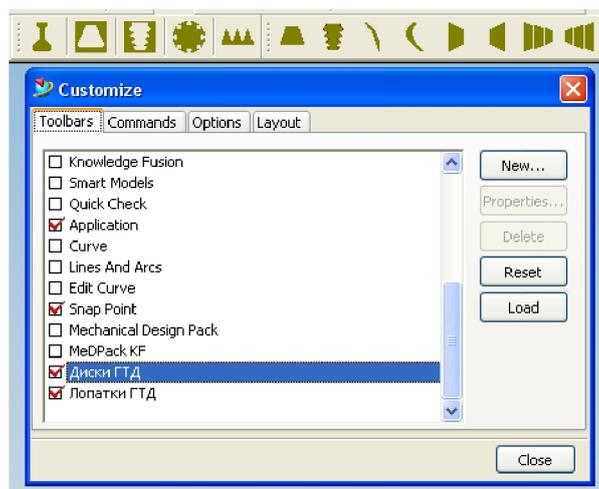
Для загрузки и активизации, созданных панелей инструментов в меню Unigraphics, необходимо выбрать следующие пункты меню: **Tools** → **Customize** (для Unigraphics NX 3.0), **View** → **Toolbars** → **Customize** (для Unigraphics NX) (рис. 6).



a



б



в

Рис. 6. Размещение панелей инструментов: а)- активизация панелей через меню для Unigraphics NX 3.0; б)- активизация панелей через меню для Unigraphics NX; в) - окно для загрузки панелей

В предложенном диалоговом окне (рис. 6в) нажать кнопку «Load» и выбрать загружаемые файлы панелей инструментов (loratka.tbr и disk.tbr). В списке всех имеющихся в системе панелей инструментов появятся названия новых загружаемых панелей. При таком способе загрузки панели инструментов будут исчезать при каждом новом запуске Unigraphics и их придется каждый раз включать снова, как описано выше. Чтобы не делать этого необходимо вписать их в перечень автоматически загружающихся элементов панелей инструментов.

Для того чтобы пользовательская панель инструментов автоматически загружалась при каждом запуске Unigraphics в файл «custom_dirs.dat», находящийся в каталоге \ugii\menus, который расположен в базовой папке программы, включите путь к каталогу, в котором располагается папка, содержащая файлы с пользовательскими панелями инструментов (loratka.tbr и disk.tbr). Обратите внимание, что необходимо указать путь к папке, где лежат файлы .tbr, а не к самим файлам. Ниже представлен фрагмент файла custom_dirs.dat с изменением для автоматической загрузки панелей:

```
#                               Customers should feel free to edit this file. #
#####
#                               Customer modifications can follow on here #
D:\Work\Metod_UG\Ready
```

3. СОЗДАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

3.1. Построение параметрической модели упрощенного диска

После запуска Unigraphics и активизации панелей приступаем к построению выбранной трёхмерной модели. Для этого выполняется следующая последовательность действий.

1. Нажимаем на значок диска на панели инструментов (рис. 7).

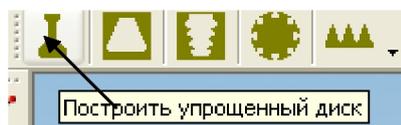


Рис. 7. Выбор пункта меню «Диск»

2. На экране появится окно для ввода геометрических параметров левой половины диска. Пример значений вводимых параметров для левой половины сечения диска приведён на рис. 9, где:

нижний радиус ступицы	$R_{1Л}$
толщина ступицы	$S_{1Л}$
верхний радиус ступицы	$R_{2Л}$
толщина ступицы	$S_{2Л}$
нижний радиус полотна	$R_{3Л}$
толщина полотна	$S_{3Л}$
верхний радиус полотна	$R_{4Л}$
толщина полотна	$S_{4Л}$
нижний радиус обода	$R_{5Л}$
толщина обода	$S_{5Л}$
верхний радиус обода	$R_{6Л}$
толщина обода	$S_{6Л}$

Геометрические параметры и характерное сечение упрощенного диска показаны на рис. 8.

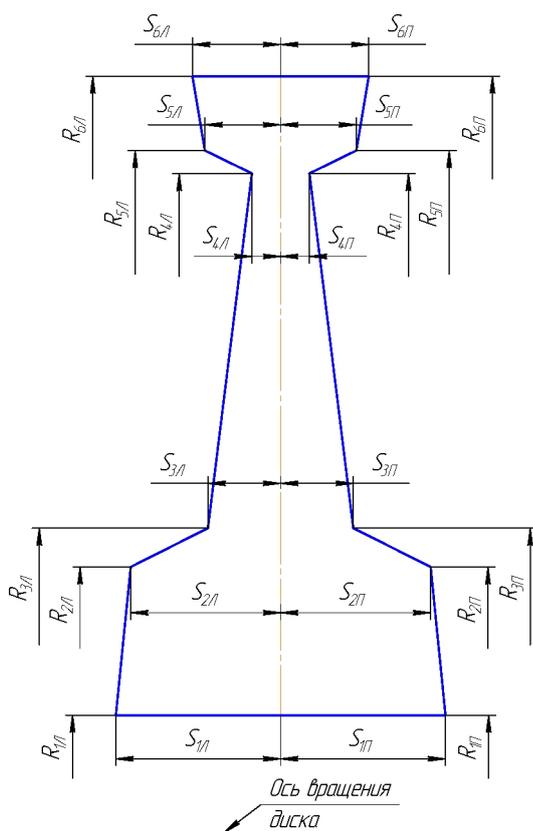


Рис. 8. Сечение диска рабочего колеса

Нижний рад-с ступицы	<input type="text" value="15.0000"/>
Толщина ступицы	<input type="text" value="30.0000"/>
Верх-й рад-с ступицы	<input type="text" value="40.0000"/>
Толщина ступицы	<input type="text" value="30.0000"/>
Нижний рад-с полотна	<input type="text" value="45.0000"/>
Толщина полотна	<input type="text" value="15.0000"/>
Верх-й рад-с полотна	<input type="text" value="90.0000"/>
Толщина полотна	<input type="text" value="10.0000"/>
Нижний радиус обода	<input type="text" value="95.0000"/>
Толщина обода	<input type="text" value="15.0000"/>
Верхний радиус обода	<input type="text" value="110.0000"/>
Толщина обода	<input type="text" value="15.0000"/>
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Back"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Рис. 9. Окно для ввода геометрических параметров диска

При вводе параметров, в правом нижнем углу основного окна Unigraphics появляется подсказка (рис. 10).

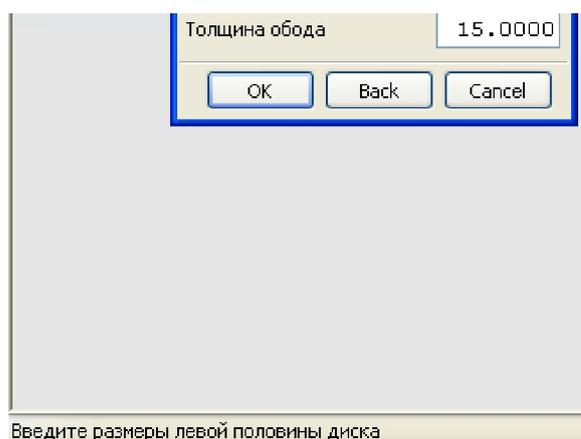


Рис. 10. Вид части экрана с текстовой подсказкой

После ввода параметров нажмите ОК.

3. После следует аналогичный ввод геометрических параметров правой половины диска (рис. 8). Нижний индекс «п». После ввода параметров нажимаем ОК и на экране появляется модель диска (рис. 11).

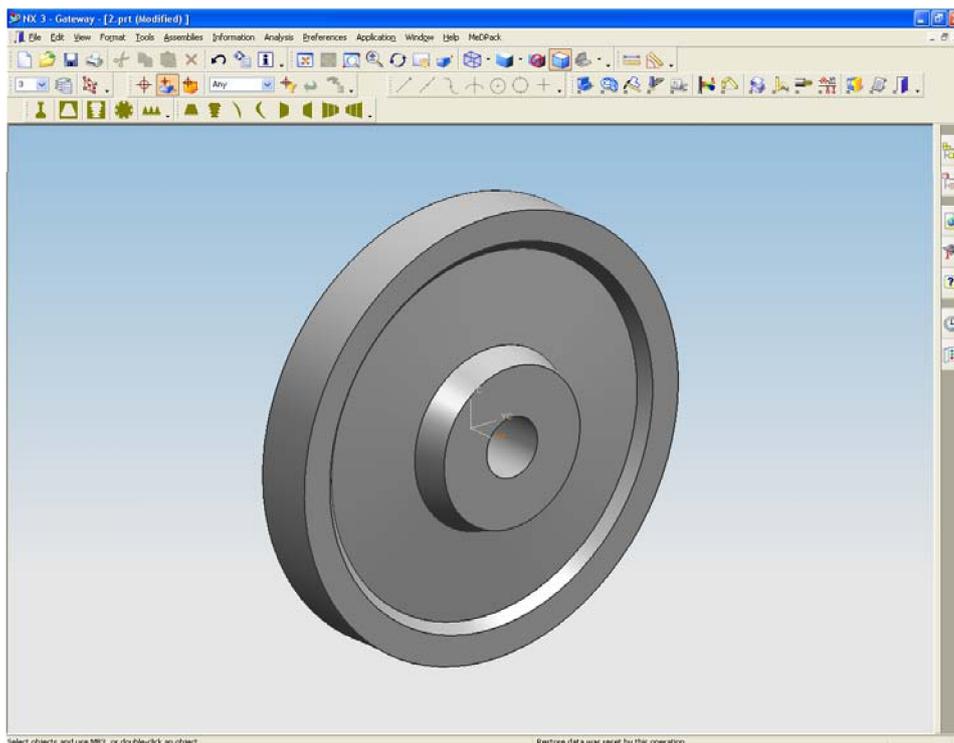


Рис. 11. Модель диска рабочего колеса

3.2.Создание пазов в диске типа «ласточкин хвост»

Эта программа выполняется только после выполнения предыдущей программы построения диска. Чтобы создать паз типа «ласточкин хвост», осуществляется следующая последовательность действий.

1. Нажимаем кнопку с подсказкой «Вырезать паз типа ласточкин хвост» на панели инструментов (рис. 12).

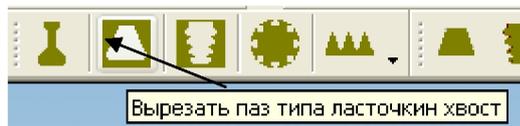


Рис. 12. Выбор пункта меню «Вырезать паз»

2. В появившемся окне (рис. 13) курсором выбирается диск.

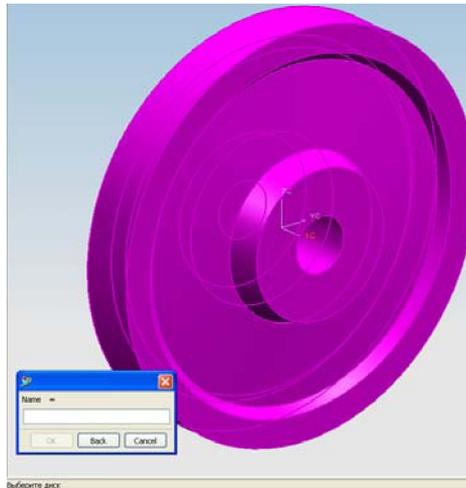


Рис. 13. Диалоговое окно выбора диска

3. После выбора диска на экране появится следующее окно (рис. 14):

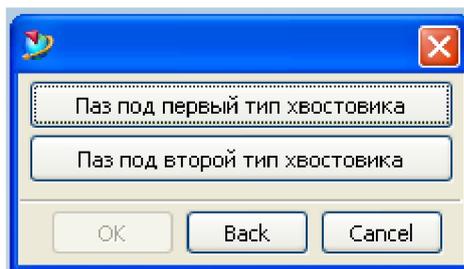


Рис. 14. Меню выбора типа паза

В окне выбираются пазы нужного типа. Оба типа используемых хвостовиков представлены на рис. 15.

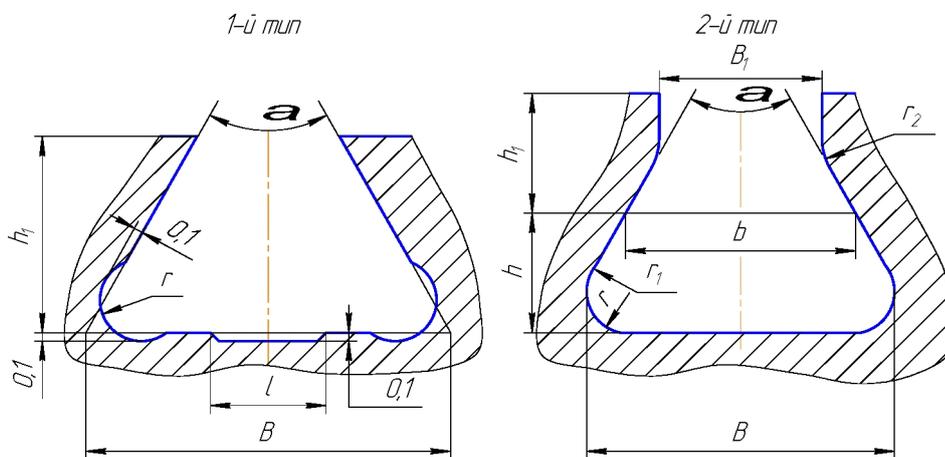


Рис. 15. Схема нормального сечения паза под хвостовик типа «ласточкин хвост»

4. После выбора типа паза для хвостовика на экране появится следующее окно (рис. 16), предназначенное для ввода геометрических параметров хвостовика:

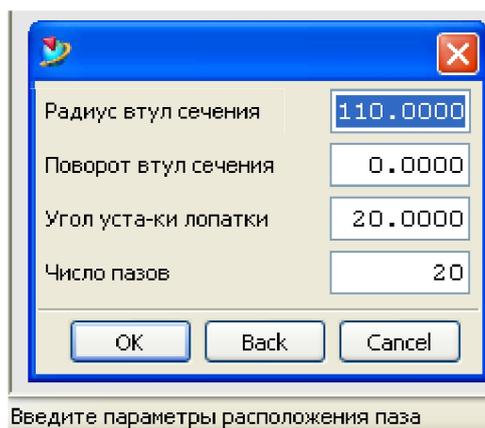


Рис. 16. Окно для ввода параметров расположения пазов

В окне для ввода параметров радиус втулочного сечения указывается для нормального втулочного сечения пера лопатки, для которой делается паз. Углы поворота втулочного сечения – GF и угол установки лопатки – γ показаны на рис. 17. После ввода параметров нажмите ОК.

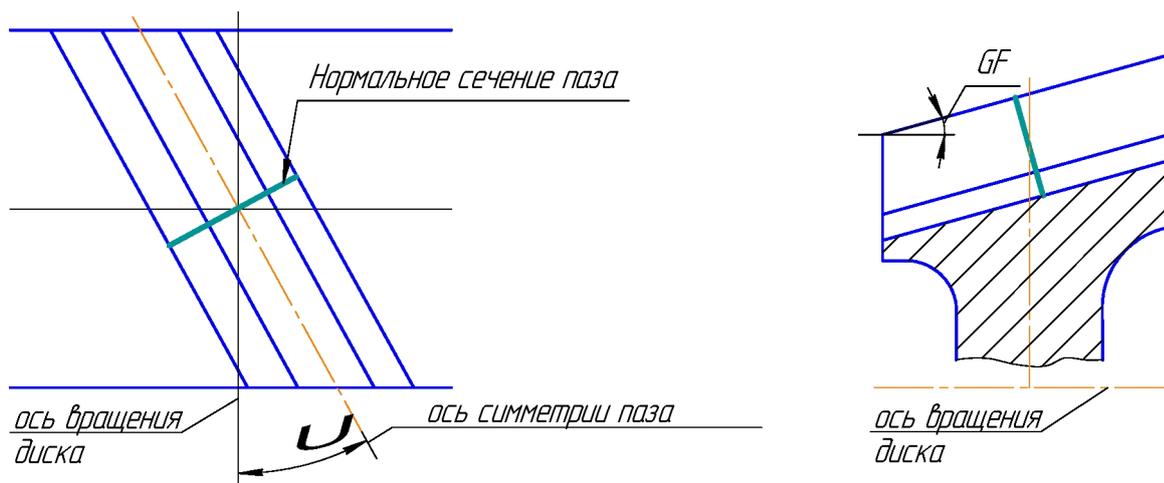


Рис. 17. Схема расположения паза в диске

5. В появившемся окне (рис. 18) выбирается угол клина – α , соответствующий типу хвостовика, приведённому на рис. 15.



а

б

Рис. 18. Меню выбора угла клина: а – для паза под первый тип хвостовика; б – для паза под второй тип хвостовика

6. Следующим шагом выбирается стандартное значение ширины паза (рис. 19).

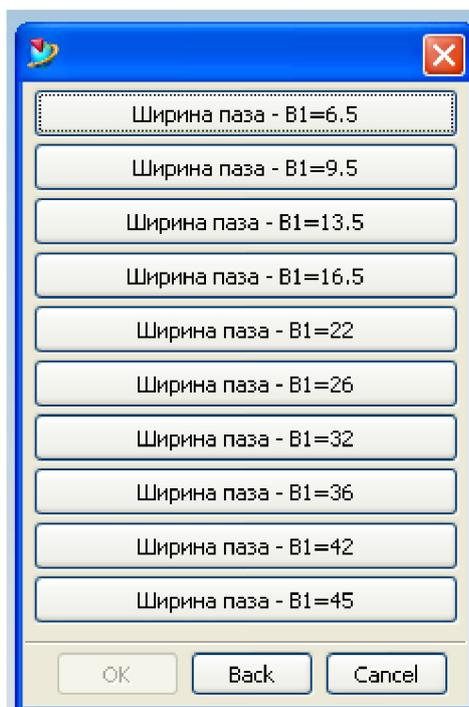


Рис. 19. Меню выбора ширины паза

7. В результате, после нажатия клавиши ОК получается модель диска с пазами типа «ласточкин хвост» (рис. 20).

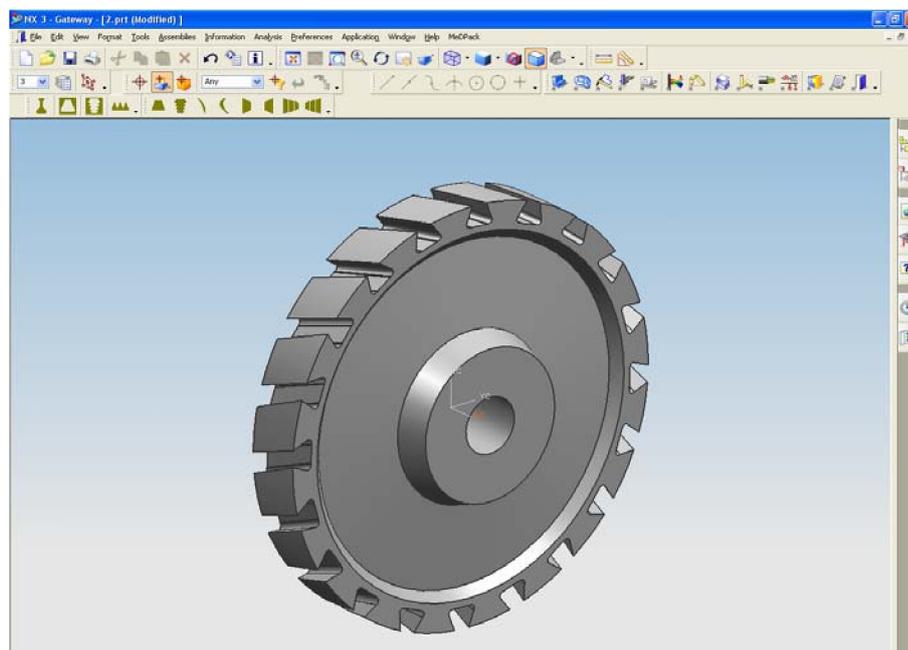


Рис. 20. Модель диска с пазами «ласточкин хвост»

3.3. Создание пазов в диске елочного типа

Подобно предыдущей программе, эта программа выполняется после построения диска.

1. Нажимаем кнопку с подсказкой «Вырезать паз типа елочки» на панели инструментов (рис. 21).



Рис. 21. Выбор пункта меню

2. В появившемся диалоговом окне (рис. 13) курсором выбирается диск.
3. После выбора диска необходимо заполнить появившееся на экране меню с параметрами расположения паза в диске (рис. 22).

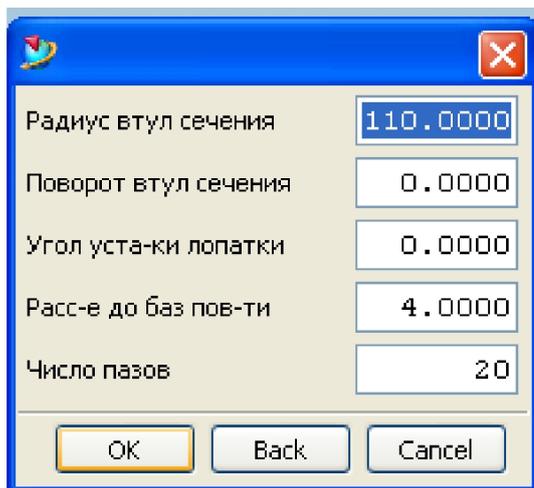


Рис. 22. Окно для ввода параметров расположения пазов

Радиус втулочного сечения, поворот втулочного сечения, угол установки лопатки задаются так же, как и для паза типа «ласточкин хвост» (рис. 17). Отличие состоит в указании параметра «Расстояние до базовой поверхности». Этот параметр определяет вертикальное расположение базовой плоскости паза относительно подошвы построенной удлинённой ножки. После ввода всех параметров нажмите ОК. В следующем окне должны вводиться параметры, определяющие геометрию самого паза (рис. 23). Стандартные углы геометрии паза приведены на рис. 24: φ – угол, определяющий клиновидность паза; γ – угол, определяющий клиновидность зуба; β – угол установки контактной поверхности зуба.

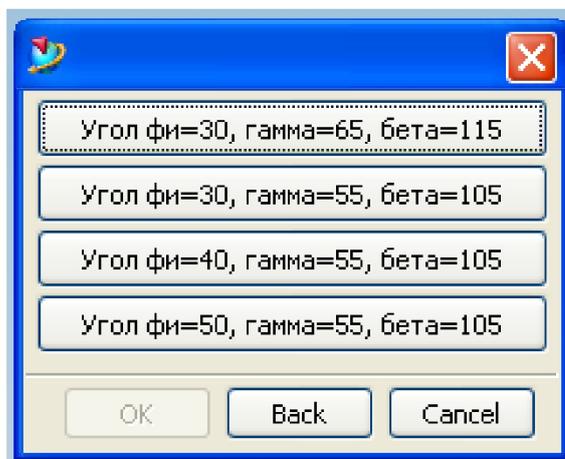


Рис. 23. Меню выбора варианта угловых размеров паза

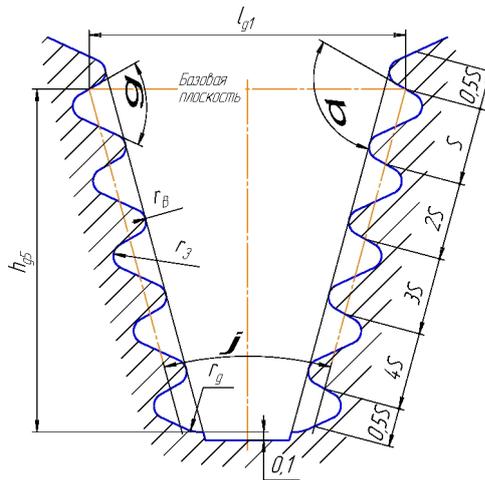


Рис. 24. Схема нормального сечения паза под хвостовик ёлочного типа

Кроме того, из рис. 24 и ОСТ 1 10975-73 /5/ определяются следующие параметры в нормальном сечении: h_{GS} – высота паза; l_{G1} – ширина паза в базовой плоскости; S – шаг зубьев; r_3 – радиус вершины зуба; r_B – радиус впадин; r_G – радиус сопряжения между поверхностью зуба и основанием паза.

После ввода угловых размеров паза необходимо ввести шаг зубьев S (рис. 25).

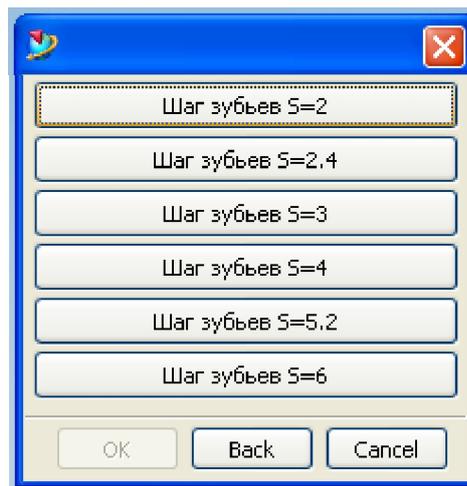


Рис. 25. Меню выбора шага зубьев

4. Далее задаётся значение длины базовой плоскости l_{G1} (рис. 26).

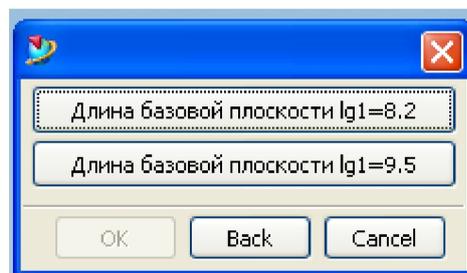


Рис. 26. Меню выбора длины базовой плоскости

5. После выбора длины базовой плоскости, необходимо определить: сколько и какие пары зубьев входят в зацепление (рис. 27). Справа указаны номера пар зубьев.

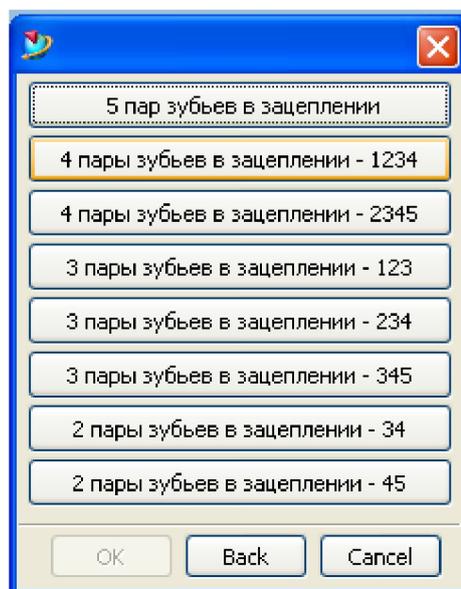


Рис. 27. Меню выбора варианта зацепления

6. В результате получается модель диска с пазами ёлочного типа (рис. 28).

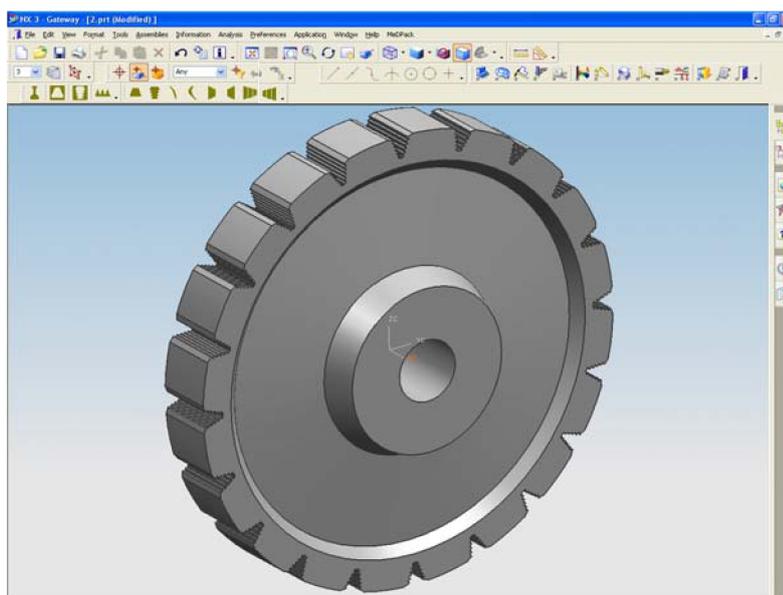


Рис. 28. Модель диска с пазами ёлочного типа

3.4. Построение параметрической модели лабиринтного уплотнения

1. Нажимаем кнопку с подсказкой «Построить лабиринтное уплотнение» на панели инструментов (рис. 29).

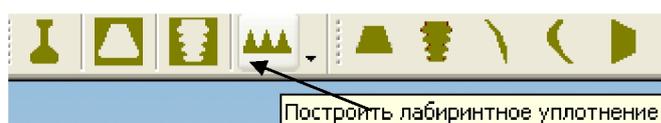


Рис. 29. Выбор пункта меню «Построить лабиринтное уплотнение»

2. В появившемся окне (рис.30) вводятся геометрические параметры уплотнения: R_1 – внутренний радиус лабиринта; R_2 – внешний радиус лабиринта; α – угол гребешка; γ – угол наклона гребешка; S – шаг между гребешками; r – радиус скругления. Данные параметры показаны на рис. 31.

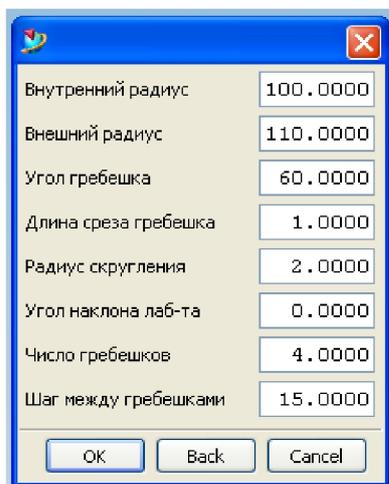


Рис. 30. Окно для ввода геометрических параметров лабиринта

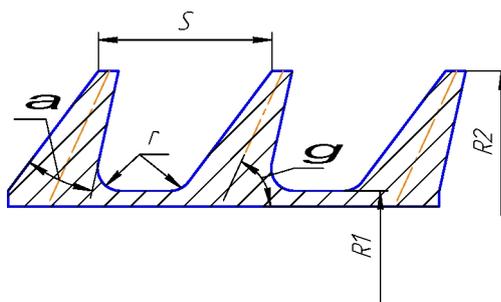


Рис. 31. Схема лабиринтного уплотнения

3. В результате получаем модель лабиринтного уплотнения (рис. 32).

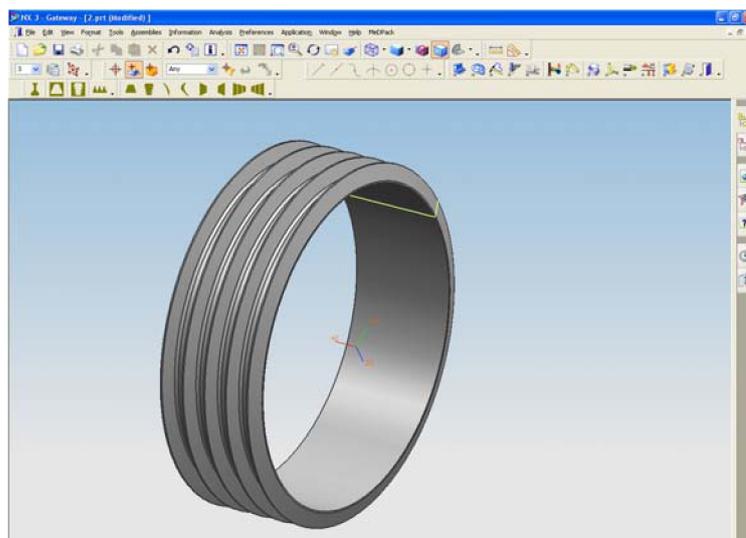


Рис. 32. Модель лабиринтного уплотнения

3.5. Построение параметрической модели хвостовика типа «ласточкин хвост»

1. Нажимаем кнопку с подсказкой «Построить хвостовик типа ласточкин хвост» на панели инструментов (рис. 33).

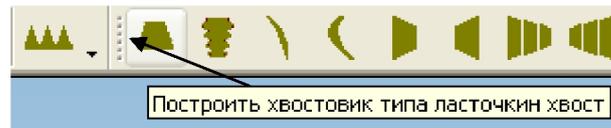


Рис. 33. Выбор пункта меню «Построить хвостовик типа ласточкин хвост»

2. Вводим геометрические параметры хвостовика в появившемся окне (рис. 34).

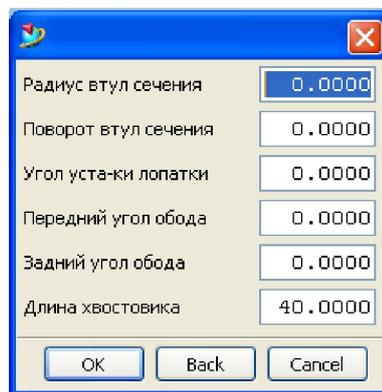


Рис. 34. Окно для ввода геометрических параметров хвостовика

Радиус втулочного сечения, поворот втулочного сечения, угол установки лопатки определяются так же, как и для паза в диске (см. п. 3.2), передний угол обода $\gamma_{об.пер.}$ и задний угол обода $\gamma_{об.зад.}$ показаны на рис. 35.

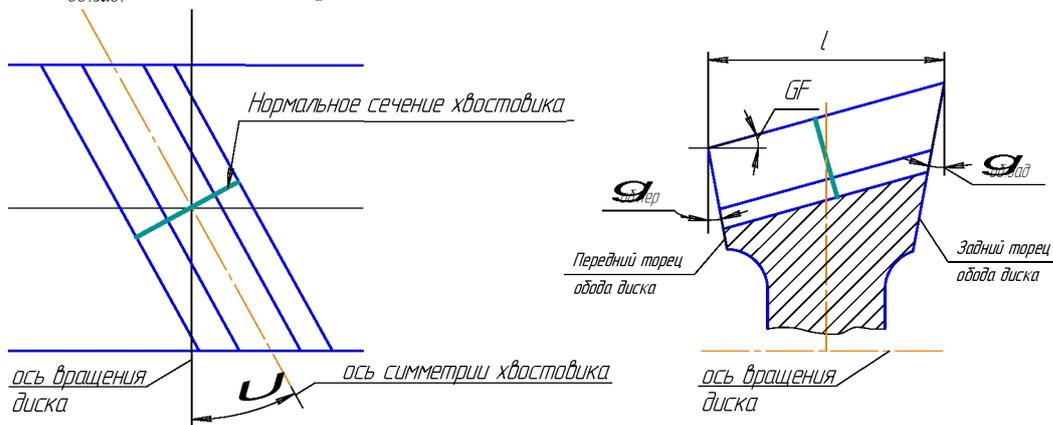


Рис. 35. Схема установки хвостовика типа «ласточкин хвост»

3. Далее выбираем тип хвостовика (рис. 36).

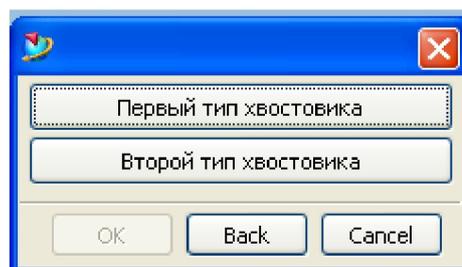


Рис. 36. Меню выбора типа хвостовика

Хвостовики первого и второго типов с необходимыми для построения размерами показаны на рис. 37.

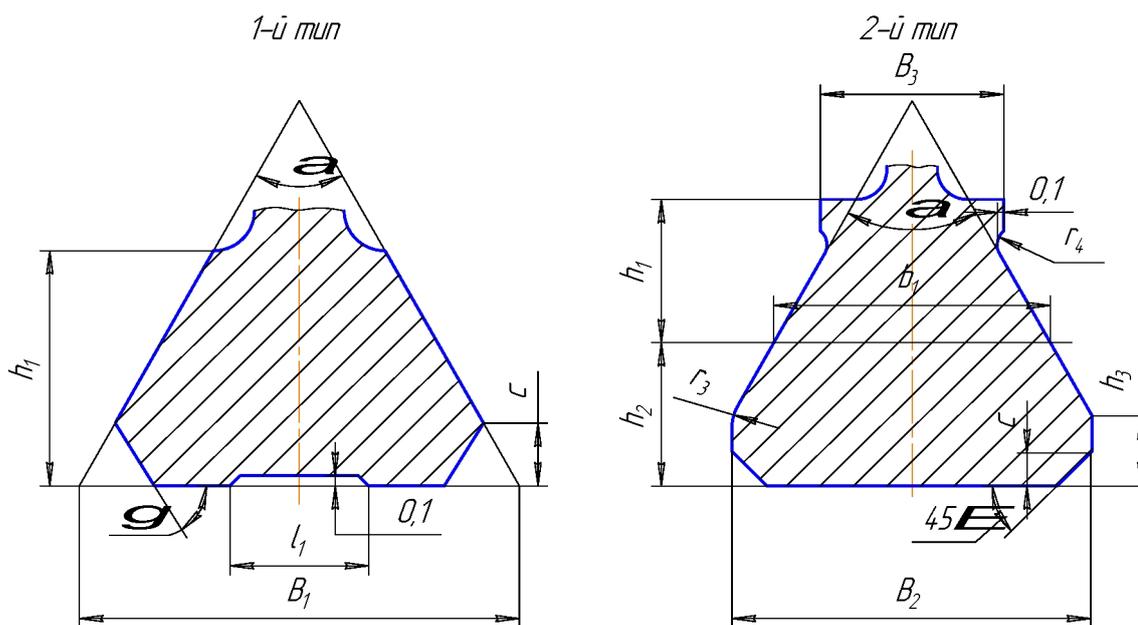


Рис. 37. Схема сечения хвостовика типа «ласточкин хвост»

Все параметры хвостовика на схеме соответствуют ОСТ 1.11031-73 [5]. Следующие два меню необходимы для выбора угла клина α и ширины b_1 хвостовика (рис. 38). Эти операции аналогичны операциям, выполняемым при построении паза типа «ласточкин хвост» в диске (см. п. 3.2).

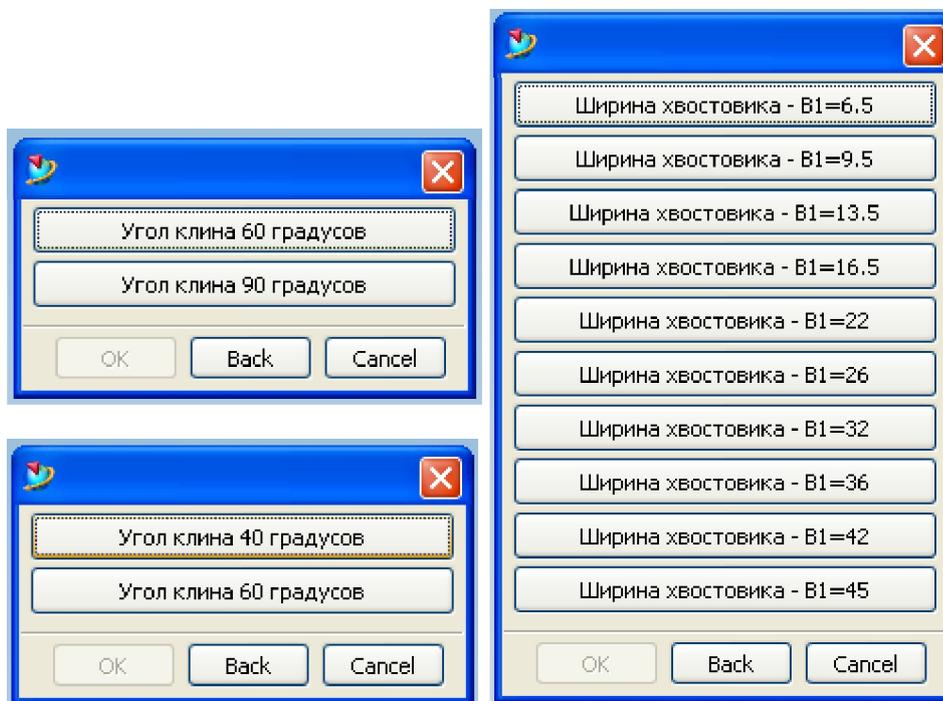


Рис. 38. Меню выбора угла клина и ширины хвостовика

4. В результате получаем модель хвостовика типа «ласточкин хвост» (рис. 39).

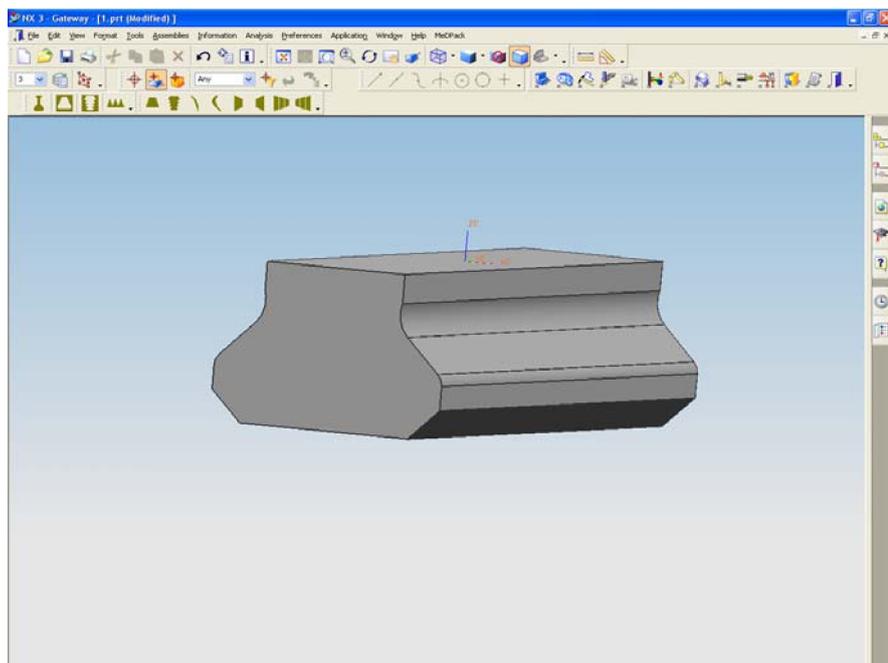


Рис. 39. Модель хвостовика типа «ласточкин хвост»

3.6. Построение параметрической модели хвостовика ёлочного типа

1. Нажимаем кнопку с подсказкой «Построить хвостовик типа ёлочки» на панели инструментов (рис. 40).

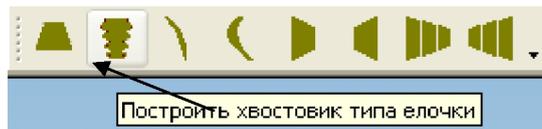


Рис. 40. Выбор пункта меню «Построить хвостовик типа елочка»

2. После нажатия кнопки на экране появится меню для выбора геометрических параметров хвостовика (рис. 41).

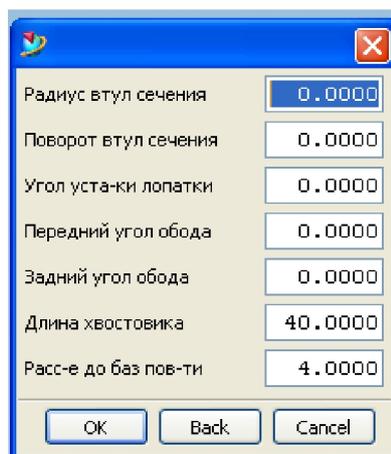


Рис. 41. Окно для ввода параметров расположения пазов

Радиус втулочного сечения, угол поворота втулочного сечения, угол установки лопатки, передний угол обода, задний угол обода и длина хвостовика определяются и задаются так

же, как и для хвостовика типа «ласточкин хвост» (см. п. 3.5 и рис. 35). Под расстоянием до базовой плоскости или поверхности понимается параметр, определяющий вертикальное расположение базовой плоскости хвостовика относительно подошвы построенной удлинённой ножки.

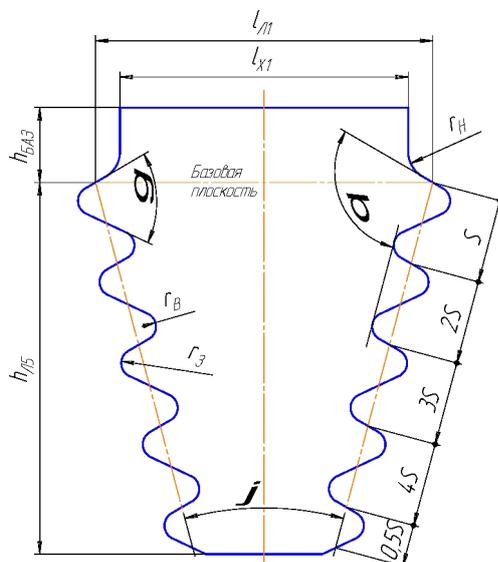


Рис. 42. Схема хвостовика ёлочного типа

Из рис. 42, согласно ОСТ 1 10975-73 /5/, определяем следующие параметры геометрии хвостовика в нормальном сечении: $h_{Л5}$ – высота хвостовика; $l_{Л1}$ – ширина хвостовика в базовой плоскости; $l_{Х1}$ – ширина удлинённой ножки; S – шаг зубьев; r_3 – радиус вершины зуба; r_B – радиус впадин; r_H – радиус сопряжения между хвостовиком и удлинённой ножкой; φ – угол, определяющий клиновидность хвостовика; γ – угол, определяющий клиновидность зуба; β – угол установки контактной поверхности зуба.

Следующие меню определяют непосредственно геометрию самого хвостовика: выбор угловых размеров, выбор значения шага зубьев S , выбор длины базовой плоскости $l_{Л1}$ (рис. 42), то есть те же параметры, которые использовались при построении паза ёлочного типа в диске (см. п. 3.3).

3. В итоге получаем модель хвостовика ёлочного типа (рис. 43).

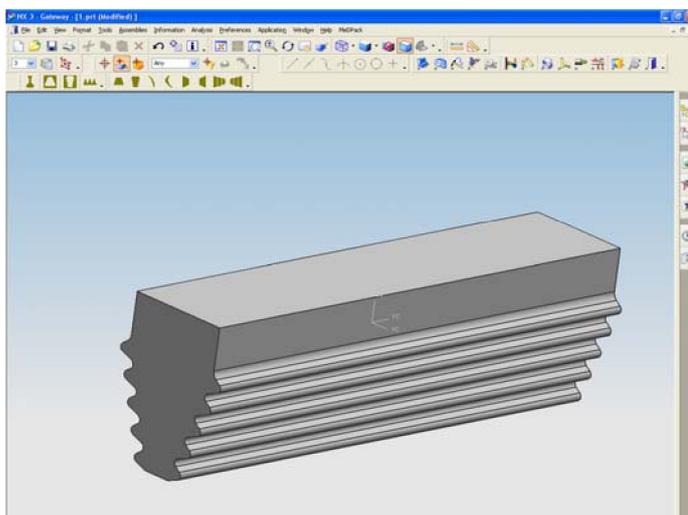


Рис. 43. Модель хвостовика ёлочного типа

3.7. Построение параметрических моделей пера лопатки для компрессора и турбины

В качестве примера рассмотрим только построение параметрической модели пера лопатки компрессора, поскольку модель пера лопатки турбины строится аналогично. Порядок построения модели лопатки турбины такой же, как и для лопатки компрессора. Единственное отличие заключается в типе хвостовика. Для турбинных лопаток используется только хвостовик ёлочного типа, а параметры хвостовика задаются так же, как и в случае построения отдельной модели по п. 3.6.

1. Нажимаем кнопку с подсказкой «Построить перо лопатки компрессора» на панели инструментов (рис. 44).

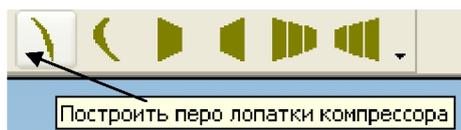


Рис. 44. Выбор пункта меню «Построить перо лопатки компрессора»

2. На экране появится меню для ввода размеров пера лопатки (рис. 45).

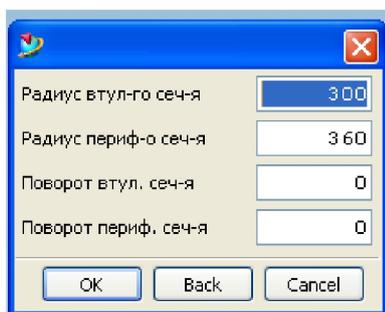


Рис. 45. Диалоговое окно для ввода размеров пера лопатки

На рис. 46 показаны параметры, необходимые для построения пера лопатки: RZF – радиус втулочного сечения; RZP – радиус периферийного сечения; GF – угол поворота втулочного сечения; GP – угол поворота периферийного сечения.

Построение профиля пера выполняется по методике, изложенной в п. 1. Координаты точек профиля содержатся в ранее сформированном файле `kompresor_koordinat.txt`.

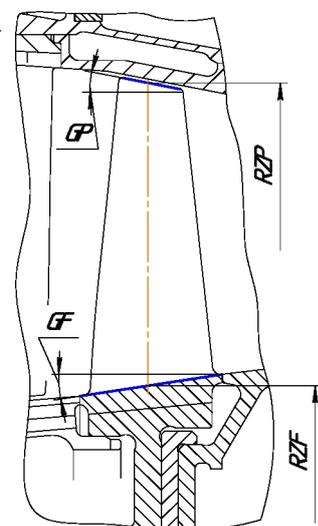


Рис. 46. Параметры проточной части, необходимые для построения модели пера

3. После ввода параметров получаем модель пера лопатки (рис. 47).

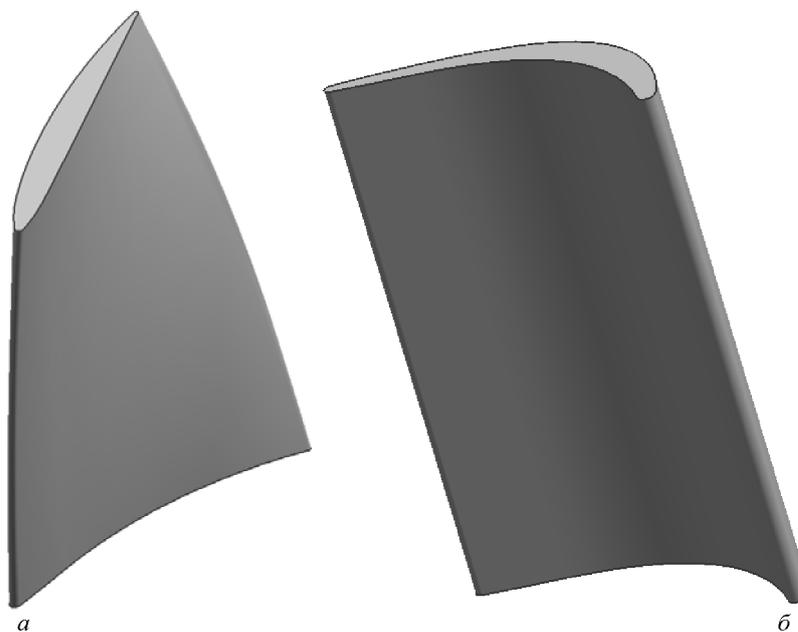


Рис. 47. Модели перьев лопаток: а – перо лопатки компрессора, б – перо лопатки турбины

3.8. Построение параметрической модели лопатки компрессора

1. Нажимаем кнопку с подсказкой «Построить лопатку компрессора» на панели инструментов (рис. 48).

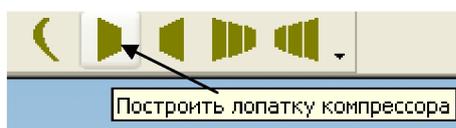


Рис. 48. Выбор пункта меню «Построить перо лопатки компрессора»

2. Задаём параметры пера (рис. 49).

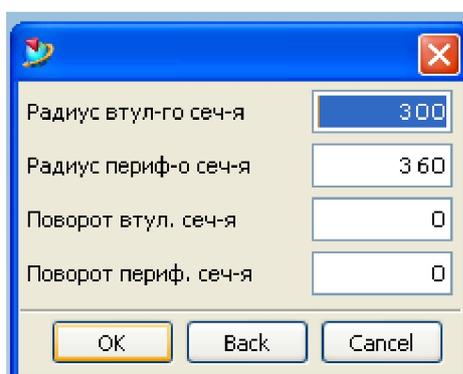


Рис. 49. Диалоговое окно для ввода размеров пера лопатки

В следующее меню вводим смещение границ трактовой поверхности хвостовика от границ профиля втулочного сечения (рис. 50): смещение от входной кромки – D_1 , смещение

от входной кромки – D_2 , смещение от контура спинки – D_C , смещение от контура корытца – D_K . Обозначения геометрических параметров приведены на рис. 51.

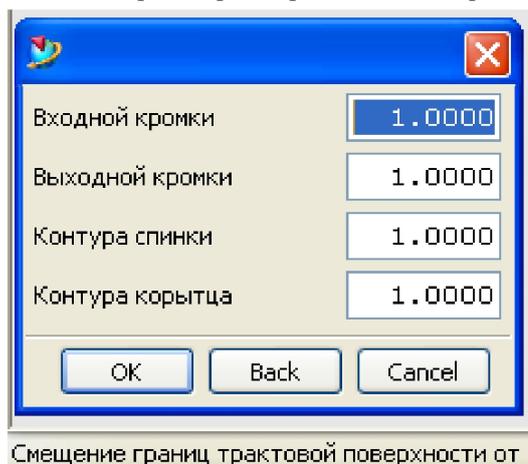


Рис. 50. Окно для ввода смещений границ тракторной поверхности хвостовика от границ профиля втулочного сечения

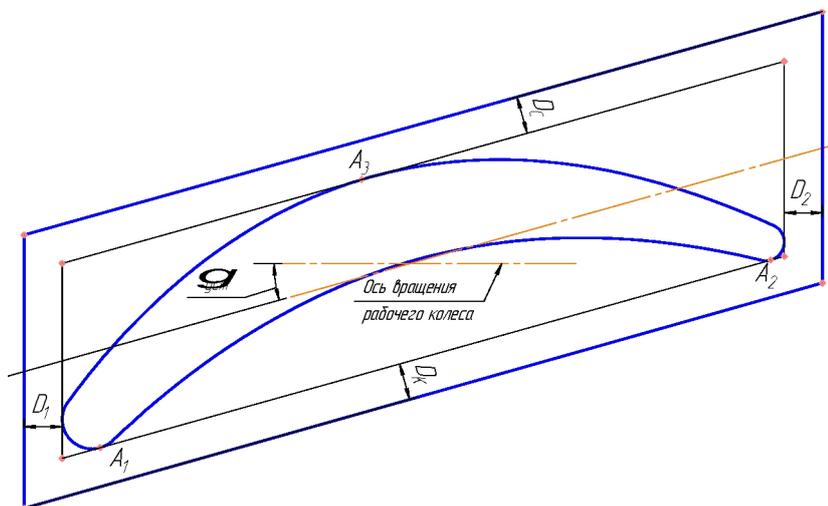


Рис. 51. Смещение границ тракторной поверхности хвостовика от границ профиля втулочного сечения

3. В следующем меню (рис. 52) указывается наличие у лопатки полки и ножки и выбирается тип хвостовика.

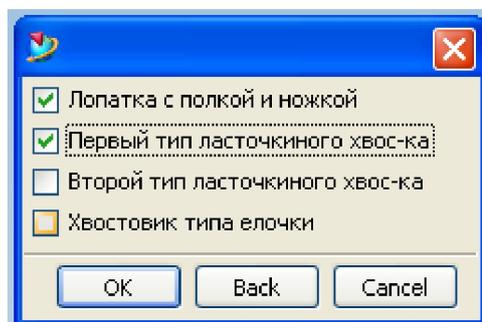


Рис. 52. Меню выбора варианта построения лопатки

После этого вводятся размеры полки хвостовика (рис. 53): выступ полки вперед – $lp01$; выступ полки назад – $lp02$; толщина полки – hp ; длина скоса полки – ls ; угол скоса полки (угол наклона участка ls относительно оси вращения рабочего колеса); радиус скоса полки – r_s ; зазор между полками – δ .

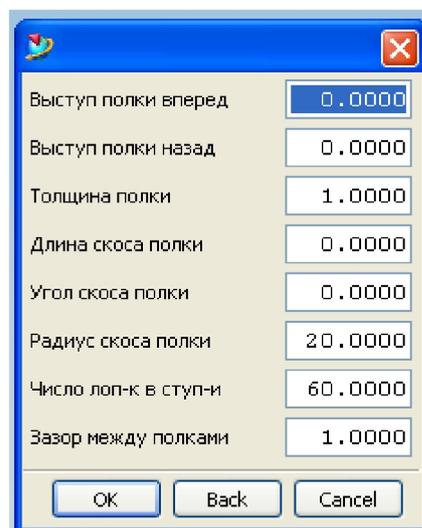


Рис. 53. Окно для ввода размеров тракторной полки

Все вводимые размеры полки показаны на рис. 54.

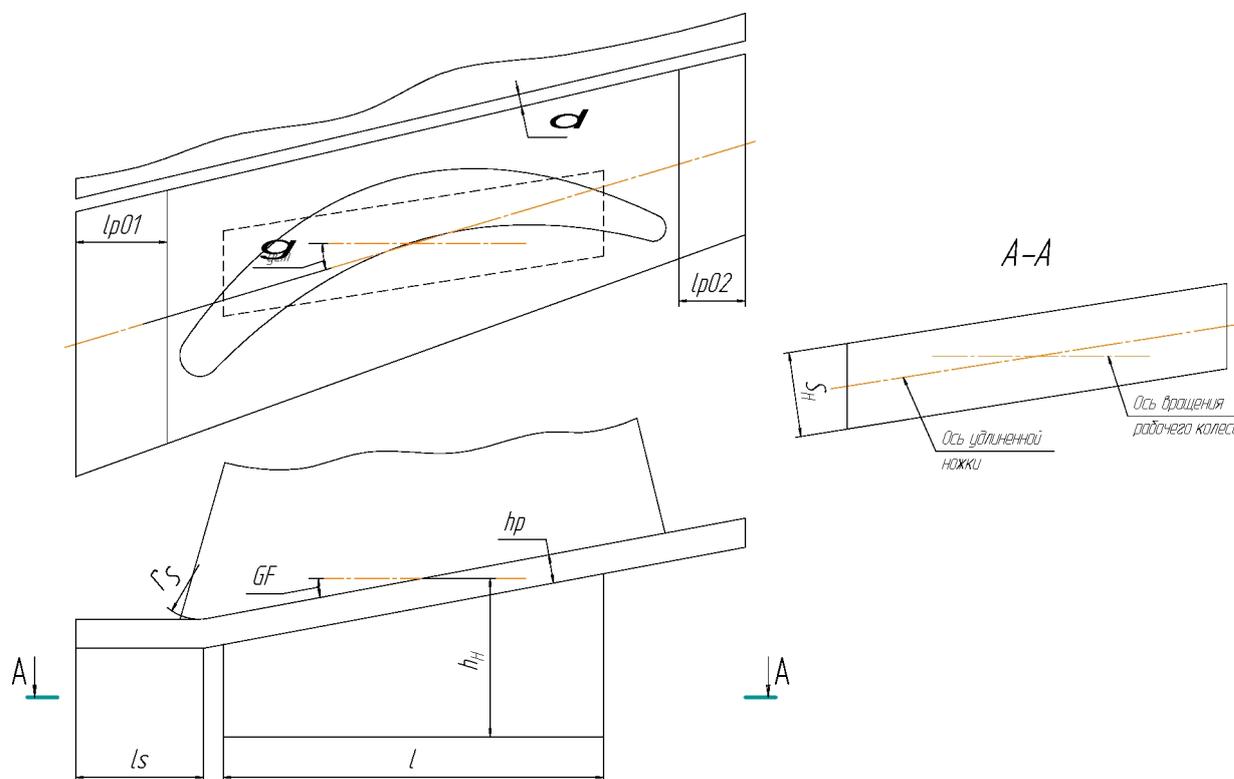


Рис. 54. Параметры, определяющие геометрию тракторной полки

4. В следующем меню (рис. 55) задаются параметры ножки и хвостовика. Параметры хвостовика задаются аналогично п. 3.5. Обозначение параметров: высота ножки – h_H ; длина ножки – l ; ширина ножки – S_H , показаны на рис. 54.

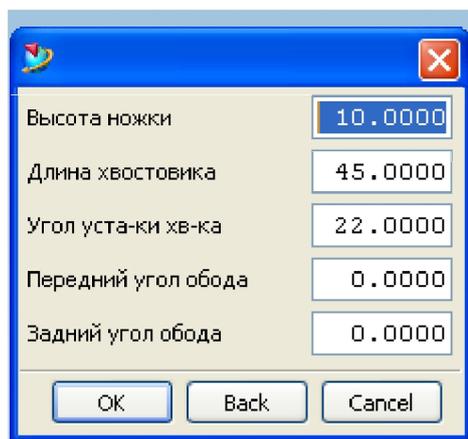


Рис. 55. Окно для ввода размеров удлиненной ножки с хвостовиком

5. В следующих меню вводится угол клина и ширина хвостовика, как описано в п. 3.5.
6. В результате получаем модель лопатки компрессора (рис. 56) или турбины (рис. 57).

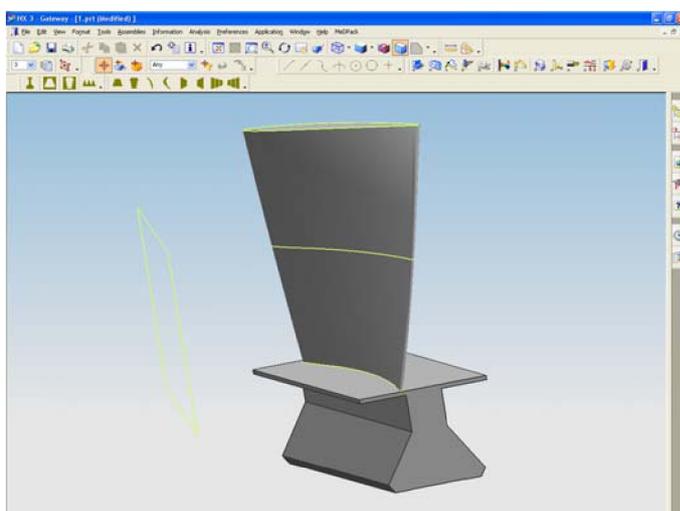


Рис. 56. Модель лопатки компрессора

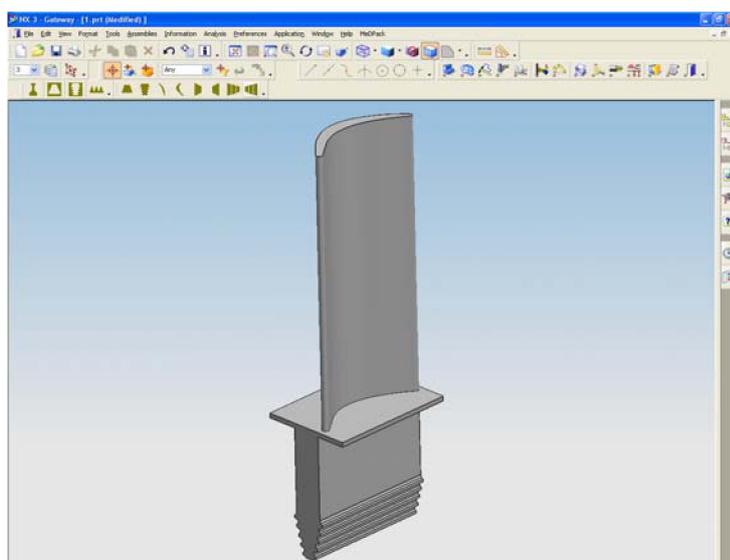


Рис. 57. Модель лопатки турбины

3.9. Построение параметрических моделей лопаток проточной части компрессора или турбины

В качестве примера рассмотрим построение лопаток проточной части компрессора. Построение параметрических моделей лопаток проточной части турбины аналогично построению соответствующих параметрических моделей для компрессора.

1. Выбрать соответствующий пункт меню (рис. 58).

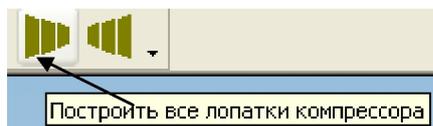


Рис. 58. Выбор пункта меню «Построить все лопатки компрессора»

2. Задаётся номер ступени (рис. 59). При выборе номера ступени, программа считывает данные из соответствующей строки файла `kompressor_prototchka.txt`.

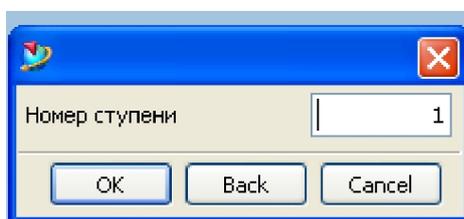


Рис. 59. Окно для ввода номера ступени

3. При построении параметрических моделей лопаток проточной части используются данные, полученные при профилировании проточной части в курсовом проекте по дисциплине «Теория и расчет лопаточных машин». В текстовый файл `kompressor_prototchka.txt` записываются:

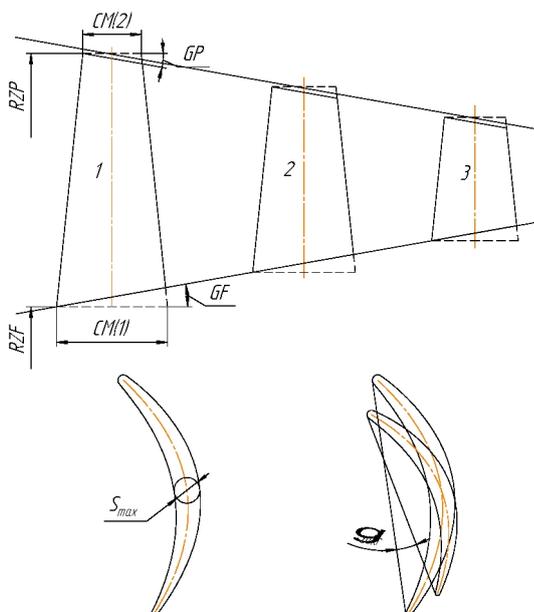


Рис. 60. Схема определения параметров лопаток проточной части компрессора

- количество ступеней;
- параметры лопатки 1-й ступени: радиус втулочного сечения, радиус периферийного сечения, ширина втулочного сечения, ширина периферийного сечения, максимальная тол-

щина втулочного сечения, максимальная толщина периферийного сечения, угол закрутки лопатки

- параметры лопатки 2-й ступени и т.д.

Проточная часть получается масштабированием лопаток по основным геометрическим параметрам (рис. 60).

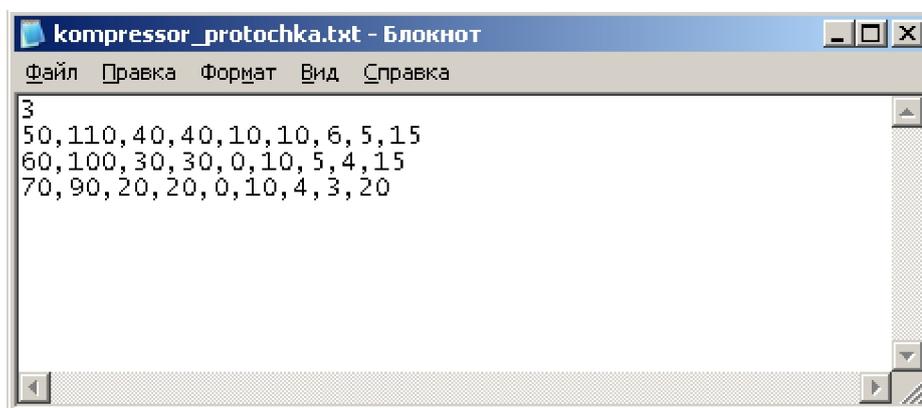


Рис. 61. Текстовый файл с параметрами лопаток проточной части

В данном примере число ступеней 3. После выбора номера ступени, строится рабочая лопатка, порядок построения описан в пункте 3.8. Лопатки 3-х ступеней показаны на рис. 62.

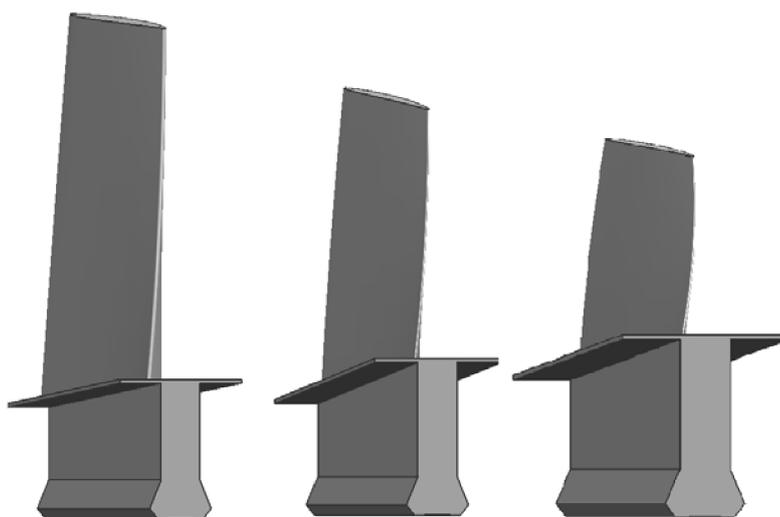


Рис. 62. Модели лопаток проточной части компрессора

Заключение

В методических указаниях рассмотрены алгоритмы построения трехмерных параметрических моделей диска с пазами елочного типа и «ласточкин хвост», соответствующих им хвостовиков лопаток, отдельно перьев компрессорной и турбинной лопатки и этих же лопаток совместно с хвостовиком, кольца лабиринтного уплотнения. Описаны процессы установки программы Unigraphics и создания вспомогательного меню.

Разработка трехмерных параметрических моделей и практического руководства к их использованию существенно упростит многие однотипные операции, повторяемые при курсовом и дипломном проектировании. Вместе с тем необходимо признать, что разработанные модели являются сильно упрощенными и могут быть рекомендованы к применению только на первоначальном этапе проектирования. Дальнейшим этапом работы может и должно стать расширение имеющейся базы трехмерных параметрических моделей, которая бы учитывала все многообразие конструкций дисков (наличие разного рода отверстий, шлицев, элементов крепления дефлектора, конструкций осевых фиксаторов и т.д.) и лопаток (бандажные и антивибрационные полки, охлаждаемые и подогреваемые лопатки, составные лопатки). Необходимо создание базы данных статорных лопаток компрессора и турбины. На основании созданной базы моделей будет возможно осуществлять газодинамическое и прочностное проектирование как отдельных элементов двигателя, так и его узлов.

Данные методические указания могут рассматриваться как начало большой и перспективной работы по формированию базы трехмерных твердотельных параметрических моделей основных деталей двигателя и продолжение дальнейшего совершенствования базовой инженерной подготовки на кафедре конструкции и проектирования ДЛА СГАУ.

Список литературы

1. Ануров Ю.М., Старцев Н.И. Рабочие и сборочные чертежи ГТД: Учеб. пособие. – Самара: СГАУ, 1999.
2. Конструкция и проектирование авиационных ГТД / Под общ. ред. Д.В. Хронина. - М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.
3. Мамаев Б.И., Мусаткин Н.Ф., Аронов Б.М. Газодинамическое проектирование осевых турбин авиационных ГТД: Учеб. пособие. – Куйбышев: КуАИ, 1984. – 70с.
4. Документация по Unigraphics NX 3.0.
5. Старцев Н.И. Конструирование лопаток и дисков ГТД: Учеб. пособие. – Куйбышев: КуАИ, 1980. – 45 с.
6. Краснов М.В., Чигишев Ю.В. Unigraphics для профессионалов. - М.: Лори, 2004. – 320 с.

Учебное издание

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ЭЛЕМЕНТОВ И ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Методические указания

Составители: *Ермаков Александр Иванович, Виноградов Александр Сергеевич,
Курушин Степан Александрович*

Технический редактор *С. К. Бочкарев*
Редакторская обработка *Н. В. Прядильникова*
Корректорская обработка *Т. К. Кретинина, И. И. Проломова*
Верстка *С. А. Курушин, А. С. Виноградов*
Доверстка *А. А. Нечитайло*

Подписано в печать 05.12.06. Формат 60×841/8
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 4,19. Усл. кр.-отг. 4,3. Печ. л. 4,5
Тираж 50 экз. Заказ . ИП-79(1)/2006

Самарский государственный аэрокосмический университет.
443086, Самара, Московское шоссе, 34

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34