

УДК 658.012.011.56

А.О. Ефименко

**ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОРПУСА ТУРБИНЫ ТУРБОКОМПРЕССОРА**

*Сформулированы подходы к моделированию корпуса турбины турбокомпрессора и созданию 3D-модели воздушной полости турбины. Показаны основные преимущества использования компьютерных методов проектирования для создания конструкций турбокомпрессоров.*

**Введение**

Современные системы автоматизированного проектирования позволяют еще на стадии разработки изделия провести анализ изделия на технологичность, собираемость, прочность, определить газодинамические характеристики. Но для проведения инженерного анализа изделия в САЕ-системах необходимы как твердотельные, так и поверхностные электронные модели данного изделия и его элементов. Для улучшения эксплуатационных характеристик турбокомпрессоров целесообразно при проектировании новых моделей применить компьютерные технологии.

Первым шагом в решении этой задачи является создание 3D-моделей деталей турбокомпрессора. Настоящая статья посвящается рассмотрению подходов к построению таких моделей.

**1. Конструктивные особенности турбокомпрессора**

При эксплуатации поршневого двигателя недостатком турбокомпрессора является то, что он при низкой частоте вращения коленчатого вала подает воздуха слишком мало, а при высокой частоте и полной нагрузке – слишком много. Это обуславливает недостаточный крутящий момент двигателя в диапазоне низких частот вращения коленчатого вала и проявляется в медленном его реагировании на изменение нагрузки при переходных процессах. Собственно задержка, так называемый лаг, проявляется во всем диапазоне частот вращения коленчатого вала. Это объясняется отсутствием механической связи ротора турбокомпрессора с коленчатым валом двигателя [3].

Одним из способов уменьшения задержки является снижение инерционности вращающихся частей путем уменьшения их массы. Но создание нескольких опытных образцов турбокомпрессора и проведение их тестирования в условиях производства – достаточно дорогостоящее мероприятие. Поэтому применение компьютерных средств проектирования при разработке опытных образцов турбокомпрессора позволяет снизить затраты [3].

Перед созданием 3D-модели корпуса турбины был проведен анализ функциональных возможностей САД-систем с целью выбора системы, наиболее адекватной решаемой задаче.

**2. Обзор систем автоматизированного проектирования**

Исследования возможностей 3D-моделирования деталей сложных форм проводились в среде систем Pro/Engineer, CATIA, Unigraphics.

Система Pro/Engineer имеет целый набор модулей, позволяющих эффективно воплотить идеи внешнего дизайна в концептуальные трехмерные математические модели конструкции нового изделия.

Система Pro/Engineer обладает следующими достоинствами:

1. Создание конструкции происходит через интеллектуальные объекты (feature), работа проводится не с проекциями объектов типа отверстие, скругление, фаска и т.п., которые выполняются линиями на чертежах, а с реальными объектами. Эти объекты появляются на экране после их задания, что позволяет реально «ощущать» конструкцию, а следовательно, повышает качество проектирования.

2. Система является ассоциативной, т.е. взаимоувязанной на всех стадиях проектирования. Пользователь имеет возможность создать модель детали, ее чертеж, оснастку для ее изготовления, внести при необходимости соответствующие изменения, что будет автоматически отражено на всех стадиях разработки.

3. Поскольку система построена на единой базе, это позволяет быстро и качественно решать очень сложные задачи без сбоев.

4. Система является параметрической, пользователь может устанавливать зависимости между различными размерами, объектами, управлять геометрией через создание программы и т.п.

Ядро Pro/Engineer использует технологию Proven Technology, основанную на граничных представлениях и предъявляющую жесткие требования к проектируемой геометрии (геометрия должна быть определена однозначно). В системе определяется жесткое пространственное положение всех точек, образующих кривых и элементов, по которым, как по основе, создаются поверхности и твердые тела.

Система CATIA располагает развитыми функциональными возможностями для проектирования конструкций сложной формы.

Модуль Part Design обеспечивает быстрое и удобное создание конструкций средствами твердотельного моделирования. При необходимости в качестве элемента обрезки применяются поверхности. Обеспечивается быстрый и удобный переход между поверхностным и твердотельным моделированием. Замкнутые в объеме поверхности могут быть превращены в твердотельную геометрию. Поверхность или совокупность поверхностей могут служить основой для получения твердого тела выдавливанием по их форме с заданной толщиной. Существует возможность по твердотельной модели извлечь поверхности формы.

Для создания более сложной геометрии применяются средства поверхностного моделирования. Модули *Wireframe and Surface design* и *Free Style* позволяют контролировать поверхности различной сложности и управлять гладкостью поверхности. *Generative Shape Design* изменяет форму поверхности, определяя усилие и направление деформации. *Automotive class A* позволяет сглаживать поверхность и выполнять анализ формы, а *Digitized Shape Editor* – работать с данными, полученными от координатно-измерительной машины. По облаку точек модуль автоматически определяет форму поверхности и выполняет построение. Система обеспечивает средства создания кривых на поверхности, получение гладких кривых.

Система *Unigraphics* обеспечивает полный набор современных средств для создания базовой среды и инфраструктуры на предприятии для сквозной компьютерной технологии.

Данная система обладает всеми средствами для построения сложных моделей и обеспечения гладкости формы. Модуль UG/Solid Modeling содержит такие основные функции, как проектирование кривых, эскизов и твердотельных примитивов, базовые операции над твердыми телами, построение твердых тел вращением и переносом контура, булевские операции над твердыми телами, «сшивание» твердых тел с автоматическим сохранением параметров построения и ассоциативной связи между геометрическими объектами. В модуль входят все функции по просмотру дерева построения модели и редактирования геометрии. Модуль является мощным инструментом гибридного твердотельного моделирования. Он дает возможность работать как с традиционной, так и с параметрической геометрией. Модуль UG/Freeform Modeling реализует функции создания и редактирования NURBS поверхностей сложной формы (аэродинамические поверхности). В зависимости от контекста построения результатом может быть как объемное твердое тело, так и поверхностная модель. Основные функции построения поверхностной модели – линейчатая поверхность с произвольной параметризацией, поверхность на множестве точек, поверхность на сетке кривых, кинематическая поверхность, сопрягающаяся поверхность, поверхность на базе произвольного конического сечения, преобразование листового тела в объемное, поверхность переменной эквидистанты, произвольное скругление по двум множествам поверхностей с последующей автоматической обрезкой и сшиванием, переаппроксимация группы поверхностей одной поверхностью.

При моделировании корпуса турбины наибольшую сложность представляет создание воздуховода (внутренней полости турбины), который представляет собой элемент, состоящий из нескольких переменных сечений, «развернутых» по спирали.

Проанализировав возможности систем автоматизированного проектирования, можно сделать вывод, что проектирование корпуса турбины представляется возможным в любой из вышеперечисленных систем.

В данном случае модели корпуса турбины и его внутренней полости были спроектированы в среде системы Unigraphics. Данная система была выбрана исключительно для выявления ее возможностей при создании трехмерных моделей корпусных деталей турбокомпрессора и передачи электронных моделей в системы анализа.

### 3. Подход к моделированию корпуса турбины

Для определения подходов к моделированию корпуса турбины турбокомпрессора необходимо было решить следующие задачи:

- проанализировать существующую конструкторскую документацию для разработки стратегии моделирования детали;
- выбрать рациональный вариант по созданию внутренней полости турбины как в твердотельном, так и в поверхностном представлении;
- реализовать связь параметров построения модели воздуховода с параметрами модели корпуса турбины.

Так как в большинстве САЕ-систем используется математический аппарат метода конечных элементов, то и модель воздуховода, и модель турбины должны удовлетворять условиям для построения расчетных сеток. Поэтому при разработке стратегии моделирования важная роль отводилась пригодности будущей электронной модели корпуса турбины для проведения различного рода инженерного анализа.

Исходя из анализа возможностей систем автоматизированного проектирования, анализа конструктивных и технологических особенностей турбокомпрессора был разработан метод 3D-моделирования корпуса турбины, который можно сформулировать следующим образом:

1. Создается твердотельная параметрическая модель полости турбины, т. е. воздуховода. Эта модель необходима для трансляции ее в среду систем анализа (газодинамического, прочностного) и для дальнейшего создания связей параметров воздуховода с параметризованной моделью самой турбины. Это позволит сделать гибким процесс создания новых конструкций турбин и модификации старых путем изменения параметров полости турбины, являющейся важным элементом при анализе газодинамических характеристик.

2. Проектируется сам корпус турбины с учетом модели полости и созданных на первом этапе связей между их параметрами.

3. Для завершения проектирования корпуса турбины и получения 3D-модели используется операция вычитания 3D-модели полости из 3D-модели корпуса. В системах автоматизированного проектирования, использующих инструмент параметризации, при выполнении операции вычитания все параметры и связи сохраняются.

4. Для расчета газодинамических, прочностных, тепловых характеристик турбокомпрессора электронные модели через обменные форматы передаются в САЕ-системы.

5. Выполняется корректировка 3D-моделей корпуса турбины и воздуховода после проведения газодинамического анализа по его результатам, откорректированные модели снова передаются на анализ.

6. На завершающем этапе создается ассоциативный чертеж для включения его в комплект конструкторской документации.

При создании опытного образца турбокомпрессора рассматривалась задача улучшения его характеристик с помощью средств компьютерного моделирования и анализа. Метод моделирования турбины разрабатывался с учетом возможности быстрой модификации детали. Так как газодинамические характеристики корпуса турбины играют очень важную роль, построение модели начинается с внутренней полости турбины, что позволяет после создания связей между параметрами модели воздуховода и модели корпуса изменять конструкцию турбины, не прибегая к созданию новой модели.

Обобщенная схема алгоритма моделирования корпуса турбины в системе Unigraphics приведена на рис. 1. Процесс создания модели корпуса турбины состоит из восьми этапов, описанных ниже.

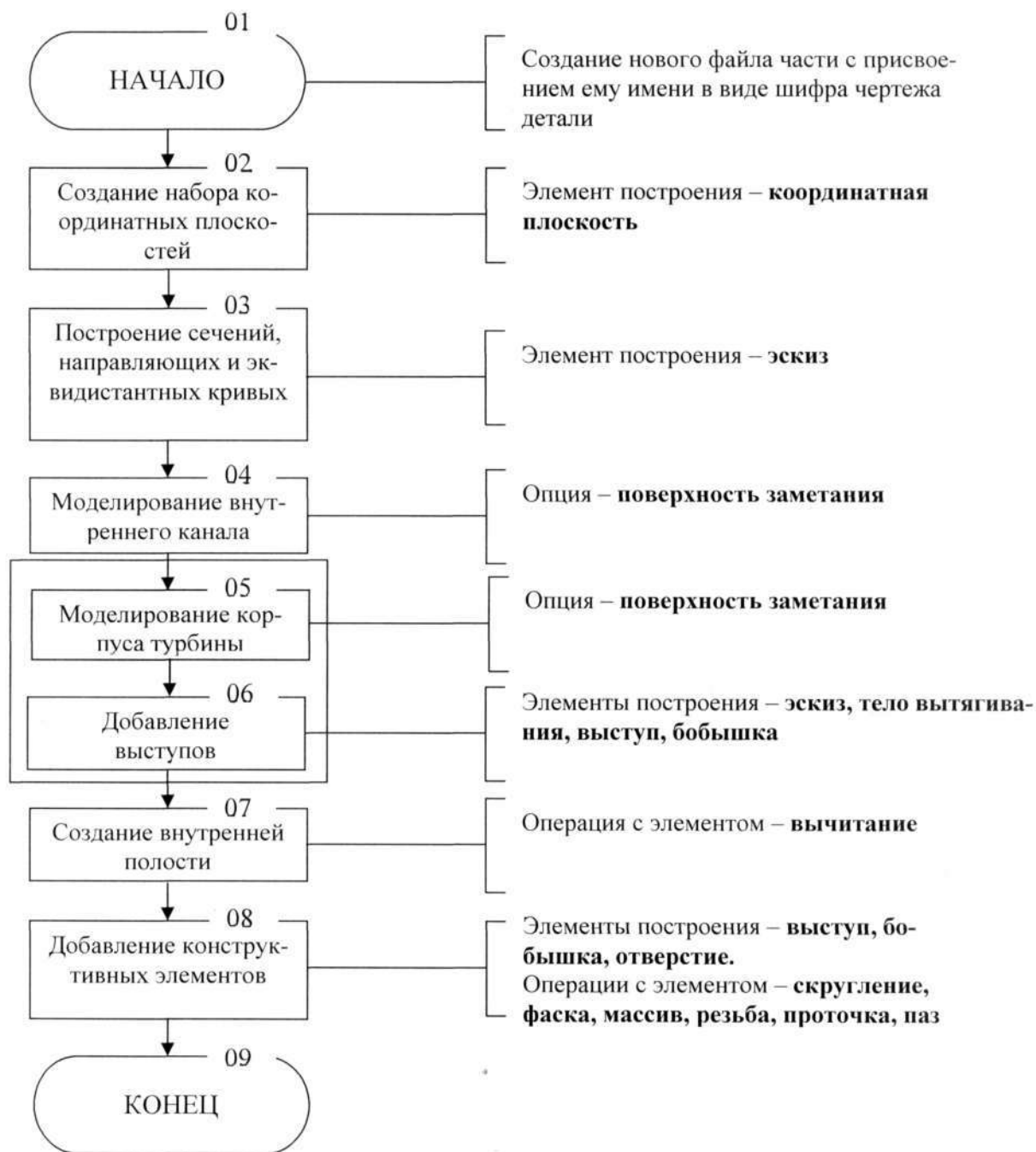


Рис. 1. Алгоритм моделирования корпуса турбины

*Этап 1.* Создание набора координатных плоскостей (рис. 2), предназначенных для дальнейшего построения эскизов сечений канала, по которому проходит воздух.

*Этап 2.* Построение эскизов сечений, направляющих и эквидистантных кривых для выдерживания необходимой толщины стенки. При создании эскизов сечений были выявлены некоторые неточности размеров сечений внутреннего канала на «ручном» чертеже.

*Этап 3.* Моделирование внутреннего канала, приведенного на рис. 2, при помощи команды «заметаемая поверхность», т. е. создание модели объекта по сечениям и направляющим.

*Этап 4.* Моделирование корпуса турбины (рис. 2) при помощи той же команды «заметаемая поверхность».



Рис. 2. Твёрдотельная модель воздуховода и часть корпуса турбины, охватывающая воздуховод

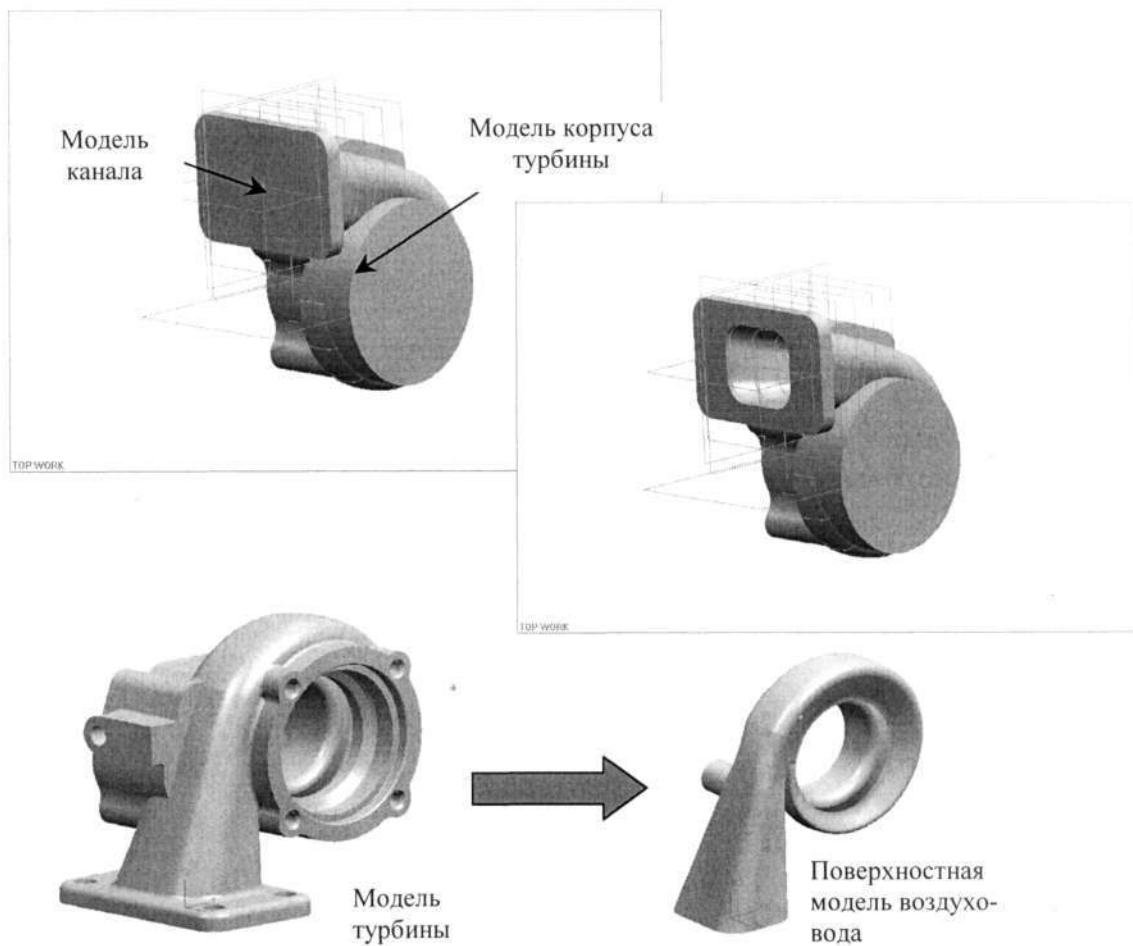


Рис. 3. Модель корпуса турбины с внутренней полостью

*Этап 5.* Добавление выступов с помощью команды «тело вытягивания», т. е. создание модели объекта выдавливанием.

*Этап 6.* Создание внутренней полости корпуса турбины с помощью операции вычитания (рис. 3).

*Этап 7.* Добавление конструктивных элементов, таких как отверстия, пазы, проточки, фаски, скругления, бобышки и резьба методом задания их параметров в диалоговых окнах системы.

*Этап 8.* Создание поверхностной модели воздуховода с помощью опции выделения поверхностей (рис. 3).

### **Заключение**

Из сравнительного анализа систем автоматизированного проектирования следует, что описанный выше метод применим к моделированию конструкций деталей в среде CAD-систем, обладающих подобными функциональными возможностями.

При конструировании и моделировании корпуса турбины турбокомпрессора были обеспечены:

- возможность гибкого изменения параметров воздуховода с последующим изменением всей конструкции детали;
- способы создания поверхностной модели воздуховода с помощью возможности системы Unigraphics.

Окончательная модель корпуса через международные обменные форматы PARASOLID, STEP, IGES, STL была передана в CAE-системы для проведения инженерного анализа конструкции.

Применение современных систем автоматизированного проектирования позволяет:

- в короткие сроки создавать новые конструкции изделия на основе ранее разработанных, используя инструмент параметризации CAD-системы;
- проводить модификацию и усовершенствование деталей исходя из результатов проведенного инженерного анализа;
- снизить затраты на выпуск новых изделий;
- свести к минимуму натурное моделирование конструкций.

### **Список литературы**

1. Степанов Н.В., Голованов А.А. Практический курс пользователя Pro/Engineer 200i/ Под общ. ред. Д.Г. Красковского. – М.: КомпьютерПресс, 2001.
2. Краснов М., Чигишев Ю. Unigraphics для профессионалов – М.: Лори, 2004.
3. Принцип работы турбокомпрессора. <http://gt-parts.com>.

**Поступила 19.01.04**

*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова, 6  
e-mail: efimenkoan@tut.by*

**A.O. Efimenko**

### **TURBOCOMPRESSOR TURBINE BODY MODELING PROBLEMS**

The approaches for modeling the turbocompressor turbine body and creation 3D-models of turbine air cavity are proposed. The main advantages of using computer methods for designing turbocompressor construction are shown.