

В современной практике для расчета и анализа сборки узла применяется метод конечных. Анализ конечно-элементной модели (рис 1) проведем на примере ротора свободной турбины двигателя НК-12СТ, при этом упростив ее (рис 2)

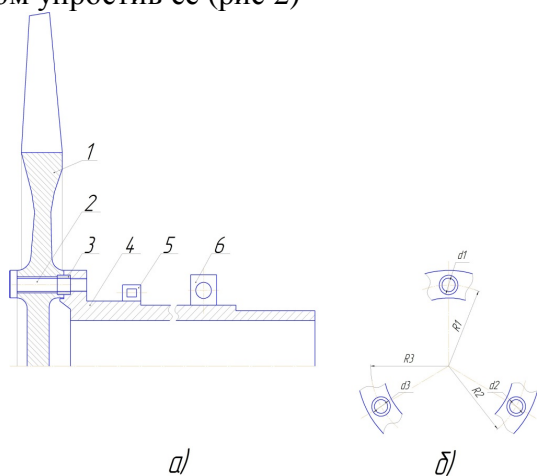


Рис. 2. Ротор: а) Упрощенная модель ротора  
б) изменяемые параметры  
1–диск с лопатками, 2-призонный болт, 3-втулки,  
4-вал, 5-роликовый подшипник,  
6-шариковый подшипник

Поскольку при изготовлении отверстий вала и диска существуют допуски на положение и диаметр основных отверстий.

При установке диска с валом, может наступить такое напряжённо-деформированное состояние призонных болтов, при котором болты будут достаточно сильно напряжены.

В процессе работы, за счет: температурных, центробежных и других нагрузок, напряженно-деформированное состояние возрастет, что приведет к пластическим деформациям, которые и приведут к смещению осей относительно друг друга, вследствие чего возникнет дисбаланс масс, данную величину мы оцениваем с помощью таких показателей как виброскорость и виброускорение которые нормированы для авиационных двигателей. По этим показателям мы устанавливаем допустимый дисбаланс и следовательно допусковое расположение осей.

#### Библиографический список

1. Каплун, А.Б. ANSYS в руках инженера / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. - М.: УРСС, 2003.

УДК 621.452

## РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Фалалеев С.В., Ермаков А.И.

Самарский государственный аэрокосмический университет

### VIRTUAL AVIATION ENGINE DEVELOPMENT

*Falaleev S.V., Ermakov A.I. The report gives the description of the virtual development of the aircraft engines and [energy-converting machinery](#). Modeling of the engine and processes occurring in it are resulted. Virtual Product Developmen, aircraft engines, [energy-converting machinery](#).*

В настоящее время в Самарском государственном аэрокосмическом университете осуществлен переход на более качественную подготовку инженеров-конструкторов по авиационным двигателям. На кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов (КиПДЛА) Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ) реализованы концептуальные направления

развития конструкторской подготовки. Это, в первую очередь, совершенствование методологии конструкторской подготовки специалистов на основе сквозного использования современных информационных технологий, а также реализация концепции новой методологии обучения студентов и переподготовки инженеров путем интеграции в учебном процессе современных информационных технологий

и изучения конструкции авиационных двигателей с использованием их натуральных макетов. По первому направлению в учебном процессе широко внедряется виртуальная разработка двигателей, их узлов и систем. То есть, создание цифровых макетов с моделированием их работы в различных эксплуатационных условиях. По второму направлению осуществляется формирование современного учебного класса на базе созданного на кафедре центра истории авиационных двигателей (ЦИАД), имеющего крупнейшее в России собрание отечественных и зарубежных авиационных двигателей. В классе формируется 25 рабочих мест, оснащенных разработанной уникальной базой графических и текстовых данных по двигателям, в том числе объемными моделями важнейших элементов.

В результате проведенной модернизации учебного процесса удалось найти и реализовать способы улучшения подготовки студентов за счет обучения владению современными инструментами:

- значительное увеличение объема рассматриваемых вопросов при проектировании за счет повышения производительности труда студентов;

- повышение качества курсовых и дипломных проектов (внедрение 3D-моделирования, использование параметрических моделей);

- комплексность рассматриваемых проблем (как в рамках лабораторных работ и курсовой работы, так и в рамках сквозного курсового проекта);

- привлечение экспертов из конструкторских бюро при решении учебных задач на качественно новом уровне с интегрированным использованием CAD/CAE/CAM/PDM-пакетов.

В результате СГАУ становится центром компетенции в области некоторых этапов проектирования аэрокосмических двигателей: формирование конструктивной схемы, проектирование важнейших элементов и систем двигателей (проектирование системы РНА компрессора, моделирование изменения радиальных зазоров в турбокомпрессоре и т.п.). Успехи

связаны во многом с внедрением технологии виртуальной разработки.

В настоящее время ведущие мировые аэрокосмические фирмы планируют следующие этапы внедрения виртуальной разработки технических изделий:

- виртуальное прототипирование и тестирование, многодисциплинарный анализ;

- интегрированная проверка соответствия физических и виртуальных моделей, симуляция полного жизненного цикла;

- виртуальное моделирование процессов и сценариев поведения.

При внедрении виртуальной разработки двигателей на факультете ДИА СГАУ были поставлены цели:

- повышение эффективности процесса создания авиационных двигателей;

- отработка методики компьютерного моделирования двигателей и их узлов;

- реализация на ряде узлов двигателей методики отработки конструкции при совместном исследовании газодинамических, тепловых, прочностных, кинематических и динамических процессов с использованием виртуальных стендов.

Поставленные задачи:

- разработка концепции виртуального двигателя;

- разработка моделей различного уровня для моделирования процессов в двигателях;

- разработка концепции создания параметрической модели конструкции модуля двигателя;

- многодисциплинарный анализ процессов в узлах и системах двигателя;

- виртуальное моделирование происходящих в двигателе и его узлах процессов;

- моделирование процессов изготовления и сборки;

- моделирование регламентных и ремонтных работ.

Для выполнения данных задач были привлечены следующие ресурсы:

- суперкомпьютер «Сергей Королев»;

- CAD/CAE-пакеты;

- PDM-система;

- преподаватели, аспиранты и студенты факультета.

Также был реформирован учебный план подготовки специалистов, нацеленный на создание студентами виртуального двигателя при дипломном проектировании. Наряду с созданием 3D-модели конструкции двигателя студенты глубоко прорабатывают различные аспекты создания двигателя (вариативное проектирование компрессоров и турбин с оценкой структуры потока в отдельных ступенях лопаточных машин и их энергетических параметров; решение сопряженной задачи газодинамики и прочности при расчете лопаточного венца; решение задач оптимизации ступени лопаточной машины с газодинамической точки зрения; многодисциплинарный анализ процессов в элементах, узлах и системах двигателя; оптимизация элементов, узлов и систем двигателя; разработка перспективных конструкций АД и ЭУ и др.).

Внедрение этого позволяет получить следующий эффект:

- реализация методики проектирования двигателей с изготовлением минимального количества опытных изделий;
- оценка риска появления отказа вследствие неблагоприятного соотношения конструктивных, технологических и эксплуатационных отклонений.

В результате внедрения описанной выше технологии удалось существенно преобразовать учебную и научную деятельность.

Результаты многолетней работы на факультете ДИА:

- выход в дипломном проектировании на виртуальный двигатель;
- созданная база 3D-моделей авиационных двигателей и энергетических установок, их узлов и систем;
- виртуальные стенды (газодинамический тракт двигателя; ступени турбины и компрессора; электронная сборка авиационного двигателя; система управления двигателем; система внутренних воздушных потоков; система регулирования радиальных зазоров турбомашин; система регулируемых направляющих аппаратов; клапаны перепуска; реактивное сопло; торцовое контактное уплотнение; реверс тяги; силовые, температурные и вибрационные нагружения конструкций; моделирование работы кинематических и теплонапряженных узлов двигателя; попадание птицы в тракт двигателя; пробивание корпуса оторвавшейся лопаткой; моделирование технологических процессов изготовления деталей);
- повышение уровня подготовки специалистов.

УДК 621.452

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЖЕКТОРА ТУРБИНЫ МИКРОГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Георги Я.<sup>1</sup>, Штаудахер С.<sup>1</sup>, Фалалеев С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт авиационных двигателей, университет Штутгарта, Германия

<sup>2</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет

### **MODELLING OF AN EJECTOR FOR TURBINE AERO ENGINES FOR APPLICATION IN PERFORMANCE SYNTHESIS TOOLS**

*Georgi J., Staudacher S., Falaleev S.V. The Institute of Aircraft Propulsion Systems and the Department of Aircraft Engine Design a cooperating on the development of a micro gas turbine engine in the performance class 395 N. The goal is to improve the efficiency of such small aeroengines. Among other approaches, an ejector configuration is to be examined in this context.*

Институт авиационных двигателей кафедры конструкции и проектирования (ILA) университета Штутгарта (Германия) и двигателей летательных аппаратов