

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И ДИНАМИКИ РАБОЧЕГО КОЛЕСА КОМПРЕССОРА С АНТИВИБРАЦИОННЫМИ ПОЛКАМИ

©2016 Д.А. Елизаров, И.А. Селиванов

Публичное акционерное общество «Кузнецов», г. Самара

THE NUMERICAL STRUCTURAL AND MODAL ANALYSES OF AN AXIAL COMPRESSOR WHEEL WITH SHROUDED BLADES

Elizarov D.A., Selivanov I.A. (PJSC «Kuznetsov», Samara, Russian Federation)

The paper is concerned with development of approaches to numerical structural and modal analyses of an axial compressor wheel with shrouded blades. Much attention is given to the modeling of geometry specifics in detail including blade shrouds interaction. It has been shown that obtained results give a good approach to the experimental data.

В целях исключения повышенных уровней вибронпряжений лопаток последней ступени компрессора среднего давления (КСД) лётных и промышленных двигателей ПАО «Кузнецов» в условиях невозможности полной частотной отстройки от резонансов в конструкцию рабочего колеса (РК) введён пояс антивибрационных полок (АВП). Проблема статической прочности и динамики рабочего колеса данной конструкции представляет задачу значительной сложности, ввиду наличия высокого взаимного влияния диска и рабочих лопаток с поясом упругих связей. На этапе проектирования КСД данная проблема была решена с помощью упрощённых аналитических моделей, представляющих лопатки и пояс упругих связей в виде стержней. Отражая качественную картину поведения конструкции, аналитический метод существенно упрощает реальную геометрию деталей, что вызывает значительные погрешности в количественной оценке напряжённо-деформированного состояния (НДС) и собственных частот и форм колебаний.

Развитие прикладного программного обеспечения (ПО) для численного решения задач динамики и прочности в сочетании с повышением доступности высокопроизводительных вычислений позволяет проводить подробный анализ статической прочности и динамического состояния РК с АВП. Ввиду наследования данной конструкции перспективными изделиями в рамках концепции базового газогенератора, на этапе их проектирования специалистами ОКБ ПАО «Кузнецов» было проведено уточнение динамики и прочности последней ступени КСД с применением метода конечных элементов (МКЭ) в ПК ANSYS.

Созданная модель (рис. 1,а) рабочего колеса включает:

- две рабочие лопатки с поясом АВП;
- сектор диска, составляющий 1/42 его полной окружности;
- сектор диска-лабиринта;
- сектор промежуточного кольца (междисковой проставки);
- детали болтового соединения.

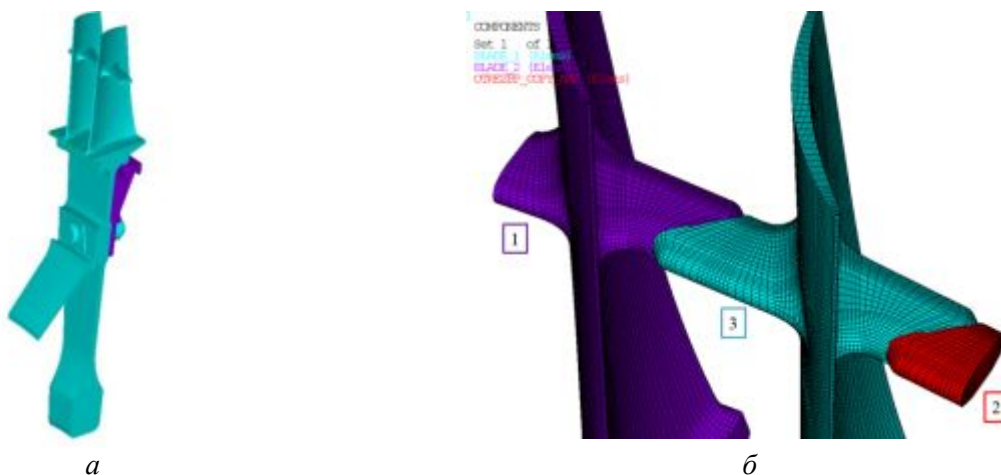


Рис. 1. Конечно-элементная модель рабочего колеса

Характерной особенностью конструкции рабочего колеса является наличие существенного натяга (0,5 мм) по торцовым поверхностям АВП. Сборка РК с таким натягом приводит к существенным деформациям (поворотам) сечений профильной части, что приводит к появлению значительных монтажных напряжений, а также влияет на динамику колеса. Контактное взаимодействие деталей моделируется с помощью контактных пар «поверхность-поверхность» со статическим коэффициентом трения для пары «титан-титан» 0,61.

Учёт натяга произведён геометрически (проникновением сеток). Моделирование выполнено таким образом, что на границе с одной стороны оказывается лопатка с отсечённой частью АВП, с другой — сходственная отсечённая часть АВП другой рабочей лопатки. Кроме того, между ними остаётся целая рабочая лопатка (рис. 1,б).

Контактное взаимодействие вводится между соответствующими поверхностями целой лопатки 3 и лопатки 1, а также между соответствующими поверхностями целой лопатки 3 и фрагмента АВП 2.

На сходственных сечениях сектора диска, колец, а также АВП 1 и 2 вводится условие циклической симметрии с возможностью гармонического распределения перемещений на границах с помощью инструментария Cyclic Sector ПК ANSYS. Данный расчетный приём позволяет производить расчёты собственных частот и форм колебаний РК с учётом узловых диаметров на модели его сектора.

Для обеспечения сходимости решения при наличии сложных контактов с высоким геометрическим проникновением решение задачи происходит в несколько этапов.

1. Учёт затяжки болтового соединения «промежуточное кольцо — диск — лабиринт» и определение контактов по хвостовику рабочей лопатки. Контакт по АВП отключён.

2. Деформированное состояние с отсутствием проникновения контактных поверхностей АВП (подкрутка лопаток), которое достигается с помощью условного момента подкрутки на периферийном сечении лопатки.

3. Включение контактного взаимодействия по АВП с одновременным пошаговым

снятием условного момента подкрутки. В результате расчёта получается НДС рабочего колеса без нагрузок с учётом натяга по АВП (монтажное состояние).

4. Расчёты статической прочности на рассматриваемых режимах работы изделия (проводятся с учётом геометрической нелинейности и с использованием модели материала с билинейным кинематическим упрочнением для описания пластического поведения материала).

Для каждого режима учитываются:

– температурное поле диска и лопатки по результатам тепловых расчётов;

– статические давления на поверхностях диска по результатам гидравлических расчётов;

– газовые силы на профильной части лопатки по результатам газодинамических расчётов проточной части КСД;

– усилия от действия отброшенного трактового кольца в местах контакта с моделируемым диском, по результатам статического расчёта ротора КСД в осесимметричной постановке;

– перемещения на границе модели на промежуточном кольце, по результатам статического расчёта ротора КСД в осесимметричной постановке.

5. Расчёты собственных частот и форм колебаний РК с преднагрузением по результатам статического расчёта для соответствующего режима с помощью процедуры Linear Perturbation ПК ANSYS. Расчёты проводятся для гармонических индексов 0-21, которые для числа секторов 42 и двух лопаток на сектор обеспечивают нахождение собственных форм рабочего колеса с $m = 0...42$.

В результате проведённых расчётов получен ряд результатов:

1) НДС рабочих лопаток и диска рассматриваемой ступени КСД на монтаже и различных рабочих режимах с учётом натяга пояса АВП;

2) Собственные частоты и формы колебаний РК для всех возможных узловых диаметров (0...42) в диапазоне частот вращения ротора, охватывающем возможные резонансы с гармониками номеров от 1 до максимального числа лопаток смежных НА;

Анализ динамики РК выявляет существенную сложность спектра колеса ввиду наличия пояса упругих связей, а также наличия значительного взаимного влияния диска и лопаток.

Результаты указывают на существенную зависимость собственных форм лопаточного венца от количества узловых диаметров поворотно-симметричной системы. Результаты расчёта полной упругой системы позволяют получить спектр рабочего колеса с выделением семейств собственных форм,

перейти к построению резонансных диаграмм, а затем, соотнести распределение относительных напряжений модального анализа и экспериментальных данных.

Полученные численные результаты дают близкое соответствие резонансной диаграммы с экспериментальными данными по тензометрированию лопаток, а также существенное уточнение статического НДС в местах концентрации напряжений по сравнению с результатами, полученными аналитическим методом.

УДК 621.74

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

©2016 Е.М. Добрышкина, Р.А. Вдовин, В.Г. Смелов, А.В. Балякин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

THE ECONOMIC EFFICIENCY ANALYSIS OF USING COMPUTER TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION PLANNING

Dobryshkina E.M., Vdovin R.A., Smelov V.G., Balyakin A.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The paper describes the effectiveness and feasibility of the computer modeling implementation phase in the process of production procuring. As an example have been calculated basic details of economic benefit and the benefit from the use of computer modeling systems of the foundry companies.

В настоящее время в заготовительном производстве двигателестроительных предприятий возникают проблемы, связанные с грубой литейной технологией; наличием объёмной усадки (линейной, объёмной, свободной, затруднённой), которую сложно спрогнозировать из-за отсутствия математического аппарата процесса кристаллизации, неоднородной структурой отливки и т.д. Поэтому основными направлениями повышения эффективности в литейном производстве являются: использование современных САД, САЕ систем компьютерного моделирования; использование этапов автоматизации процессов литья, позволяющих снизить себестоимость продукции при одновременном увеличении производства изделий; применение методик и экспериментально-апробированных алгоритмов, позволяющих прогнозировать усадку и образование литейных дефектов; применение современных

прогрессивных технологий и оборудования в заготовительном производстве, позволяющих в кратчайшие сроки получить первые прототипы.

Авторами для предприятия ПАО Кузнецов был выполнен ряд работ по: компьютерному моделированию напряжённо-деформированного состояния отливок (по номенклатуре предприятия) в процессе заливки и после выбивки модели из формы; моделированию сквозных наследственных остаточных напряжений; моделированию пористости в отливках на макро- и микроуровне; оптимизации параметров технологических процессов литья; оптимизации конструкции литниково-питающей системы.

В качестве предмета исследования были взяты: сопловой аппарат пятой ступени, турбинная лопатка, стержневая турбинная лопатка первой ступени и стержневая турбинная лопатка четвёртой ступени (рис. 1).