

## Пример расчета центробежного компрессора в рамках единого проекта в среде программного комплекса ANSYS Workbench/CFX

Исходные данные:

Рабочее тело - воздух

Количество лопастей - 14

Частота вращения крыльчатки компрессора - 4000 об/мин

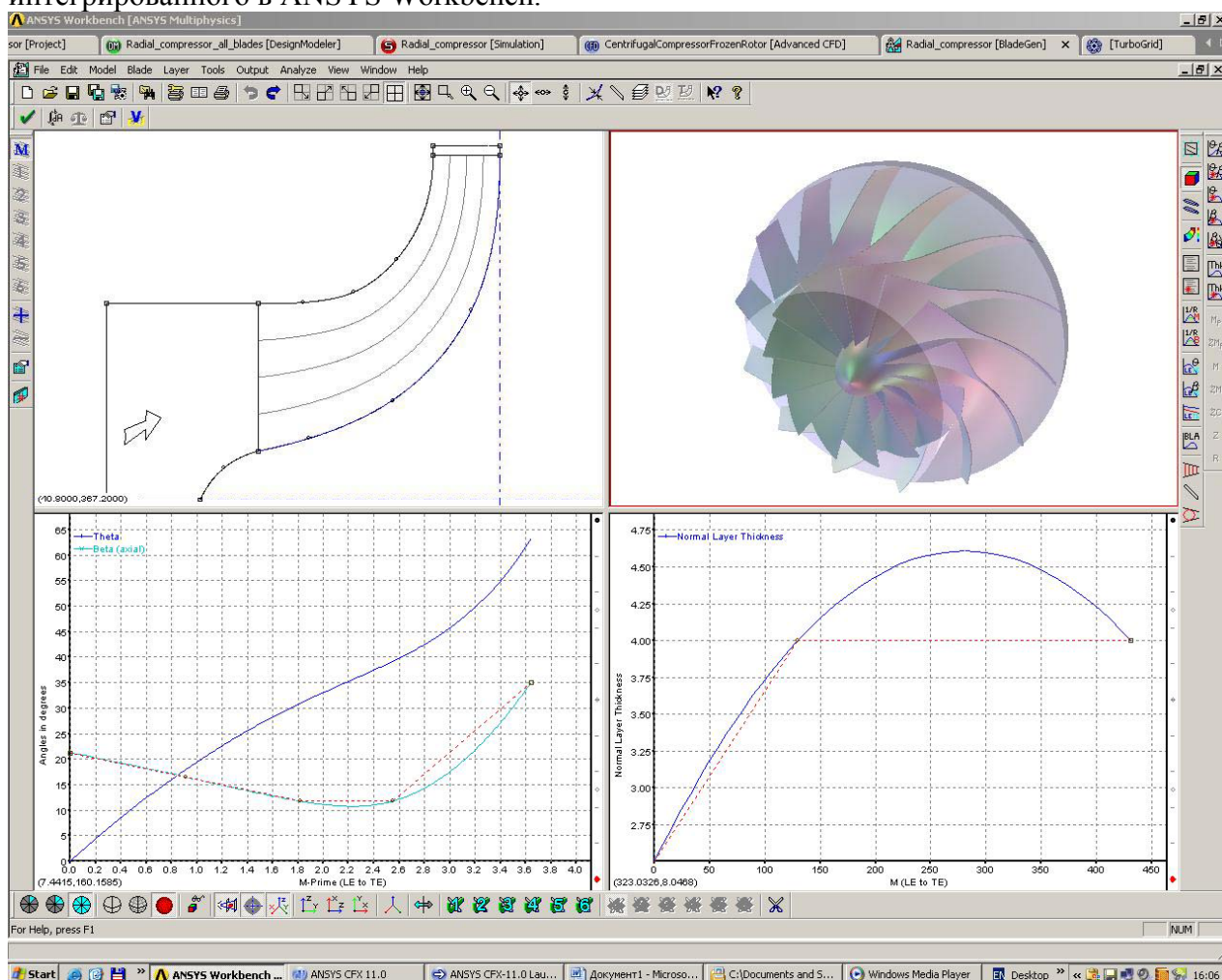
Массовый расход - 14 кг/с.

Вычисления проводились на компьютере AMD Opteron Processor 254 2.81GHz, 8.00Gb RAM.

Последовательность выполнения расчета.

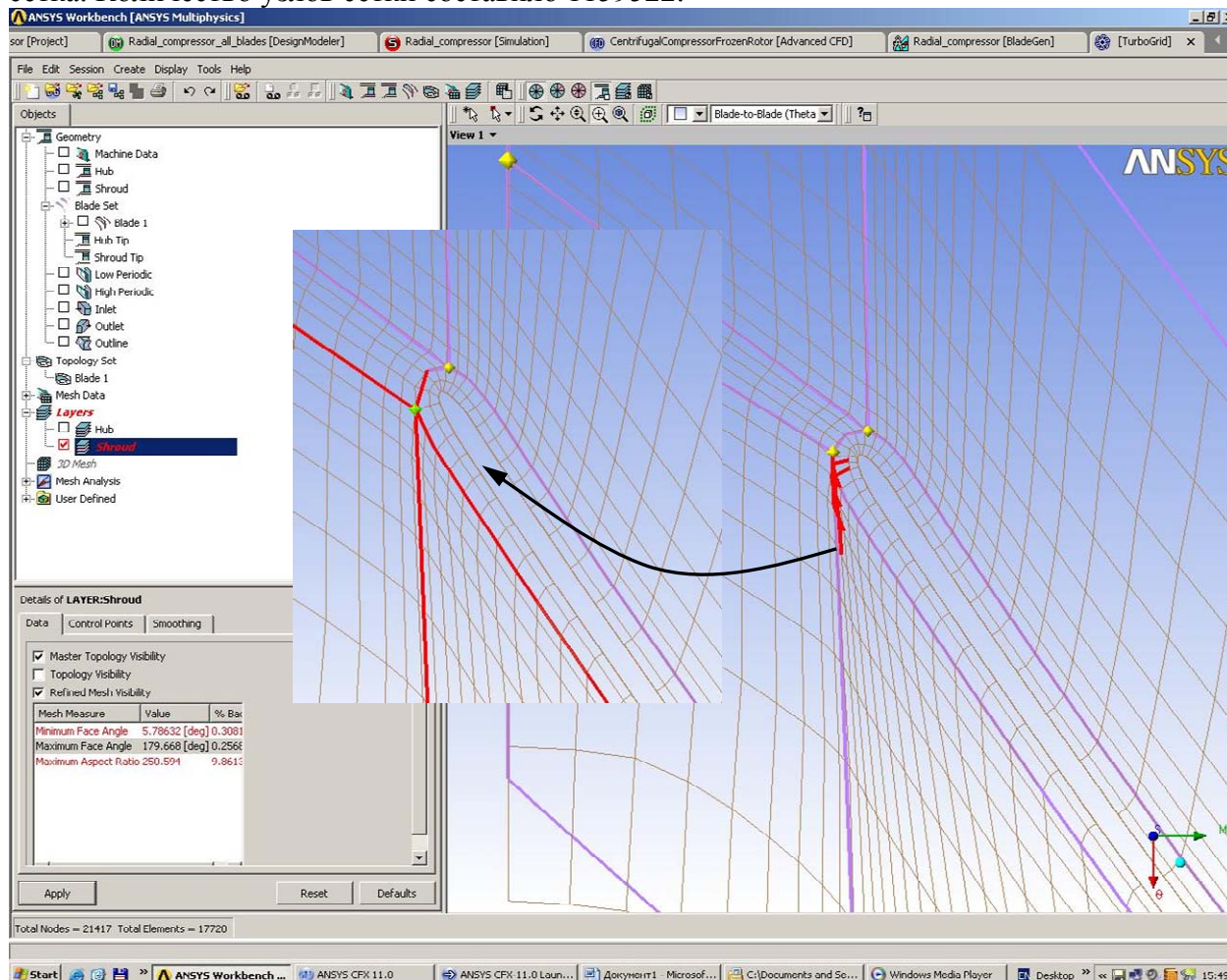
### 1. Проектирование геометрической модели крыльчатки компрессора

Основные геометрические параметры крыльчатки были вычислены в приложение Vista Centrifugal Compressor Design интегрированном в ANSYS BladeGen. В том случае если эти параметры заранее известны, можно их задать напрямую. Для этого: а) на схеме крыльчатки (в левом верхнем окне) вводятся координаты (вертикальная, горизонтальная) для ключевых точек схемы; б) на левом нижнем графике для ряда поперечных сечений задается угол оси сечения лопасти к оси вращения крыльчатки; в) на левом нижнем графике задается толщина лопасти для разных сечений. Созданная модель была сохранена в формате input-файла специализированного сеточного построителя TurboGrid, также интегрированного в ANSYS Workbench.



## 2. Создание вычислительной сетки для воздушного объема внутри крыльчатки

В TurboGrid задавались параметры сетки, метод ее построения. После автоматической генерации двумерной сетки для двух опорных сечений лопасти (hub, shroud) проверялось качество сетки. Зоны с дефектной сеткой (выделены красным) были исправлены путем перемещения ключевых точек. После этого строилась трехмерная сетка. Количество узлов сетки составило 1159522.



## 3. Создание геометрической модели воздуховода и построение сетки для заключенного внутри него объема.

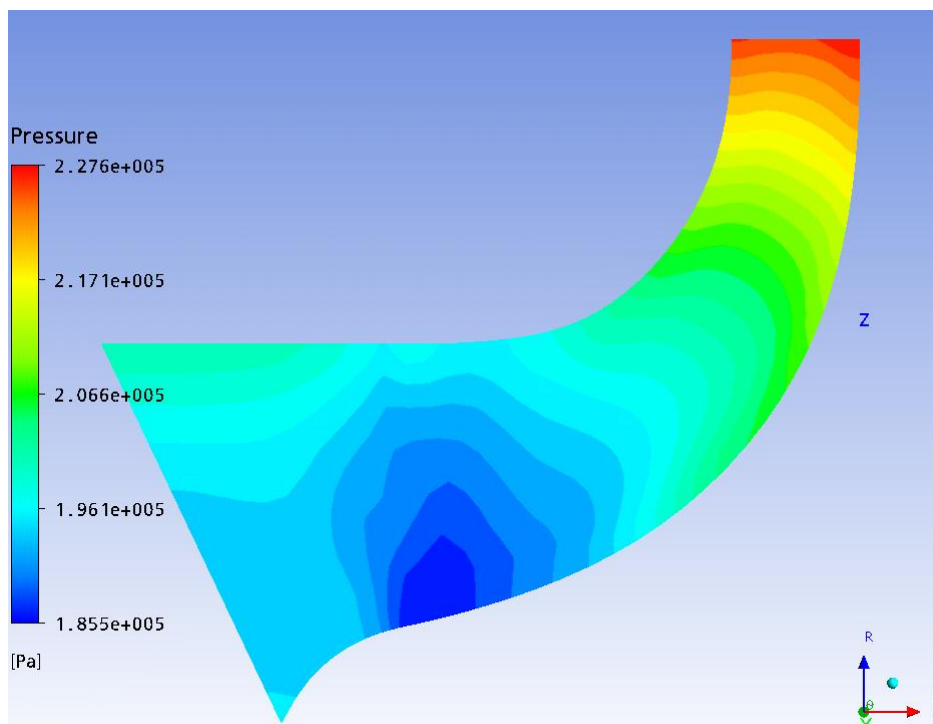
Геометрия и сетка выполнены в среде препроцессора ANSYS. Там же созданы именованные компоненты узлов, принадлежащих поверхностям на которых задаются граничные условия. Общее количество узлов сетки воздуховода составило 69223.

## 4. Расчет стационарного течения воздуха в компрессоре методом Frozen Rotor в модуле вычислительной гидро-газодинамики ANSYS CFX

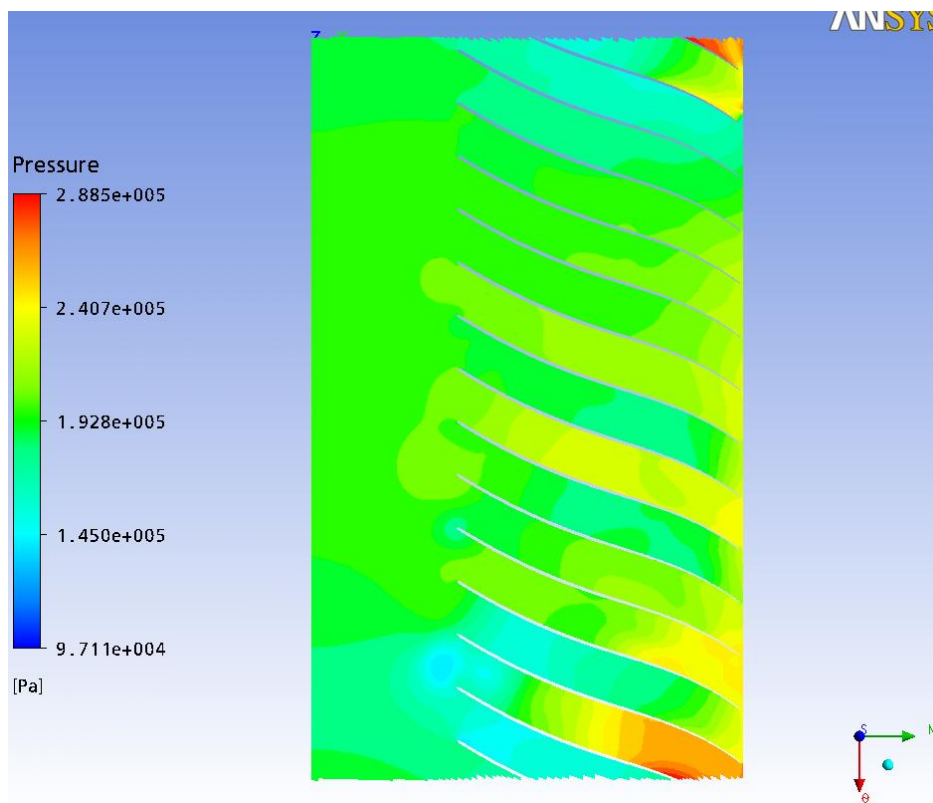
Работа с газодинамической моделью компрессора в препроцессоре CFX выполнялась в режиме Turbo machinery, что позволило максимально автоматизировать данный этап. Сначала были импортированы сеточные модели крыльчатки и воздуховода, заданы тип анализа и граничные условия. Сопрягаемые поверхности границы ротор/статор, по которой от ячеек крыльчатки к ячейкам воздуховода осуществлялась передача данных в ходе расчета, были определены программой автоматически. После этого задавались параметры решения (количество итераций, величина невязки по сходимости решения и т.д.). На следующем этапе выполнялось решение. За 80 итераций



была достигнута невязка  $2 \times 10^{-4}$ , что приемлемо для использования полученных данных в качестве начальных условий для расчета нестационарного течения. Возможная причина значительной величины невязки и большого количества итераций - грубая сетка воздуховода. Вычислительное время, затраченное на стационарное решение методом Frozen Rotor, составило 4,71 часа



*Распределение давления по лопасти*



*Распределение давления в межлопастных зазорах*



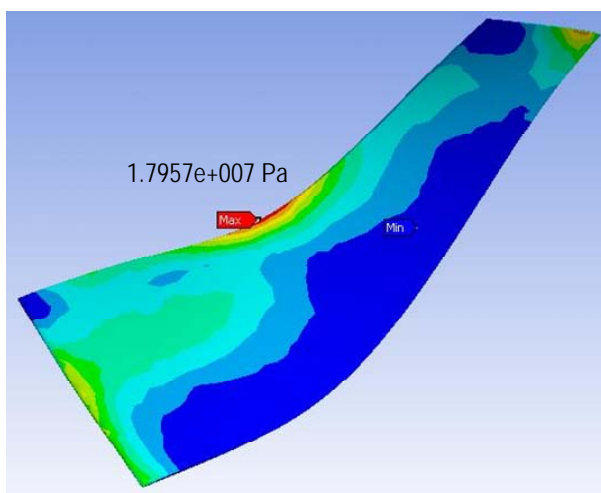
### 5. Расчет нестационарного течения воздуха в компрессоре

Вычислительное время, затраченное на нестационарное решение составило 72,6 часа. Значение шага по времени было задано равным  $\Delta t=0.0001$  с ( $\Delta t < 1/\omega$ ). Расчет был ограничен 88 шагами по времени, что соответствует 0,587 оборота крыльчатки (время полного оборота равно 0.015 с). Для сошедшегося решения на каждом временном шаге невязки не превышали  $2 \times 10^{-5}$ .

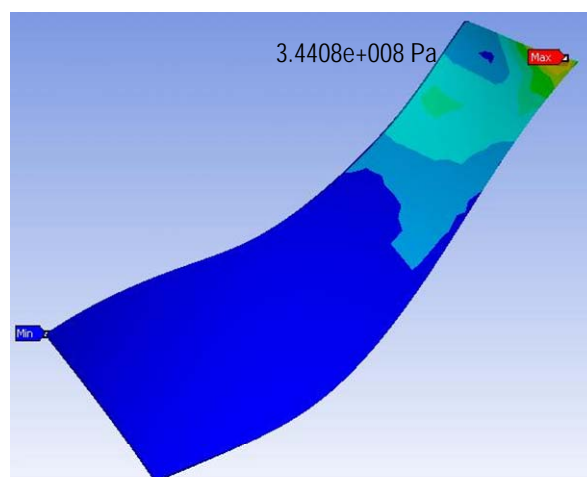
Динамика изменения давления показана в прилагающихся анимационных файлах *cfxMovie\_air\_pressure.mpg*, *cfxMovie\_blade\_pressure.mpg*.

### 6. Расчет напряженно-деформированного состояния лопастей крыльчатки.

На первом этапе геометрическая модель созданная в BladeGen (состоящая только из поверхностей) считывалась с помощью специальной функции BladeEditor в препроцессоре Workbench - DesignModeler. После этого геометрическая модель передавалась в приложение Simulation. Здесь выполнялось автоматическое построение сетки, задавался тип анализа - структурный (прочностной) статический, назначались граничные условия: а) жесткое закрепление в месте крепления лопастей к ротору; б) давление на рабочих поверхностях лопасти, которые были экспортированы из файла результатов CFX; в) частота вращения крыльчатки (для учета вклада центробежной силы).



а.



б.

*Распределение напряжений по лопасти для двух расчетных случаев а) без учета центробежной силы б) с учетом центробежной силы*

Полученные значения максимальных напряжений, вызванных центробежной силой более чем на порядок превышают напряжения вызванные давлением воздуха.

Поскольку максимальное напряжение превышает предел текучести материала крыльчатки (конструкционная сталь  $\sigma_t=250$ МПа) требуется усиление удаленной от оси вращения части лопасти.

Картина распределения напряжений на лопастях показана в прилагающемся анимационном файле *SimulationMovie\_Equivalent\_stress.avi*.

