

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

(Кафедра нефтегазового оборудования и транспортировки)

**ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ
ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НА ПЛАТФОРМЕ ANSYS WORKBENCH**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсовой работы по дисциплине
«Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли»
для студентов направления 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
(программы «Моделирование и оптимизация рабочих процессов
в энергетических системах газонефтепроводов» и «Нефтегазовое дело»)
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.671:681.3.06 (07)
ББК 32.97я7

Составители:

д-р техн. наук С. Г. Валюхов
канд. техн. наук Д. Н. Галдин
д-р техн. наук А. В. Кретинин

Профилирование проточной части центробежного насоса на платформе ANSYS Workbench: методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли» для студентов направления 21.04.01 «Нефтегазовое дело» (программы «Моделирование и оптимизация рабочих процессов в энергетических системах газонефтепроводов» и «Нефтегазовое дело») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: С. Г. Валюхов, Д. Н. Галдин, А. В. Кретинин. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 37 с.

Целью указаний является выработка навыков работы с инструментарием ANSYS Workbench, применение современных расчетных комплексов для решения задач оптимизационного проектирования

Предназначены для студентов направления 21.04.01 «Нефтегазовое дело» (программы «Моделирование и оптимизация рабочих процессов в энергетических системах газонефтепроводов» и «Нефтегазовое дело») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_КП_ММ.pdf

Ил. 47. Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.671:681.3.06 (07)
ББК 32.97я7

Рецензент - Д. П. Шматов, канд. техн. наук, доц.
кафедры ракетных двигателей ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

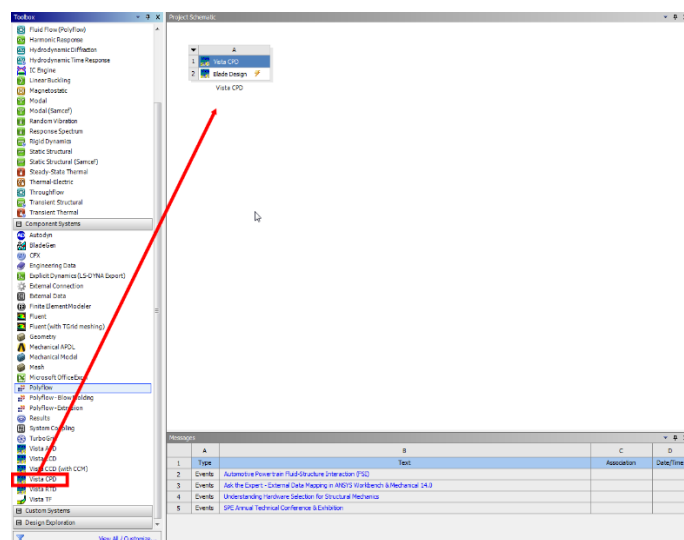
ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НА ПЛАТФОРМЕ ANSYS WORKBENCH

В курсовой работе решается задача профилирование проточной части центробежного насоса с использованием инструментария ANSYS.

В качестве исходных данных преподаватель сообщает студентам значения подачи и напора проектируемого насоса. В программном комплексе ANSYS осуществляется профилирование рабочего колеса и отвода насоса, а также рассчитываются значения основных критериев функционирования, например, напора, подачи и гидравлического КПД насоса.

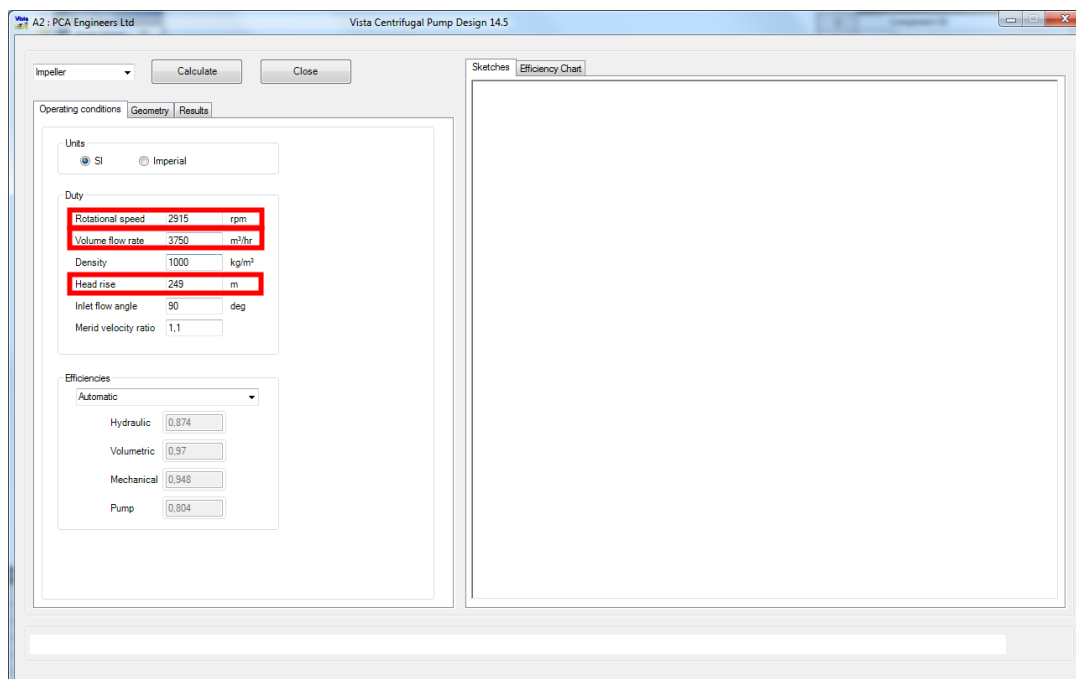
Методика пошагового проектирования центробежного насоса в среде ANSYS CFX представлена на примере создания центробежного насоса для подачи рабочего тела расходом $3750 \text{ м}^3/\text{час}$ с напором 249 метров и частотой вращения приводного двигателя, равной 2915 об/мин.

1. Открываем Пуск -> Workbench.
2. Сохраняем проект через File -> SaveAs. Не допускается, чтобы в пути к файлу присутствовали символы кириллицы.
3. Добавляем в созданный проект элемент VistaCPD (CentrifugalPumpsDesign – модуль для предварительного расчета центробежных насосов) из меню ComponentSystems, перетаскив его в рабочее поле.

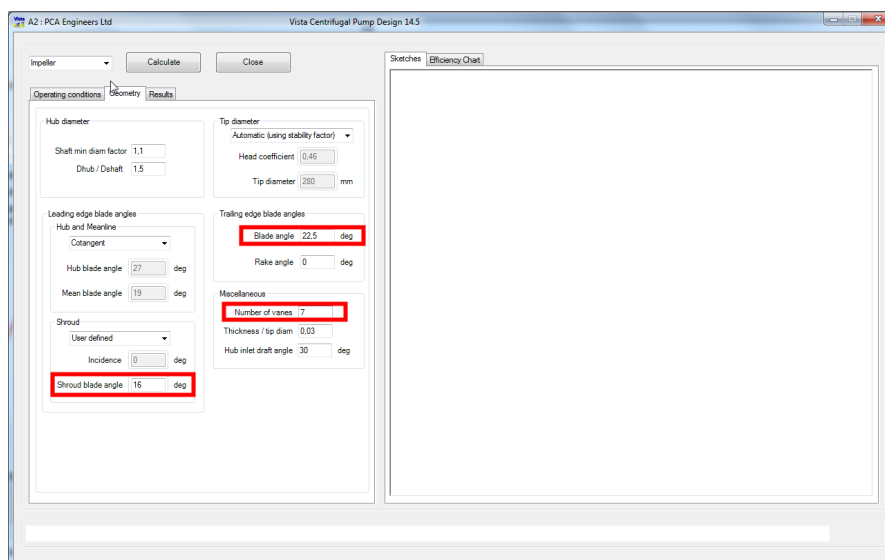


4. Открываем BladeDesign – здесь будут записаны и сохранены все наши исходные данные.

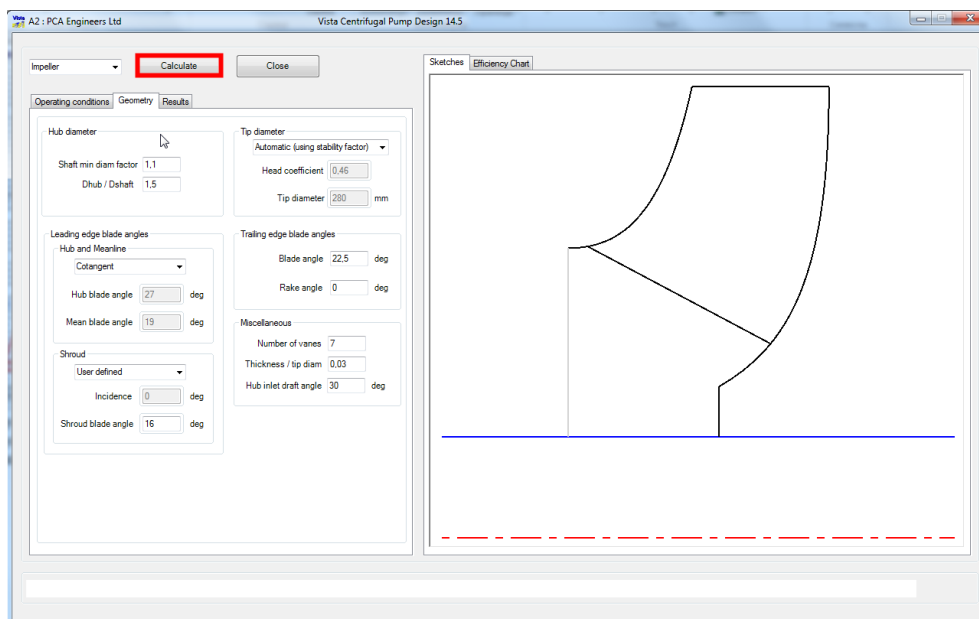
5. В пункте Operatingconditions вводим следующие показатели: скорость вращения ротора (2915 об/мин), необходимый объёмный расход жидкости ($3750 \text{ м}^3/\text{час}$), высота подъема (249 м).



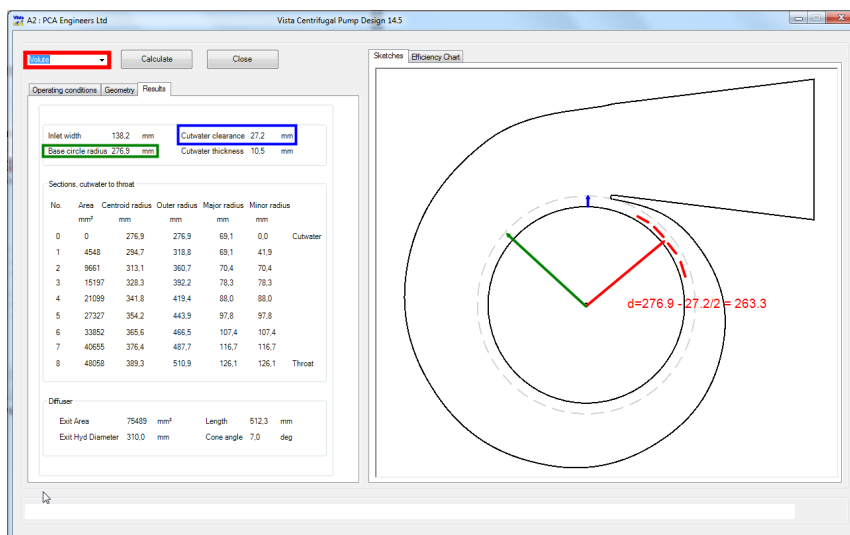
6. На вкладке Geometry устанавливаем значения углов на входе (16 градусов) и на выходе (22,5 градуса). В дальнейшем будем изменять эти ограничения для поиска наивысшего гидравлического КПД. Также изменяем количество лопаток – их будет 7.



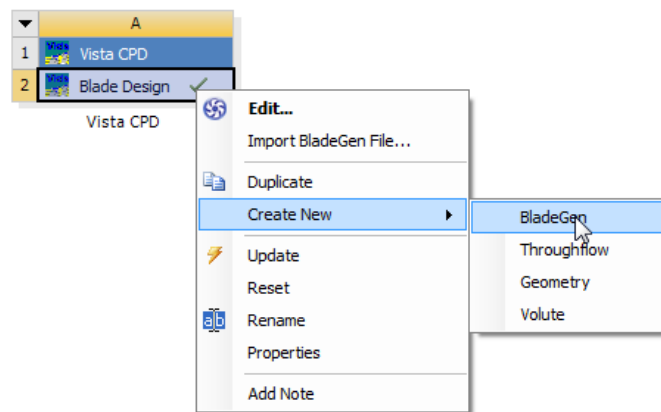
7. Нажимаем кнопку Calculate.



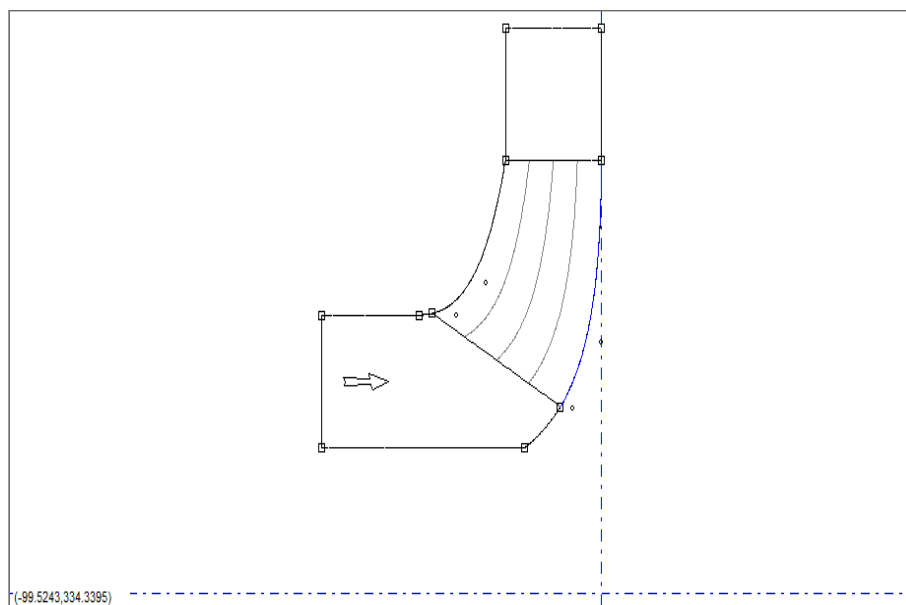
8. Модель рабочего колеса сформирована. Прежде чем перейти к следующему шагу, вычислим радиус соединения зоны рабочего колеса с зоной рабочей улитки. Для этого вычтем из значения базового радиуса улитки половину значения зазора водореза. Эта величина пригодится нам при построении сетки для рабочего колеса. Закрываем Blade Design.

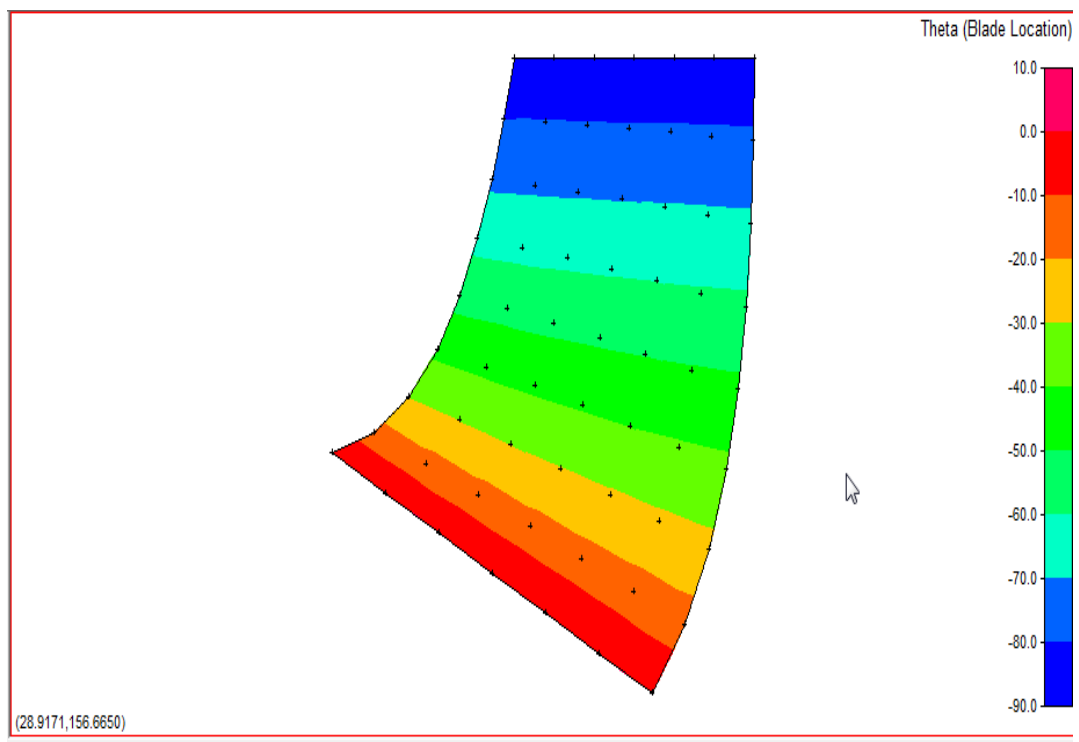
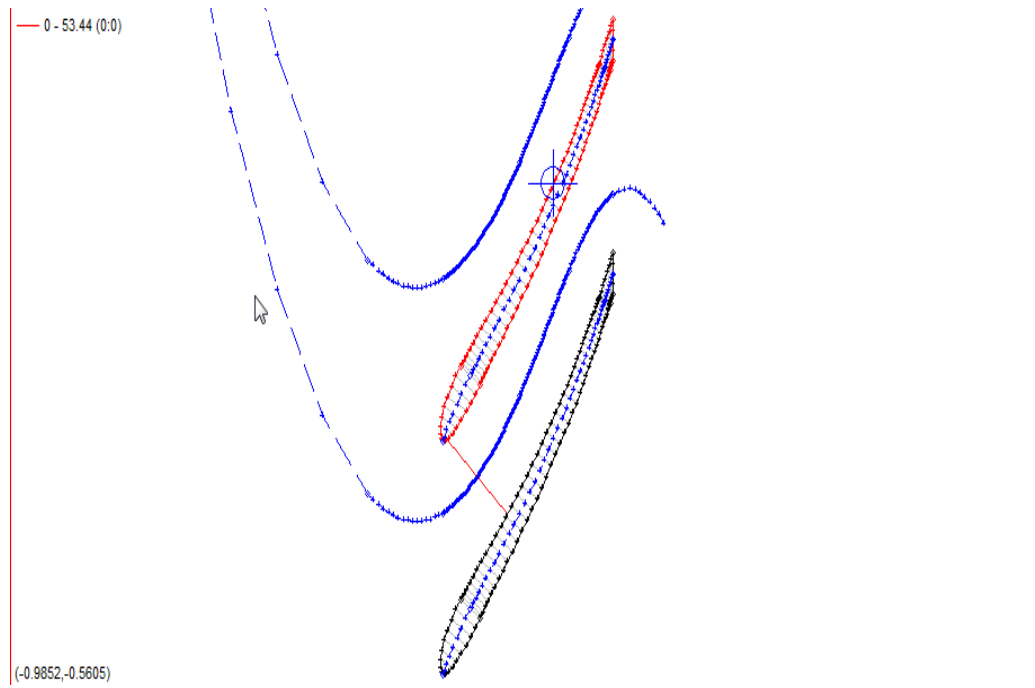


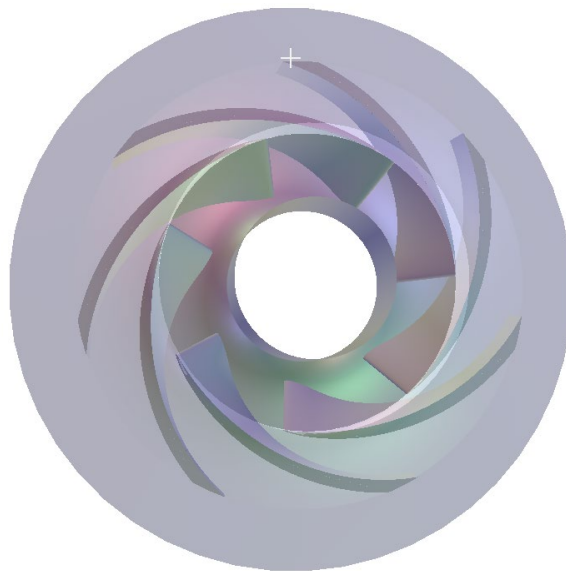
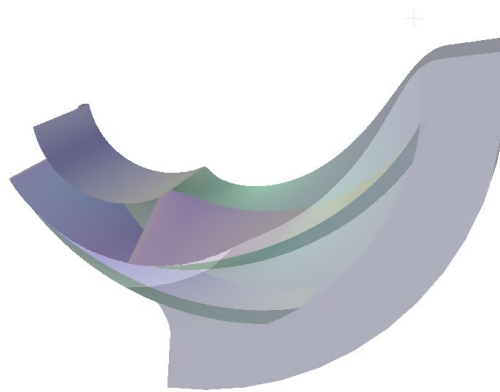
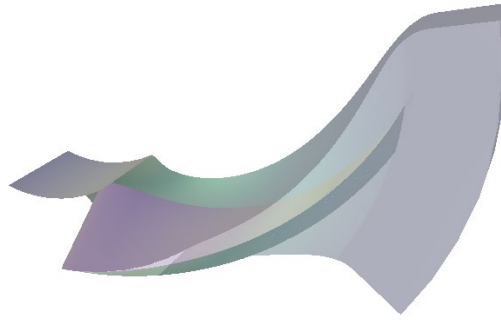
9. Формируем геометрию колеса с помощью компонента BladeGen. Этот модуль определяет 3D-геометрию компонентов вращающихся машин, определяет траекторию течения, направления/перемещения ребра, корректирует лопасти, создает отчет, содержит шаблоны и файлы данных.



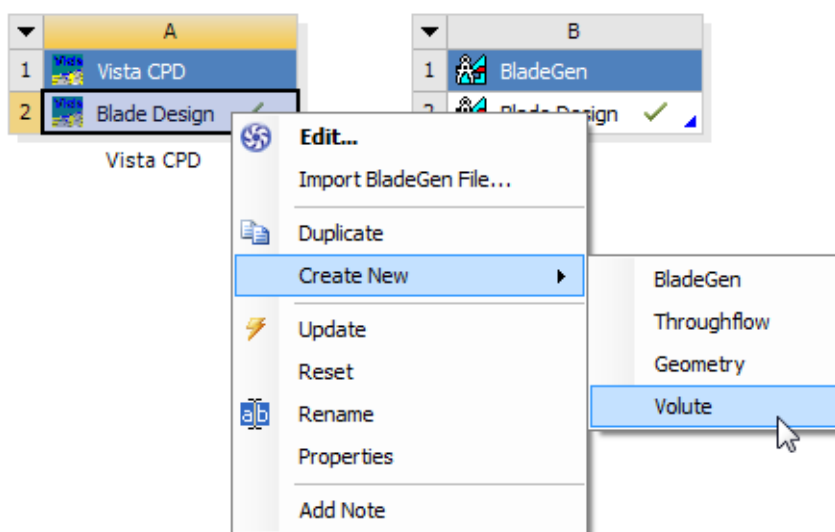
10. Открываем BladeGen. При необходимости мы можем отредактировать модель нашего рабочего колеса.



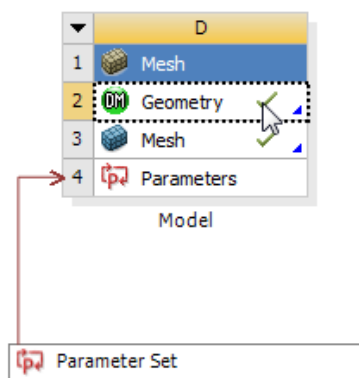




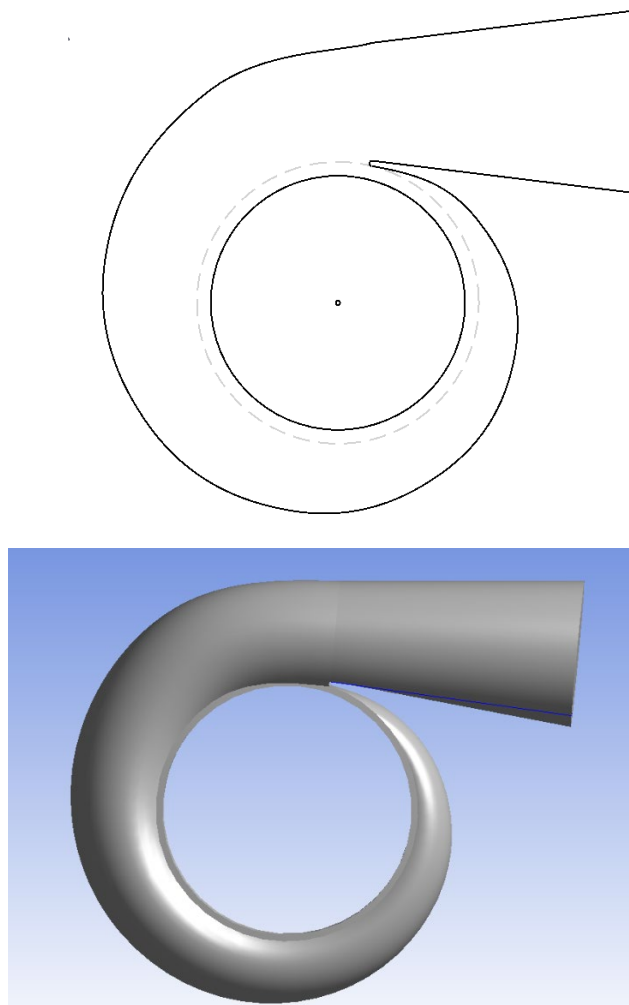
11. Формируем геометрию улитки. Это займёт пару минут.



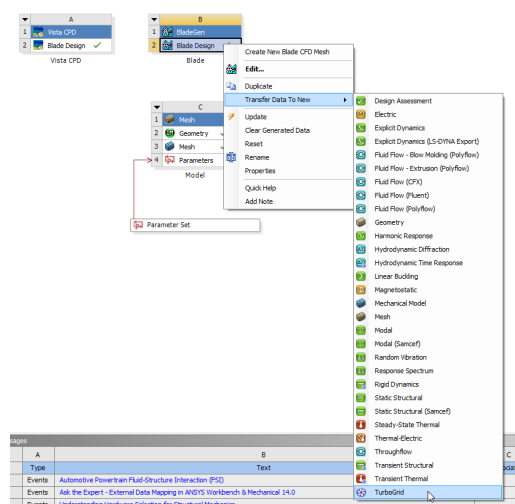
12. Открываем DesignModeler - современный, удобный инструмент для подготовки геометрии и ее передачи в расчетные инструменты ANSYS. В модуле присутствуют связи со всеми основными CAD-системами, которые обеспечивают простую передачу геометрии и параметров. В дальнейшем можно изменить параметры и обновить модель, при этом все изменения и упрощения геометрии сохраняются. Это способствует быстрому включению любых изменений и обновлений модели в процесс разработки изделия.



Для наглядности убедимся, что наша трёхмерная модель улитки спроектирована верно, сравнив её с одномерной моделью, построенной ранее в VistaCPD.



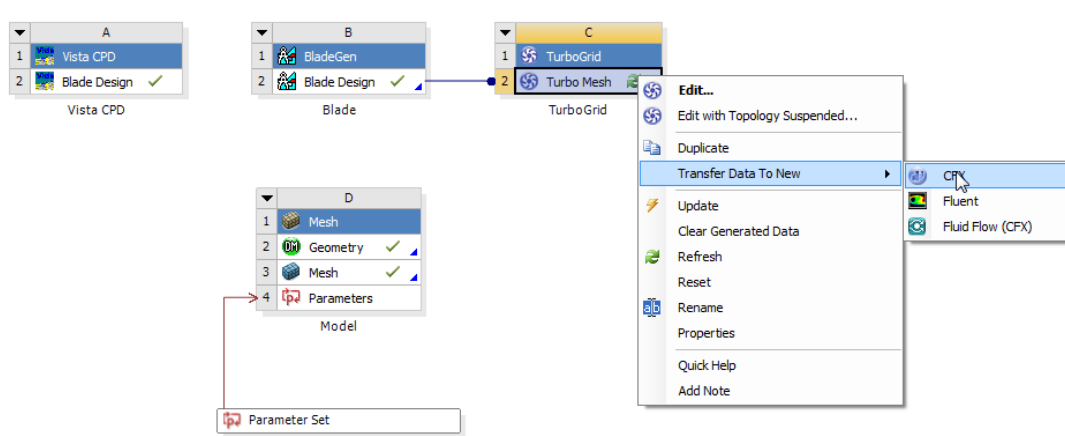
13. Формируем сетку для колеса.



ANSYS TurboGrid - это специализированный сеточный генератор, предназначенный для работы с геометрией лопаток турбомашин. Данный модуль позволяет создавать высококачественные гексаэдрические сетки, настроенные на решение задач динамики жидкостей и газов во вращающихся машинах. В

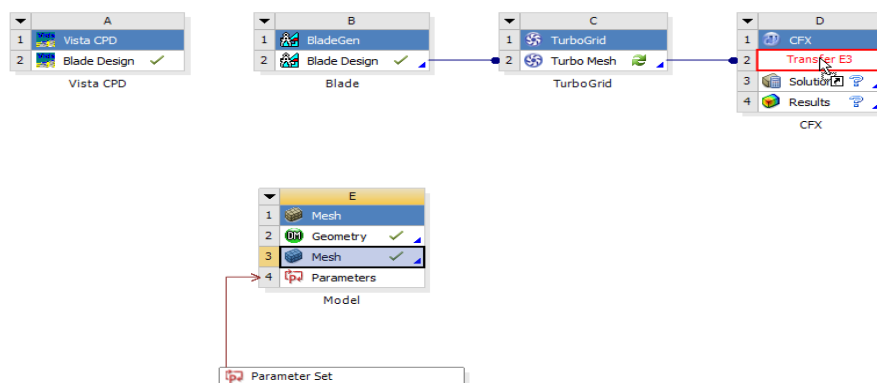
ANSYS TurboGrid импортируется описание геометрии из программного обеспечения для разработки лопаток турбомашин, например, из ANSYS BladeModeler. ANSYS TurboGrid может автоматически построить топологию и создать сетку (NewAutomaticTopology&Meshing (ATM) Method). ANSYS TurboGrid позволяет быстро создавать объемные сетки, перестраивать сетку на 2D слоях, переопределять топологию, а также определять слои, контрольные точки, разбиение на ребре и т.д.

14. Создаём расчёты CFX.

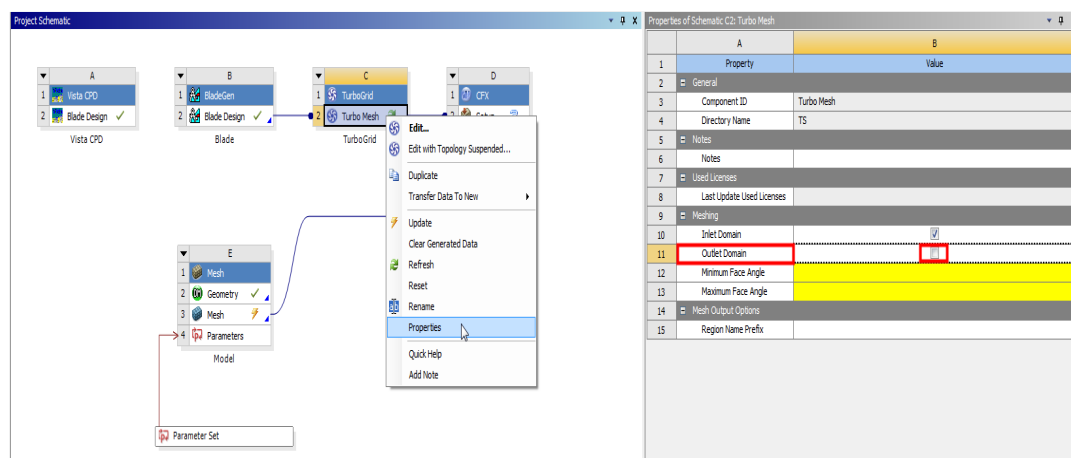


ANSYS CFX - мощная и надежная технология расчетов в области вычислительной гидрогазодинамики. ANSYS CFX совмещает в себе передовую технологию решателя с современным пользовательским интерфейсом и адаптивной архитектурой, что делает этот инструмент доступным как для разработчиков, владеющих общими инженерными знаниями, так и для специалистов в области гидродинамики, работающими с моделью и ее свойствами на глубоком уровне. CFX позволяет детально изучить оборудование и процессы изнутри, повысить эффективность, увеличить срок службы и оптимизировать процессы.

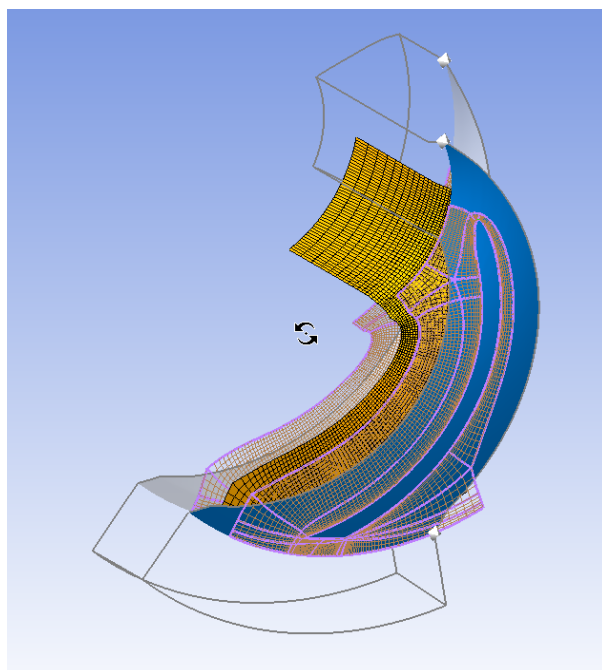
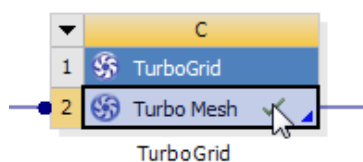
15. Соединяем сетку для улитки с CFX.



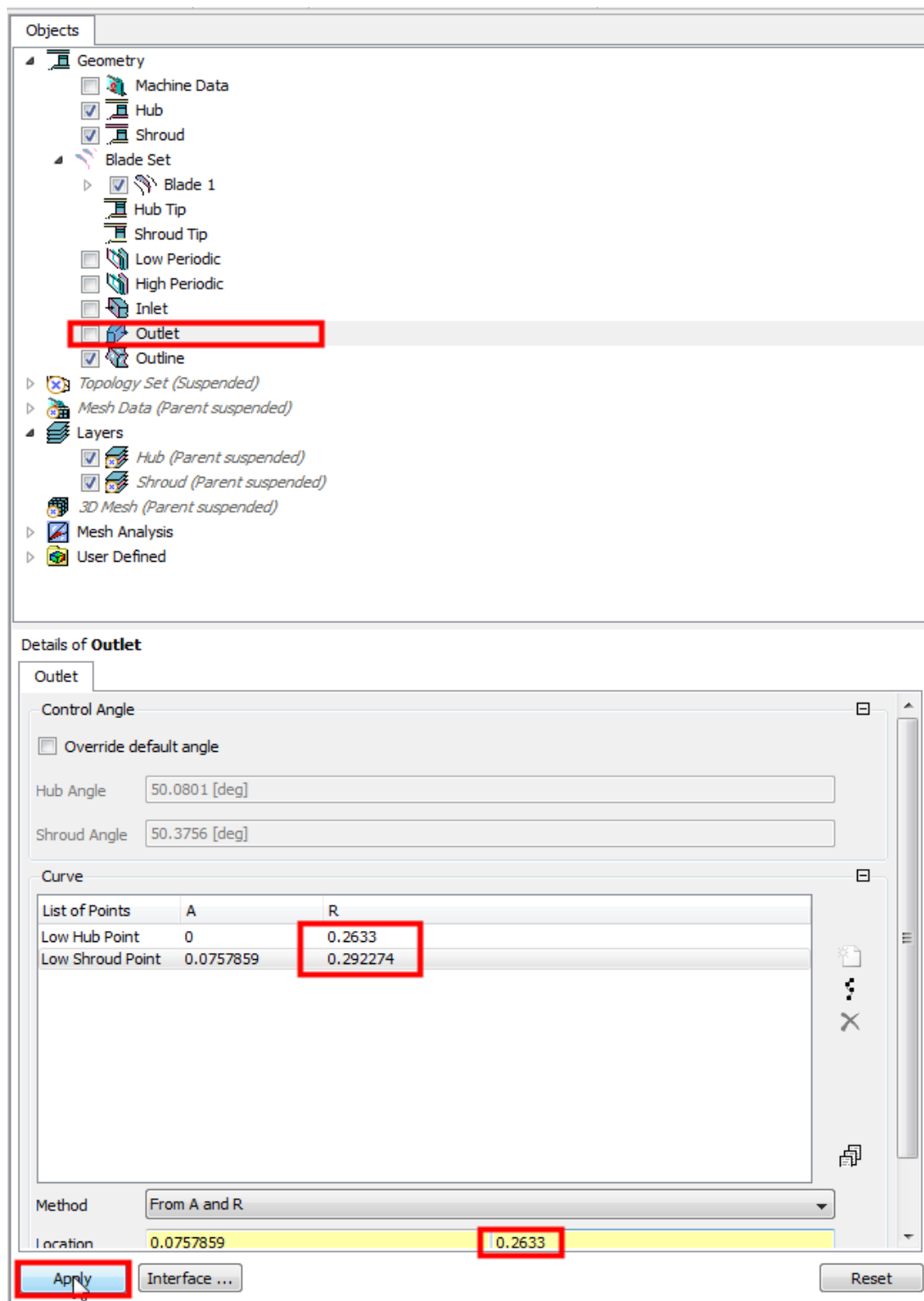
16. Снимаем галочку напротив свойства (Properties) OutletDomain элемента TurboMesh.



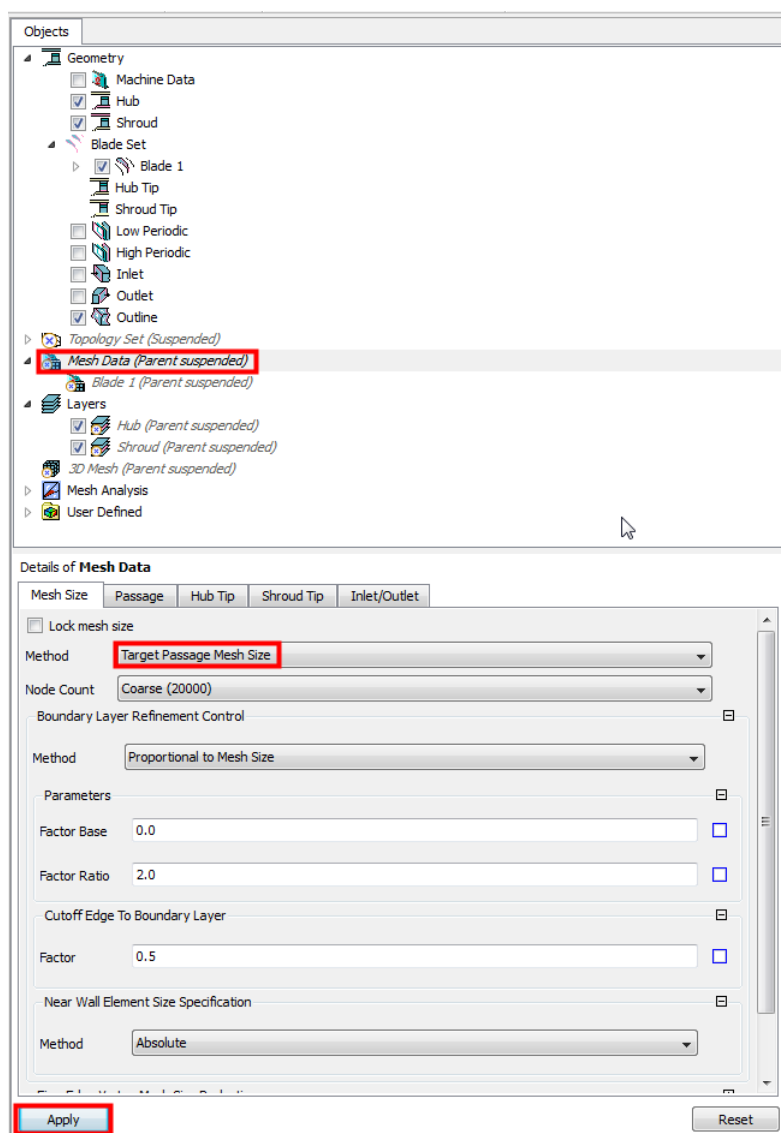
17. Открываем TurboGrid.



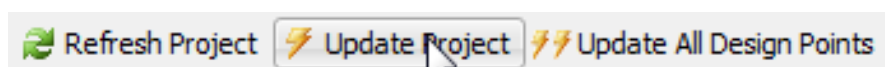
18. В появившемся меню выбираем пункт Outlet. В ячейки столбца R заносим значение параметра d (возможно, в метрах), вычисленного на 8 шаге.



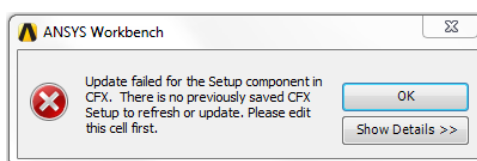
19. Изменяем некоторые параметры сетки и закрываем TurboGrid.



20. Необходимо обновить проект. Это займёт пару минут.



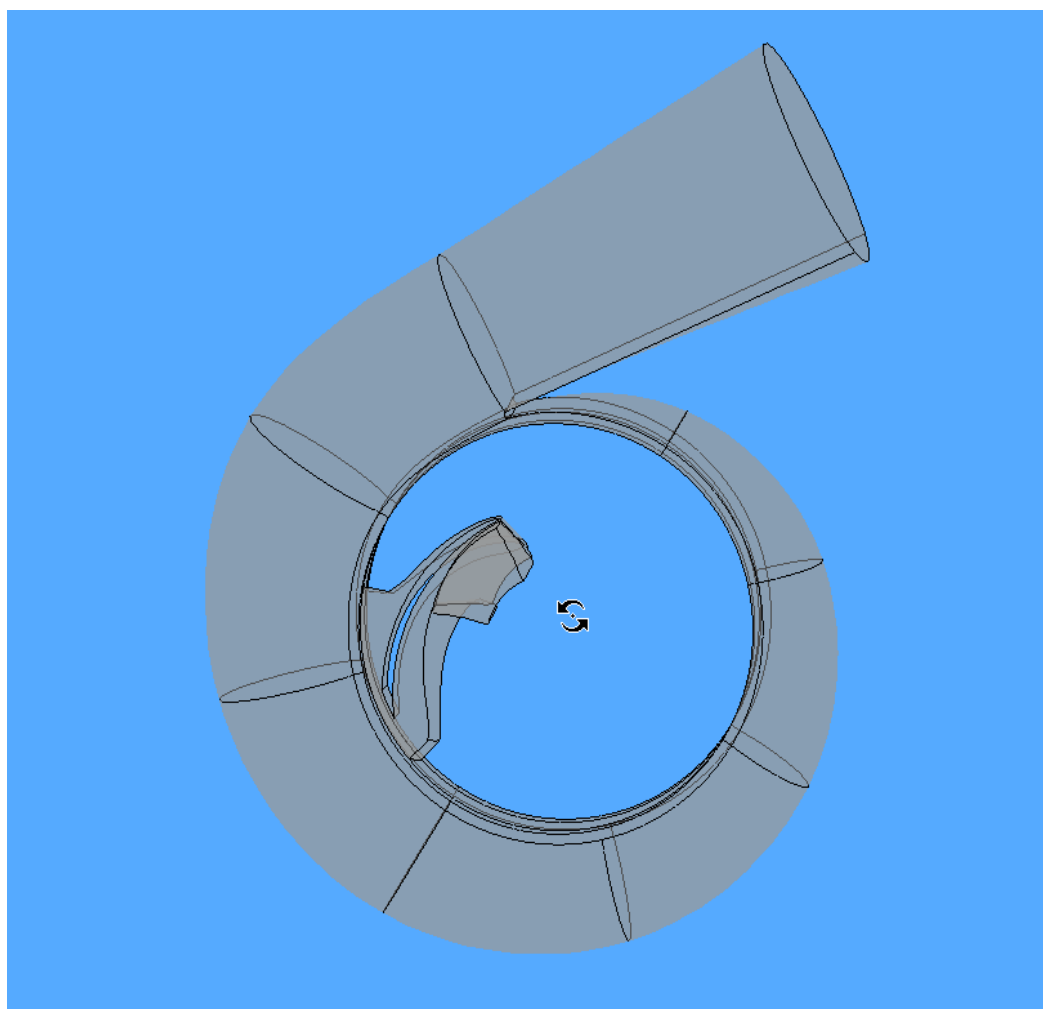
21. После успешного обновления проекта на экране должно появиться следующее сообщение об ошибке: нам сообщают, что элемент Setup компонента CFX не был обновлен. Нажимаем ОК и переходим к следующему шагу.



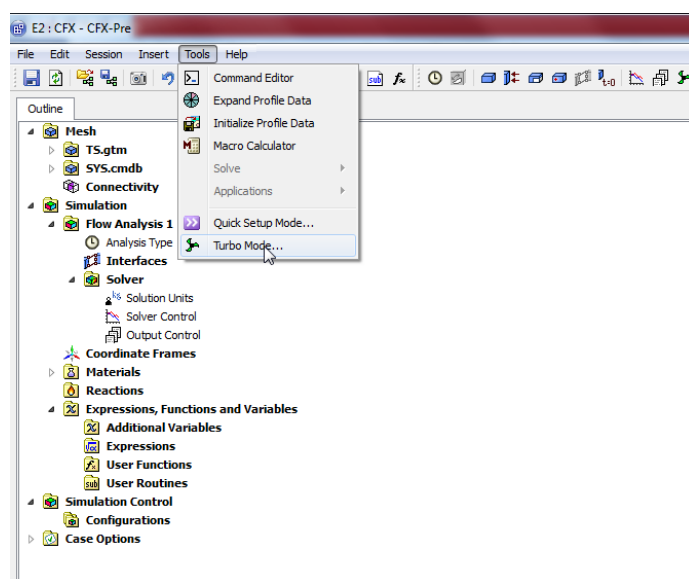
22. Открываем препроцессор CFX через SetupCFX.

Физический препроцессор ANSYS CFX - это современный, интуитивно понятный интерфейс для подготовки к моделированию динамики жидкостей или газов. В дополнение к основному режиму работы встроенный мастер помогает пользователю пройти процесс подготовки общих расчетов течения жидкостей или газов.

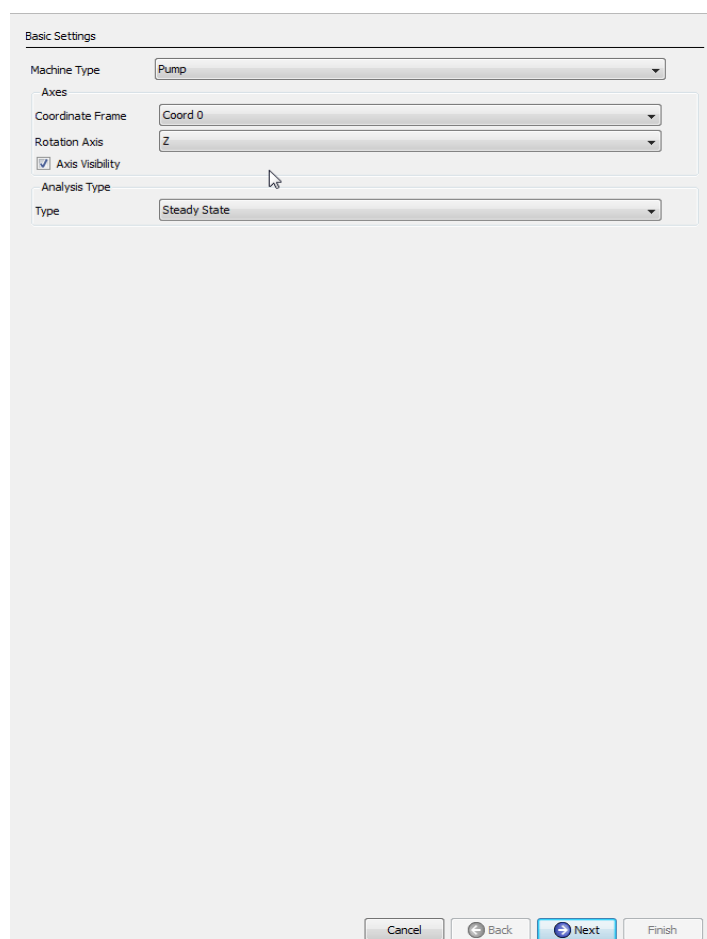
Мощный язык программирования (expressionlanguage) дает возможность задать описание проблемы в числовом виде, как в случае со сложными граничными условиями, авторскими моделями материалов или дополнительными уравнениями переноса. Адаптивная архитектура CFX-Pre также позволяет пользователю создавать собственные панели графического пользовательского интерфейса, чтобы стандартизировать ввод для выбранных приложений.



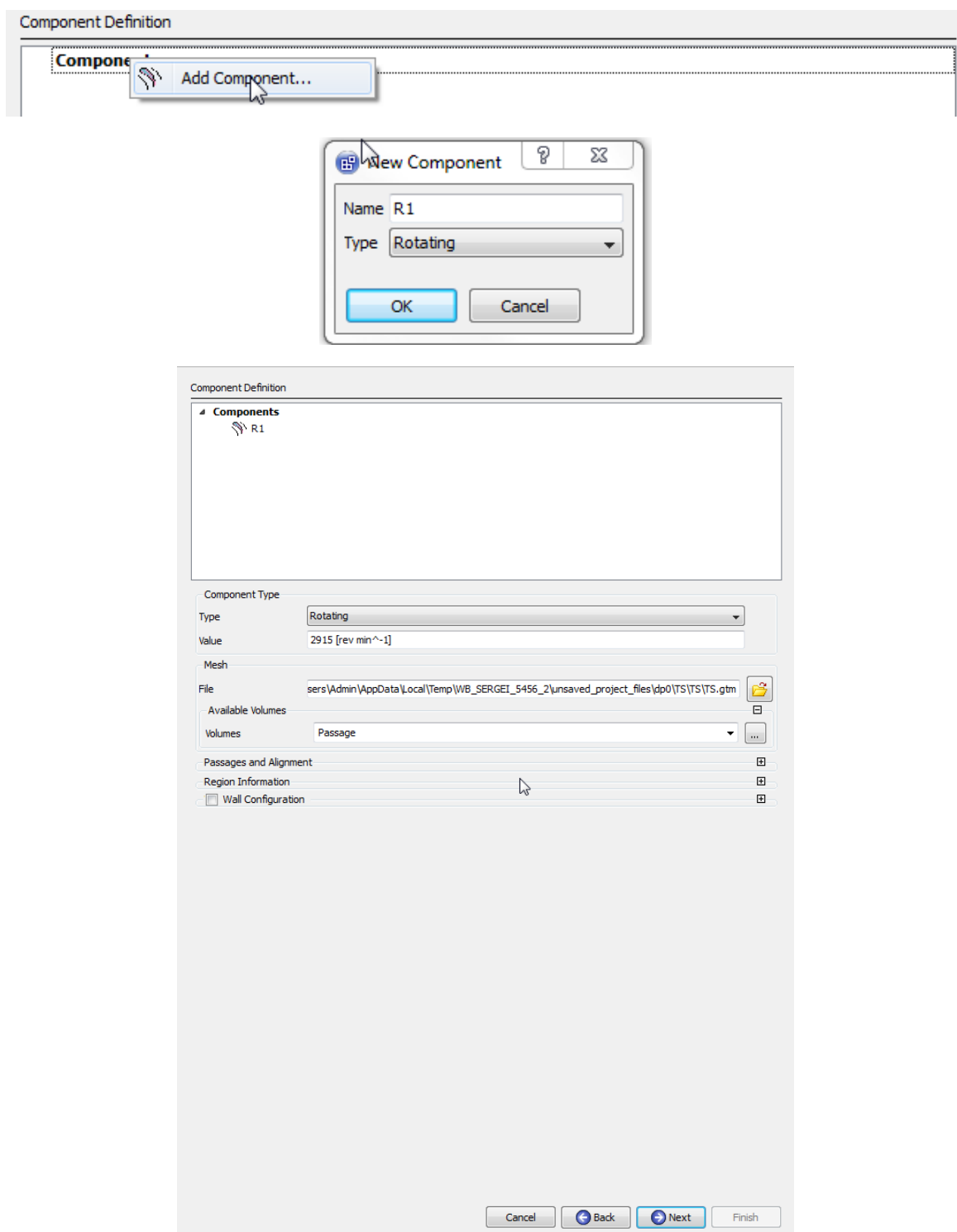
23. Выбираем турборежим (Tools -> TurboMode)



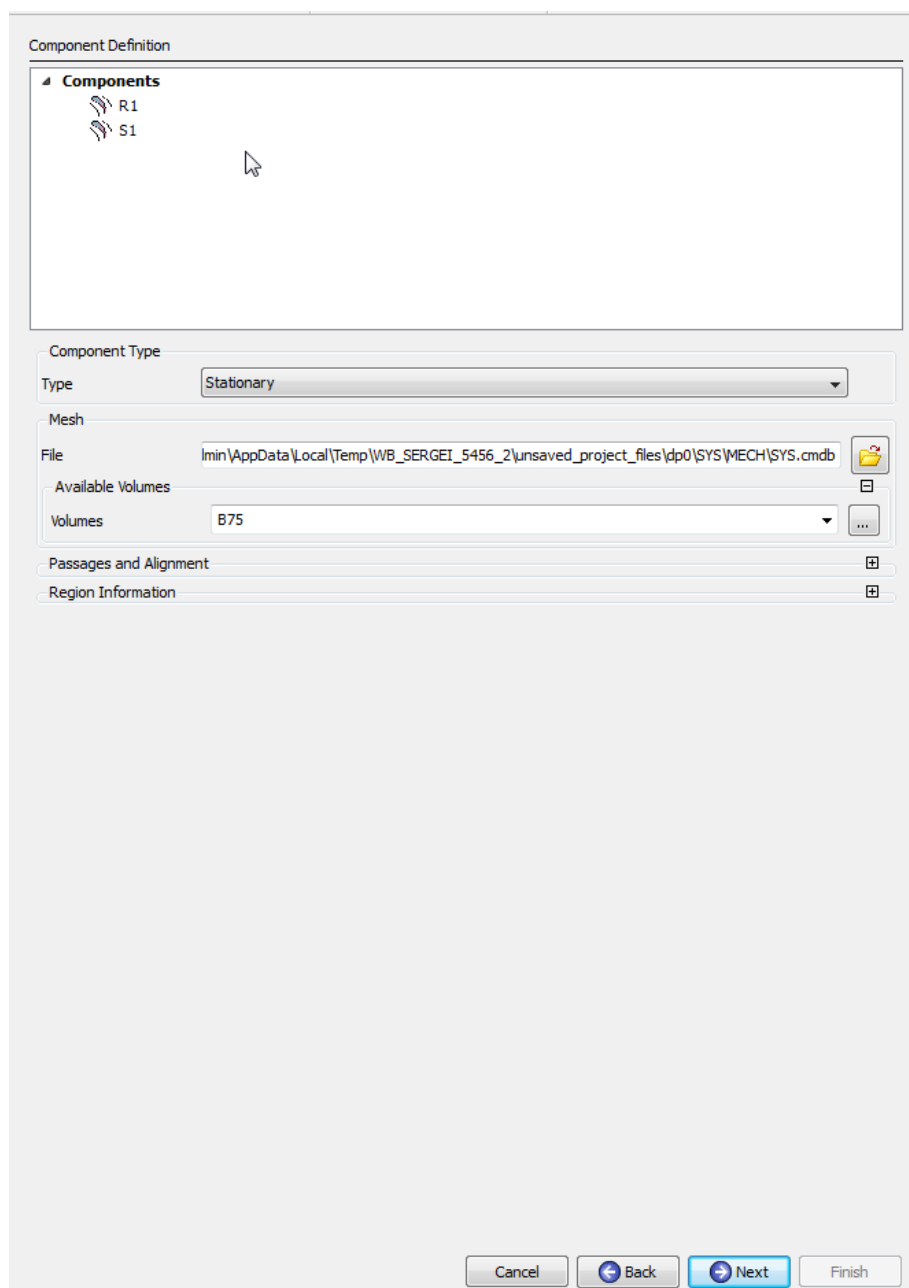
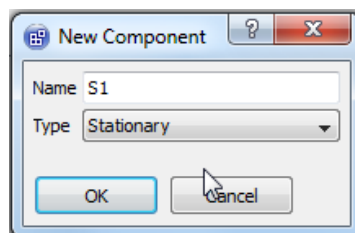
24. Проверяем параметры и жмём Next.



25. Устанавливаем параметры зон. Сначала добавляем ротор (элемент Passage) и вводим исходную частоту вращения вала (2915об/мин).



26. А теперь статор (элемент B75) и жмём Next:



27. В качестве среды выступает вода, относительное давление – 1 атмосфера. Массовый расход (кг/с) устанавливаем через машину и вычисляем по формуле

$$M := \frac{V}{3.6}$$

где V – величина подачи (3750 м³/час), значение которой берётся из условия задачи. Давление на выходе – 0 атмосфер.

Physics Definition

Fluid: Water

Model Data

Reference Pressure: 1 [atm]

Heat Transfer: None

Turbulence: k-Epsilon

Inflow/Outflow Boundary Templates

☒ Mass Flow Inlet P-Static Outlet

Inflow

Mass Flow: Per Machine

Mass Flow Rate: 1041.66667 [kg s⁻¹]

Flow Direction: Normal to Boundary

Outflow

P-Static: 0 [atm]

Interface

Default Type: Stage

☐ Solver Parameters

Cancel Back Next Finish

28. Проверяем сформированные интерфейсы и жмём Next.

Interface Definition

Interfaces

- R1 to R1 Periodic
- R1 to R1 Periodic 2
- S1 to R1

R1 to R1 Periodic 1

Side 1: INBlock PER 1

Side 2: INBlock PER 2

Type: Periodic

Cancel Back Next Finish

Interface Definition

Interfaces

-  R1 to R1 Periodic 1
-  R1 to R1 Periodic 2
-  S1 to R1

R1 to R1 Periodic 2

Side 1	Passage PER1		
Side 2	Passage PER2		
Type	Periodic		

Cancel

 Back

 Next

Finish

Interface Definition

Interfaces

-  R1 to R1 Periodic 1
-  R1 to R1 Periodic 2
-  S1 to R1

S1 to R1

Side 1	Inlet 2	...
Side 2	Passage OUTFLOW	...
Type	Stage	

Cancel

← Back

Next →

Finish

29. Проверяем все граничные условия расчётной зоны и жмём Next.

Boundary Definition

Boundaries

- R1 Blade
- R1 Hub
- R1 Inlet
- R1 Shroud
- S1 Outlet

R1 Blade

Boundary Type: Wall

Location: BLADE

Wall Influence On Flow

Option: No Slip Wall

Cancel Back Next Finish

Boundary Definition

▲ Boundaries

 R1 Blade

 R1 Hub

 R1 Inlet

 R1 Shroud

 S1 Outlet

R1 Hub

Boundary Type

Wall

Location

INBlock HUB,Passage HUB

...

Wall Influence On Flow

Option

No Slip Wall

Cancel

← Back

Next →

Finish

Boundary Definition

Boundaries

- R1 Blade
- R1 Hub
- R1 Inlet**
- R1 Shroud
- S1 Outlet

R1 Inlet

Boundary Type: Inlet

Location: INBlock INFLOW

Flow Specification

Option: Mass Flow Rate

Mass Flow Rate: **148.81 [kg s⁻¹]** = M / 7 - на одну лопатку

Flow Direction: Normal to Boundary

Cancel Back Next Finish

Boundary Definition

Boundaries

- R1 Blade
- R1 Hub
- R1 Inlet
- R1 Shroud**
- S1 Outlet

R1 Shroud

Boundary Type

Wall

Location

INBlock SHROUD, Passage SHROUD

Wall Influence On Flow

Option

No Slip Wall

Cancel

← Back

Next →

Finish

Boundary Definition

Boundaries

- R1 Blade
- R1 Hub
- R1 Inlet
- R1 Shroud
- S1 Outlet**

S1 Outlet

Boundary Type: Outlet

Location: Outlet

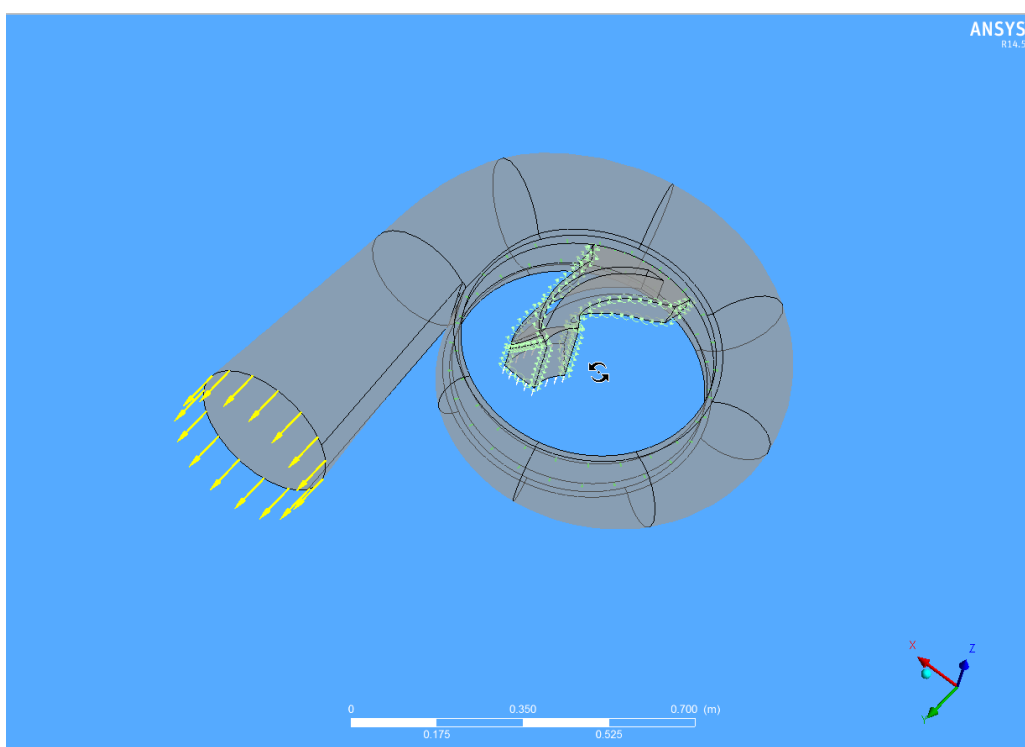
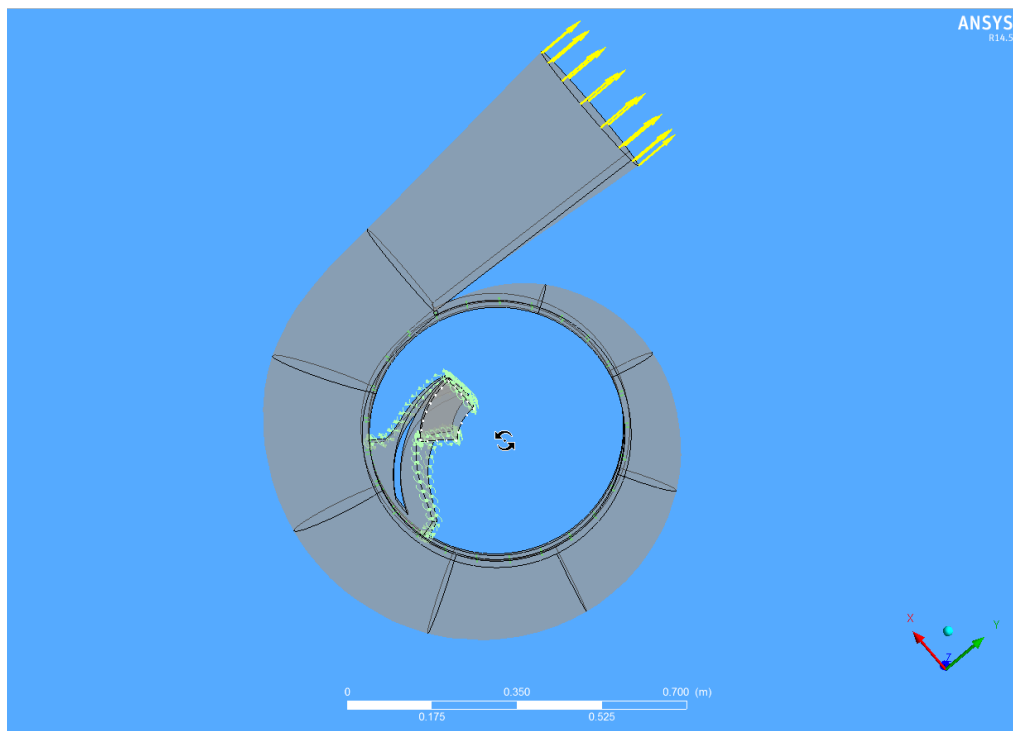
Flow Specification

Option: Average Static Pressure

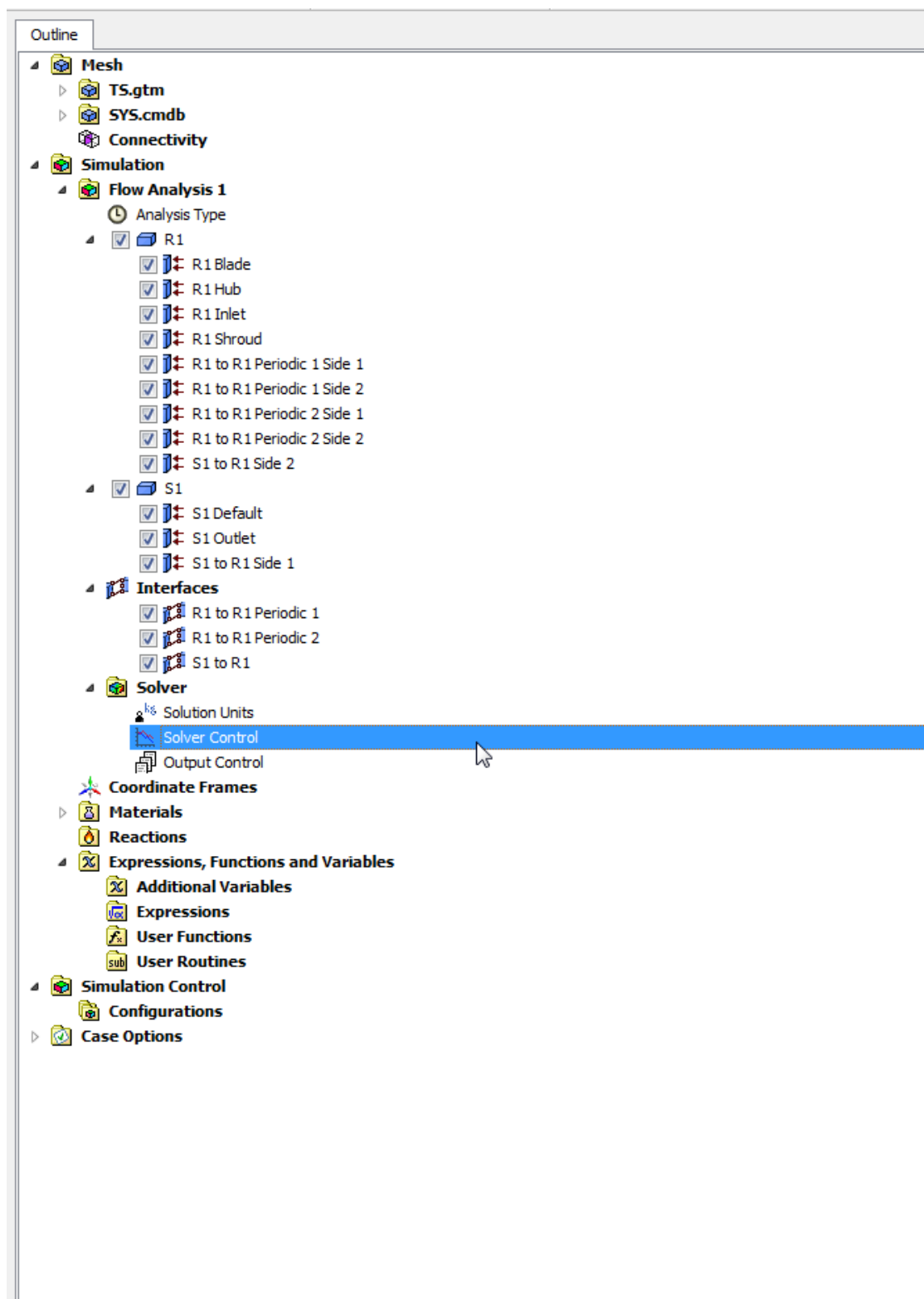
Relative Pressure: 0 [atm]

Cancel Back Next Finish

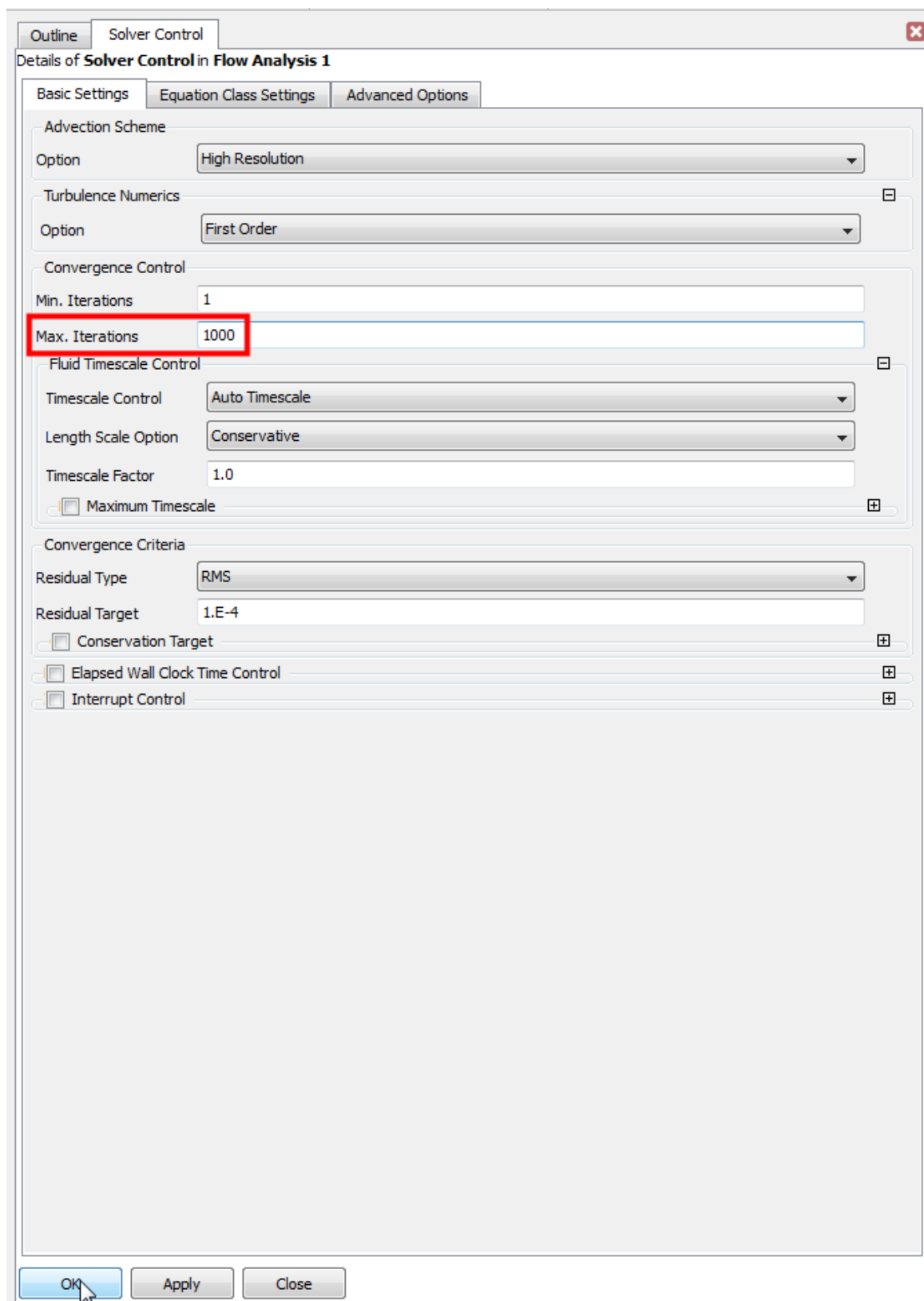
30. И, наконец, Finish. Если выскакивает предупреждение – жмём ОК и двигаемся дальше.



31. Выбираем пункт SolverControl и открываем его.

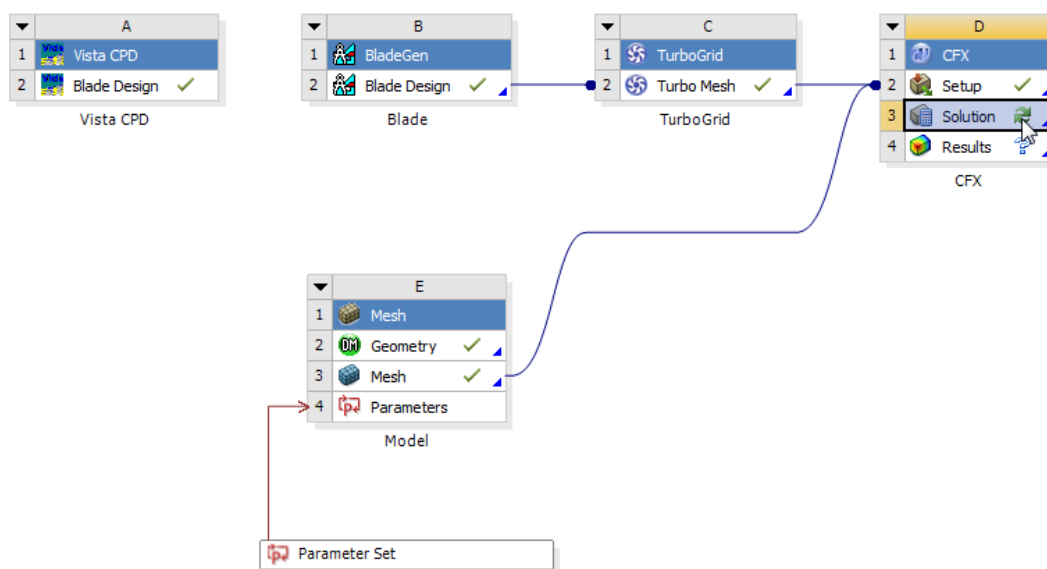


32. Увеличиваем количество итераций до 1000 и нажимаем ОК.

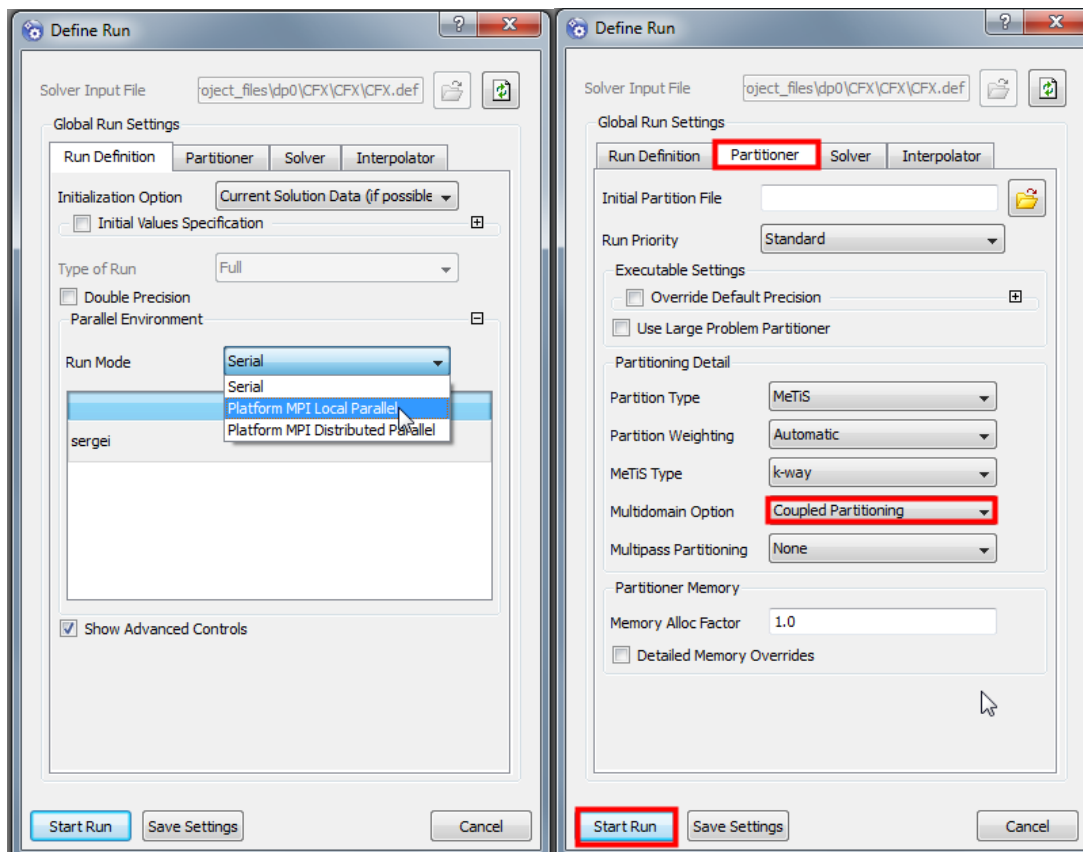


33. Закрываем препроцессор CFX и открываем SolveCFX - передовой алгебраический многосеточный сопряженный решатель, использующий технологию CoupledAlgebraicMultigrid, являющуюся ключом к получению точных результатов в короткие сроки. Параметры решателя, граничные условия могут быть скорректированы во время выполнения расчета, при этом нет необходи-

мости останавливать решатель. Решатель ANSYS CFX использует схему дискретизации второго порядка по умолчанию, обеспечивая получение максимально точных результатов. Использование технологии сопряженных решателей ANSYS CFX дает значительные преимущества при проведении любого расчета, неважно, для вращающихся машин, многофазных потоков, горения или для любой другой физической модели и позволяет получить устойчивые и масштабируемые решения для задач динамики жидкостей и газов.



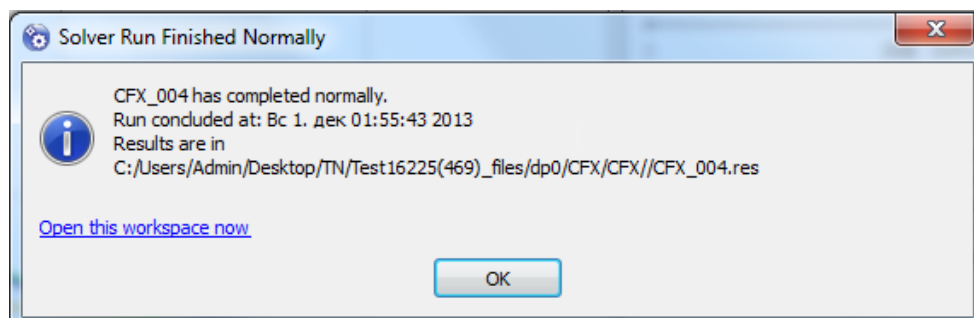
34. Выбираем способ вычисления решения. Решатель ANSYS CFX разрабатывался для получения максимальной эффективности при выполнении параллельных расчетов. Этот атрибут стал еще более необходимым, когда получили распространение многоядерные процессоры и кластеры. Обладая масштабируемостью в зависимости от производительности процессора и объема памяти, ANSYS CFX позволяет повысить производительность аппаратного обеспечения. В решателе ANSYS CFX все без исключения физические модели работают параллельно.



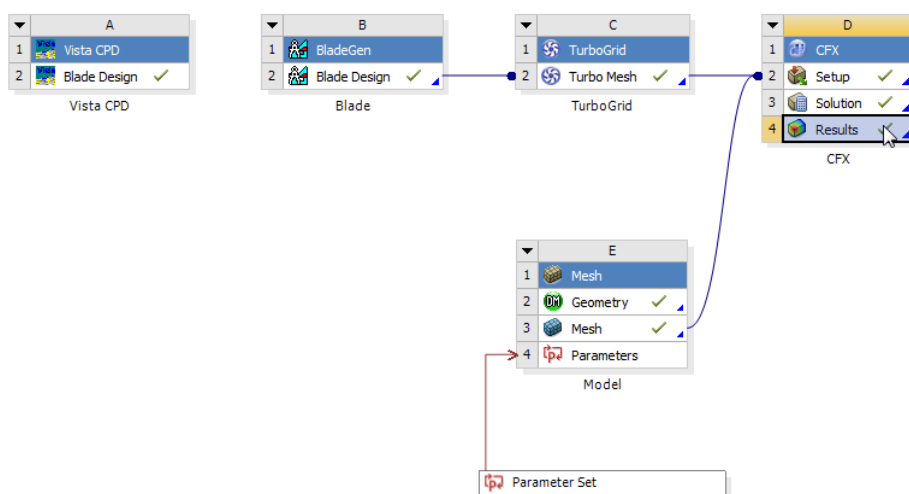
35. Построение решения займёт от 30 минут до 1,5 часов. Если количества итераций не хватит для нахождения точного решения, необходимо вернуться к шагу 30.



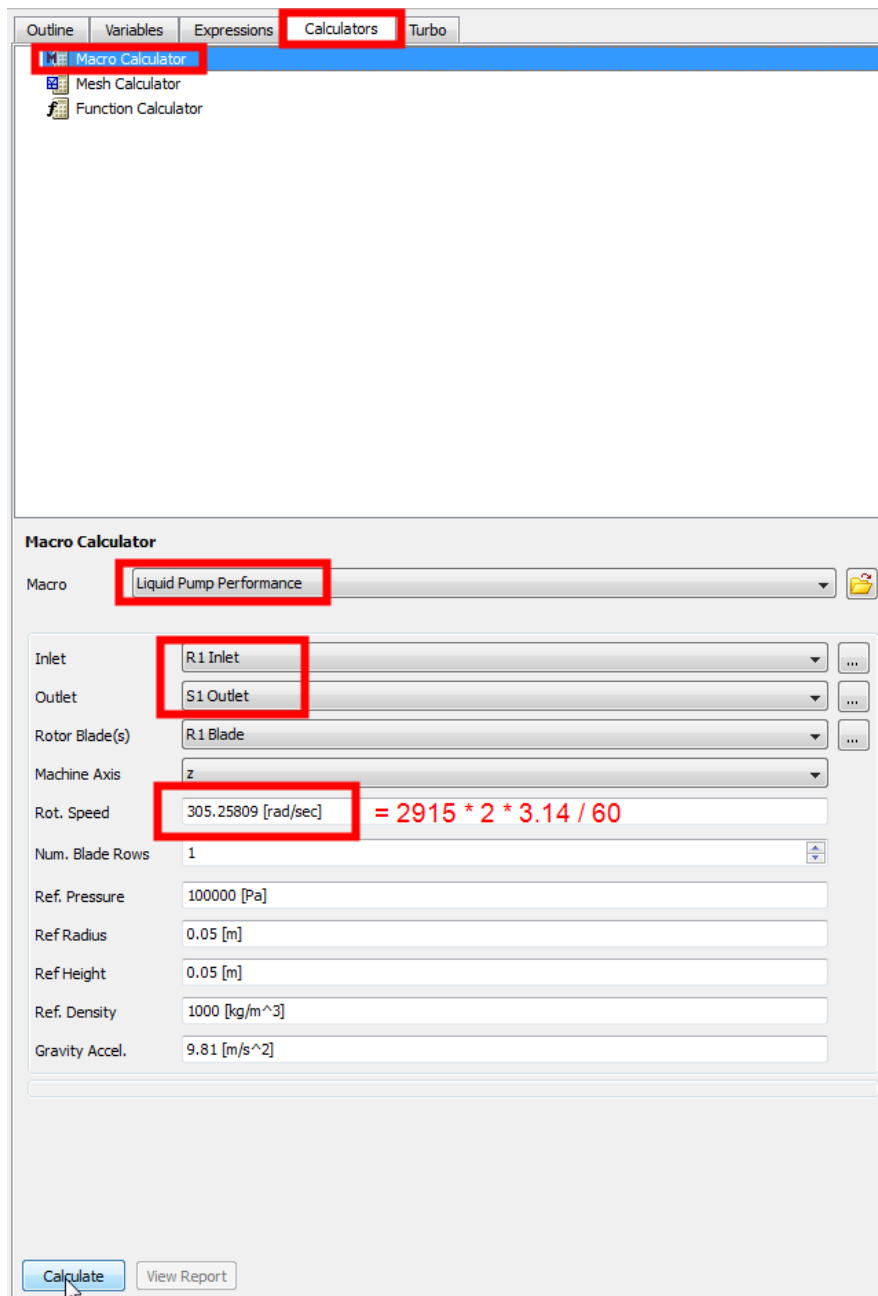
36. Решение найдено. Закрываем CFX-SolveManager.



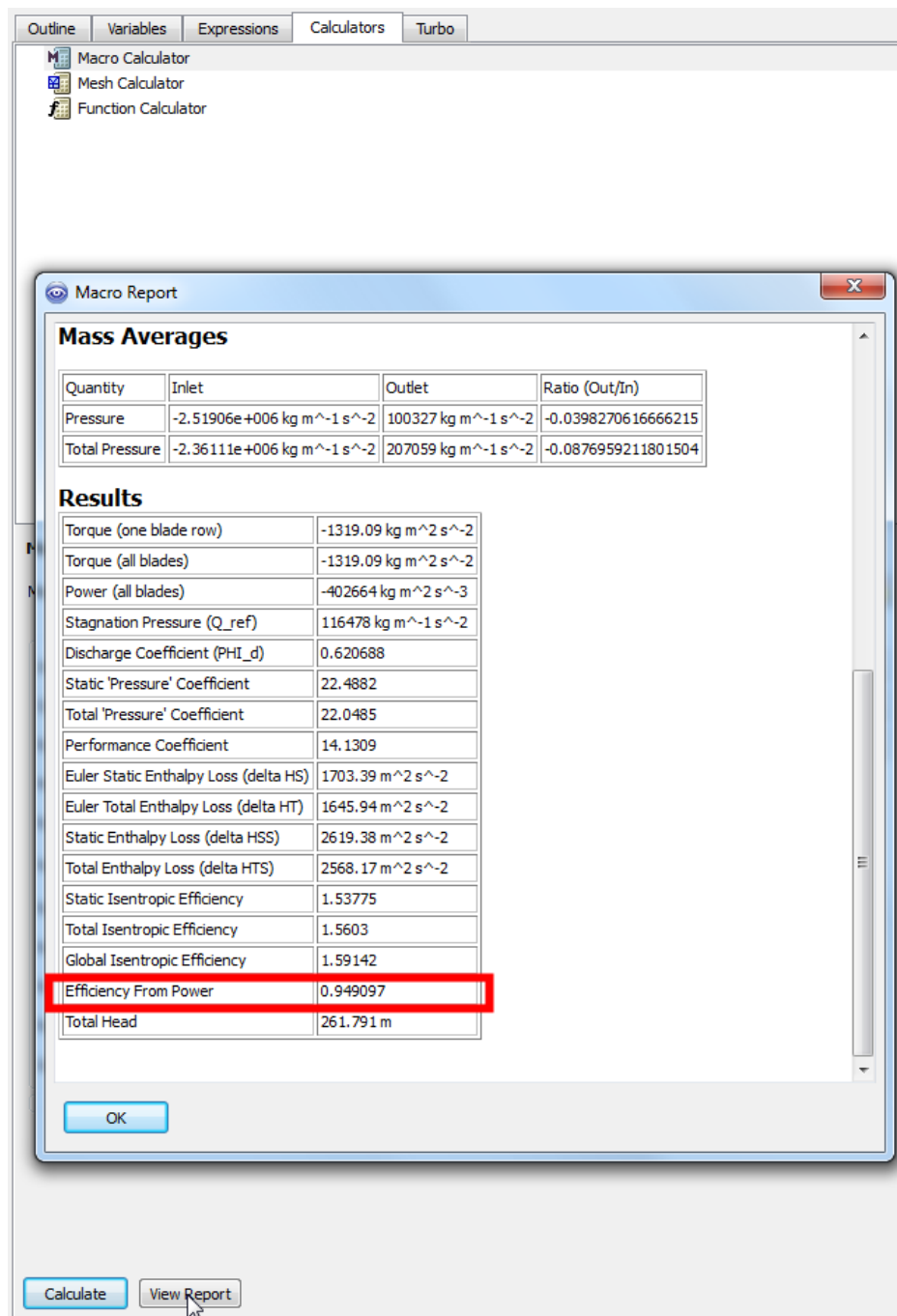
37. Открываем CFXResults. Постпроцессинг результатов графического и количественного анализа, полученных в ANSYS CFX, выполняется в ANSYS CFD-Post. Возможность написания сценариев, полная автоматизированность, генерация отчетов дают пользователю максимальное количество информации, полученной в результате расчетов. Наивысшая производительность ANSYS CFX основана не на какой-то одной отличительной черте. Это набор испытанных передовых технологий, применяемых во всех составляющих программного обеспечения, что дает точность, надежность, быстродействие и гибкость выполнения поставленных задач.



38. Найдём гидравлический КПД смоделированного насоса. Для этого откроем Calculators ->MacroCalculator ->LiquidPumpPerformance, где устанавливаем вход, выход и угловую скорость. Жмём Calculate.



39. Нажимаем ставшую доступной кнопку ViewReport и в появившемся окне ищем EfficiencyFromPower: значение ячейки, соответствующей данной строке, и будет являться нашим ответом, т.е. гидравлическим КПД спроектированного насоса.



40. Гидравлический КПД = 94,9097%

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Боровиков В.П.: Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Горячая линия - Телеком, 2013.
- 2 Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1986.
- 3 Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. Учебник для вузов. – Мн.: Дизайн-ПРО, 2004.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Профилирование проточной части центробежного насоса на платформе ansys workbench.....	3
Библиографический список.....	36

ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НА ПЛАТФОРМЕ ANSYS WORKBENCH

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсовой работы по дисциплине
«Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли»
для студентов направления 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
(программы «Моделирование и оптимизация рабочих процессов
в энергетических системах газонефтепроводов» и «Нефтегазовое дело»)
всех форм обучения

Составители:

Валюхов Сергей Георгиевич
Галдин Дмитрий Николевич
Кретинин Александр Валентинович

Компьютерный набор Д. Н. Галдина

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 07.12.2021.
Уч. изд. л. 2,3.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84