

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ РАБОТЕ ВИНТА ДВС**

Электронное учебное пособие

Работа выполнена по мероприятию блока 2 «Развитие и повышение эффективности научно-инновационной деятельности» и блока 3 «Развитие информационной научно-образовательной среды и инфраструктуры» Программы развития СГАУ на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка технологии и методического обеспечения для создания виртуального двигателя внутреннего сгорания и проектирование на этой основе ДВС мощностью 2 л.с.»

Соглашение № 2/13 от 3 июня 2013 г.

С А М А Р А

2013

УДК 629.1

ББК 30.1

М 744

Авторы: **Бирюк Владимир Васильевич**

Горшкалёв Алексей Александрович

Ахполов Денис Андреевич

Палагин Евгений Сергеевич

Каюков Сергей Сергеевич

Редакторская обработка: А.А. Горшкалёв

Компьютерная верстка: Д.А. Ахполов

Доверстка: Е.С. Палагин

Моделирование аэродинамических процессов, возникающих при работе винта ДВС

[Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / В. В. Бирюк, А. А. Горшкалёв, Д. А. Ахполов, Е. С. Палагин, С. С. Каюков. – Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (2,89 Мбайт). - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM)

В электронном учебном пособии представлена методика построения трехмерной сеточной модели винта и участка аэродинамической трубы с использованием CAD/CAE – технологий. Приведена методика трехмерного моделирования и расчета тепловых и газодинамических процессов на участке аэродинамической трубы с использованием программы *ANSYS Fluent*, позволяющей получить поля распределений всех основных термодинамических параметров.

Электронное учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров по направлению 141100.62 «Энергетическое машиностроение», изучающих дисциплину «Теория рабочих процессов ДВС» в 5, 6 семестре, магистров по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов», изучающих дисциплину «Газовая динамика агрегатов и систем ДВС» в семестрах А, В.

Подготовлено на кафедре теплотехники и тепловых двигателей

© Самарский государственный
аэрокосмический университет 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ ВИНТА И УЧАСТКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САД РЕДАКТОРА SOLIDWORKS И ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ ANSYS WORKBENCH.....	5
1.1 Подготовка геометрической модели винта и участка аэродинамической трубы.....	5
1.2 Построение трехмерной сеточной модели винта и участка аэродинамической трубы	15
2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МОДЕЛИ ВИНТА И НА УЧАСТКЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ANSYS FLUENT	18
2.1 Настройка параметров сетки.....	18
2.2 Настройка модели решателя	19
2.3 Настройка параметров рабочего тела	21
2.4 Настройка граничных условий	22
2.5 Настройка параметров движения сетки.....	26
2.6 Предварительный просмотр движения сетки	32
2.7 Настройка начальных параметров модели.....	33
2.8 Запуск решения задачи	34
2.9 Анализ результатов решения	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	39

ВВЕДЕНИЕ

Целью данного методического пособия является наглядное представление процессов, происходящих в аэродинамической трубе при вращении авиационного винта. Моделирование протекания тепловых и газодинамических процессов внутри аэродинамической трубы осуществляется с помощью программы *ANSYS Fluent*. Сложности процесса моделирования связаны с построением модели расчетной сетки, которая должна двигаться в полном соответствии с тем движением, которое совершается рабочим телом внутри аэродинамической трубы.

В данную методику расчета входят следующие этапы:

- Первоначальная настройка модели винта и внутреннего пространства аэродинамической трубы для наглядного представления происходящих в ней процессов.
- Настройка движения конечно-элементной сетки для моделирования процессов вращения винта.
- Настройка решателя *ANSYS Fluent*.
- Анализ полученных данных.

Данный информационный ресурс может использоваться студентами и преподавателями для получения полей распределения основных термодинамических параметров внутри аэродинамической трубы с помощью программы *ANSYS Fluent*, а также позволяет получить навыки работы с движущимися расчетными сетками.

1 МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ ВИНТА И УЧАСТКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CAD РЕДАКТОРА SOLIDWORKS И ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ ANSYS WORKBENCH

1.1 Подготовка геометрической модели винта и участка аэродинамической трубы

Построение трехмерной модели винта и участка аэродинамической трубы осуществлялось с использованием CAD редактора *SolidWorks* (рисунок 1).



Рисунок 1 – Трехмерная модель винта внутри участка аэродинамической трубы

Любое инженерное моделирование начинается с геометрии. На данный момент *ANSYS* в своем составе имеет интегрированный CAD редактор-*ANSYS Design Modeler*. *Design Modeler* - универсальный CAD-редактор с широким набором инструментов для создания новой геометрии, а также для разбиения и упрощения импортированной геометрии. Данный модуль в своей основе имеет ядро *Parasolid*®, обладает надежным, отказоустойчивым генератором геометрии и соответствует производственным стандартам. *ANSYS Design Modeler* позволяет создавать и параметризовать геометрию на основе двумерных эскизов или встроенных примитивов, а также выполнять последующие операции редактирования. Весь ход моделирования отображается в древовидной истории проекта, что позволяет изменять первоначальные параметры в любой момент создания геометрии.

Для импорта геометрии используется твердотельная модель формата *Parasolid Text*. Чтобы создать твердотельную модель *Parasolid* необходимо в CAD редакторе *SolidWorks* перейти во вкладку «Файл» – «Сохранить как», и в окне сохранения выбрать формат файла *Parasolid* (*.x_t) (рисунок 2).

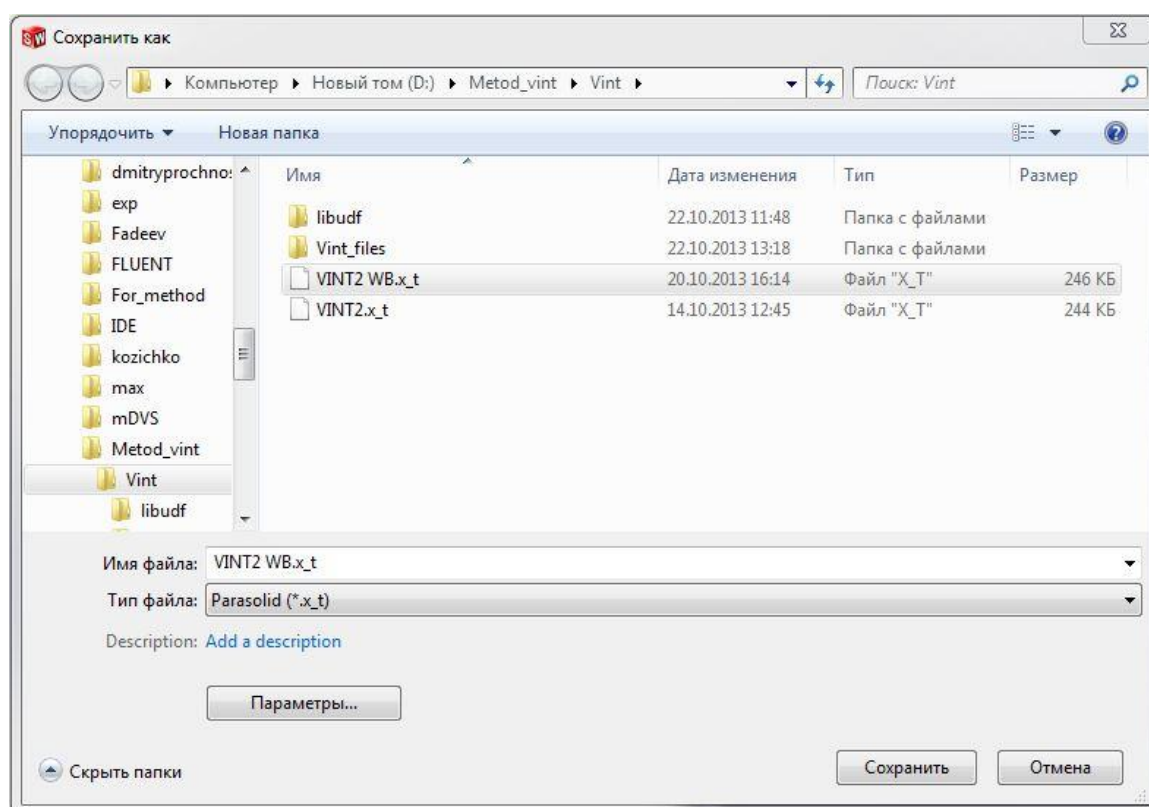


Рисунок 2 – Сохранение твердотельной модели в формате Parasolid Text

Далее необходимо открыть программную платформу *ANSYS Workbench*. Запуск программы осуществляется нажатием на соответствующий ярлык на рабочем столе или из меню «Пуск» ОС «Windows». В результате откроется рабочее окно проекта (рисунок 3). Далее необходимо переместить желаемый тип анализа (в данном случае «*Fluid Flow (FLUENT)*») из панели инструментов *Toolbox Component Systems* в схему проекта *Project Schematic*. После выполнения этой операции в окне *Project Schematic* появится проект «*Fluid Flow (FLUENT)*». Меню проекта показано на рисунке 4. Запуск программы *Design Modeler* осуществляется командой «*Geometry*» в схеме проекта.

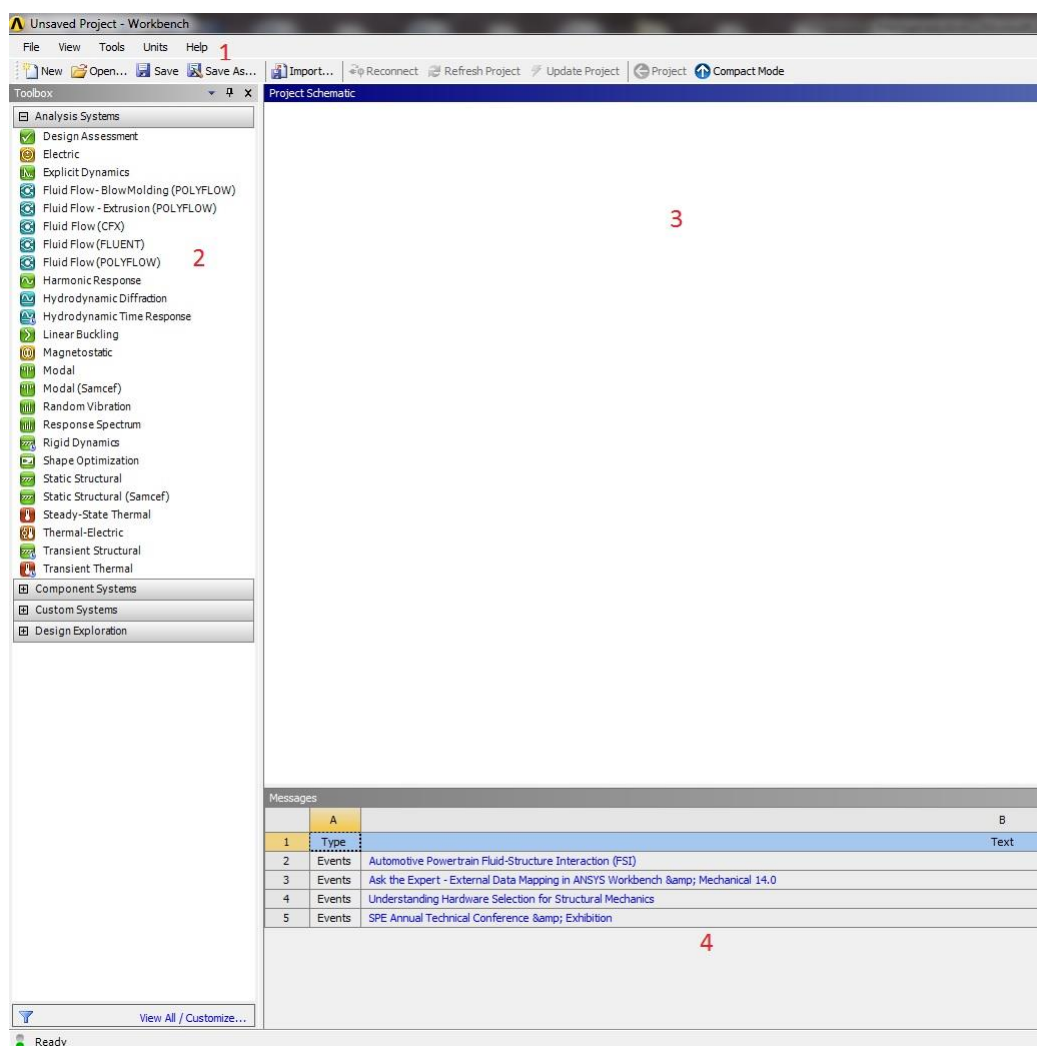


Рисунок 3. Рабочее окно программной платформы *ANSYS Workbench*: 1 – главное меню программы; 2 – панель инструментов; 3 – рабочая область; 4 – окно сообщений

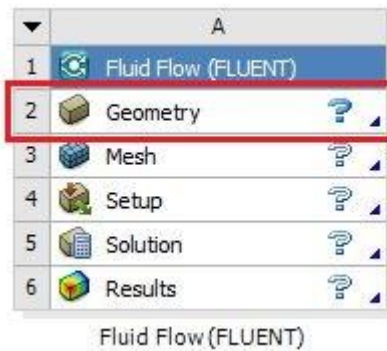


Рисунок 4 – Меню «*Fluid Flow (FLUENT)*» в рабочей области программы

При запуске программы необходимо в появившемся окне (рисунок 5) выбрать размерность, в которой будут производиться расчеты. Выбираем метры и нажимаем «*Ок*».

Далее переходим в меню «*File – Import External Geometry File...*» (рисунок 6) и выбираем сохраненную ранее твердотельную модель Parasolid. После этого в древе модели появится пункт «*Import1*» на который нужно нажать правой кнопкой мыши и в появившемся списке выбрать «*Generate*» (рисунок 7). Импортированная модель показана на рисунке 8.

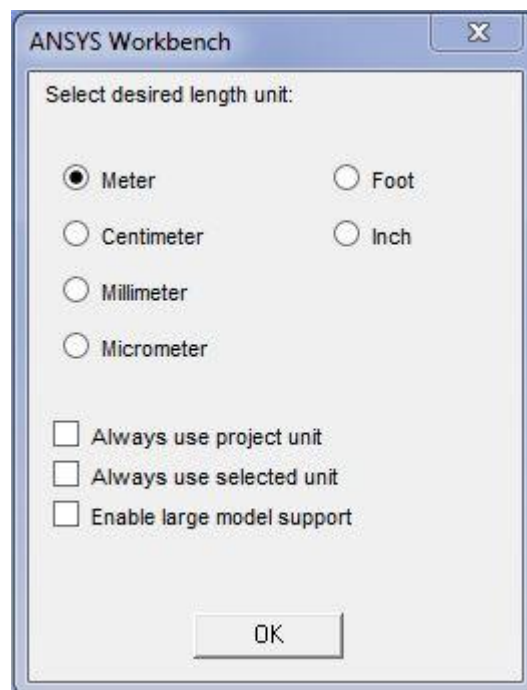


Рисунок 5 – Окно выбора размерности модели

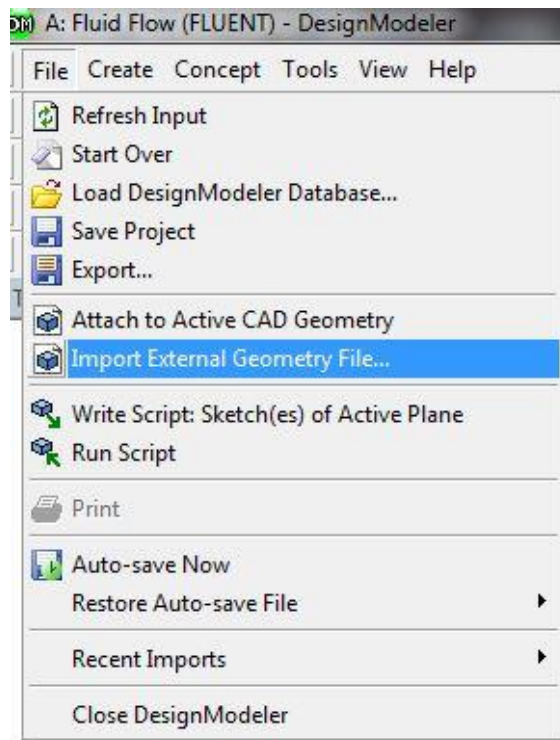


Рисунок 6 – Импорт твердотельной модели *Parasolid*

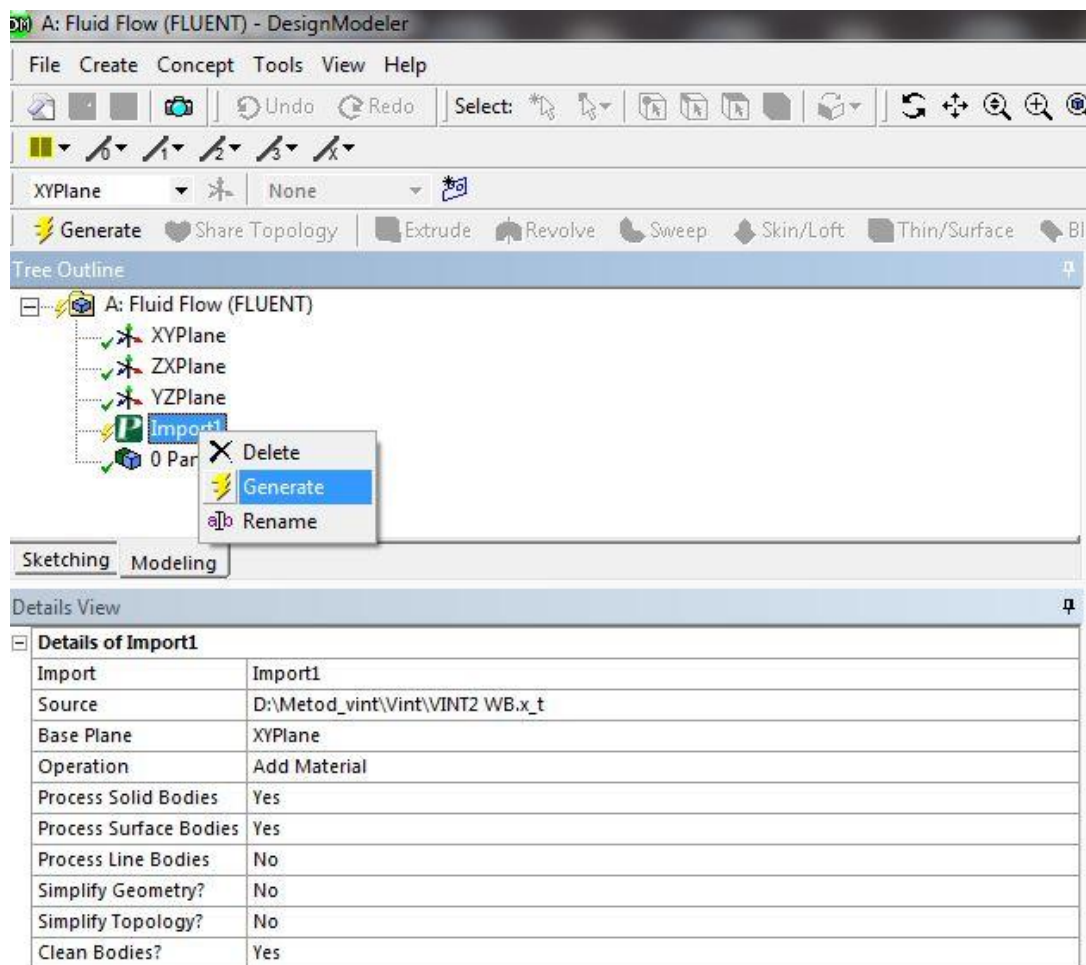


Рисунок 7 – Генерация модели из файла *Parasolid* (*.x_t)

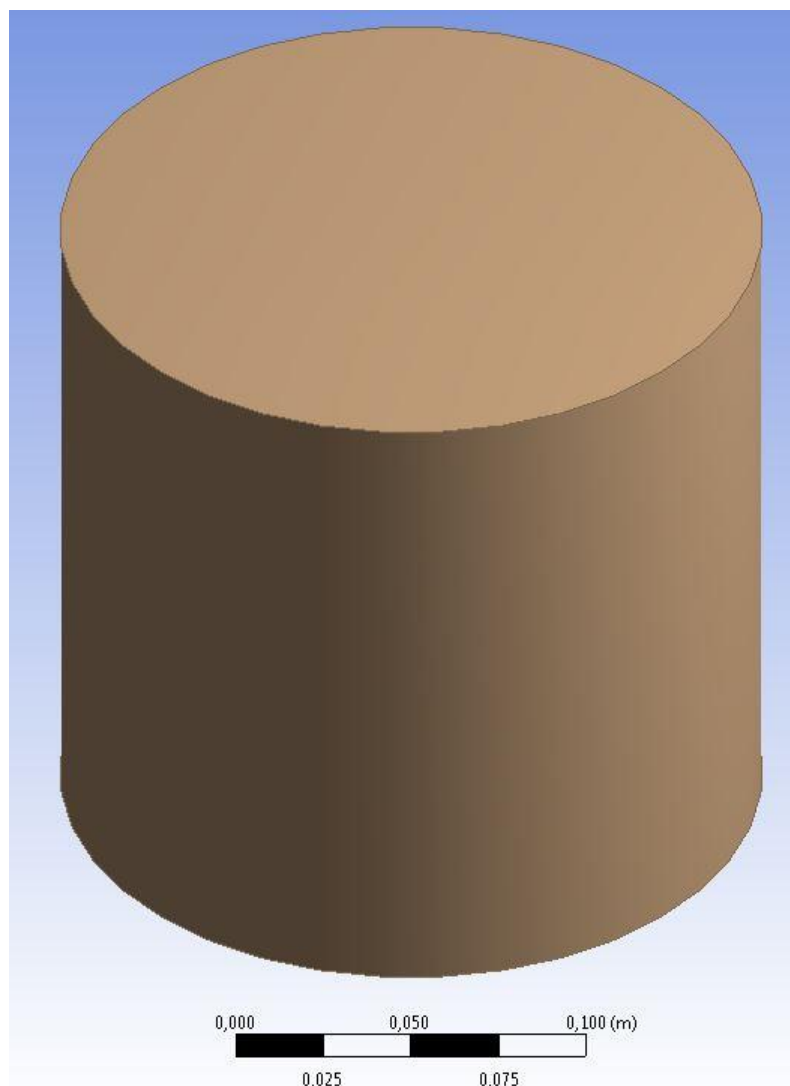


Рисунок 8 – Импортированная модель винта внутри участка аэродинамической трубы

Для того чтобы скрыть, или отобразить элементы модели нужно в древе модели нажать правой кнопкой на элемент, который нужно скрыть и выбрать пункт «*Hide Body*» («*Show Body*», если элемент нужно отобразить) (рисунок 9).

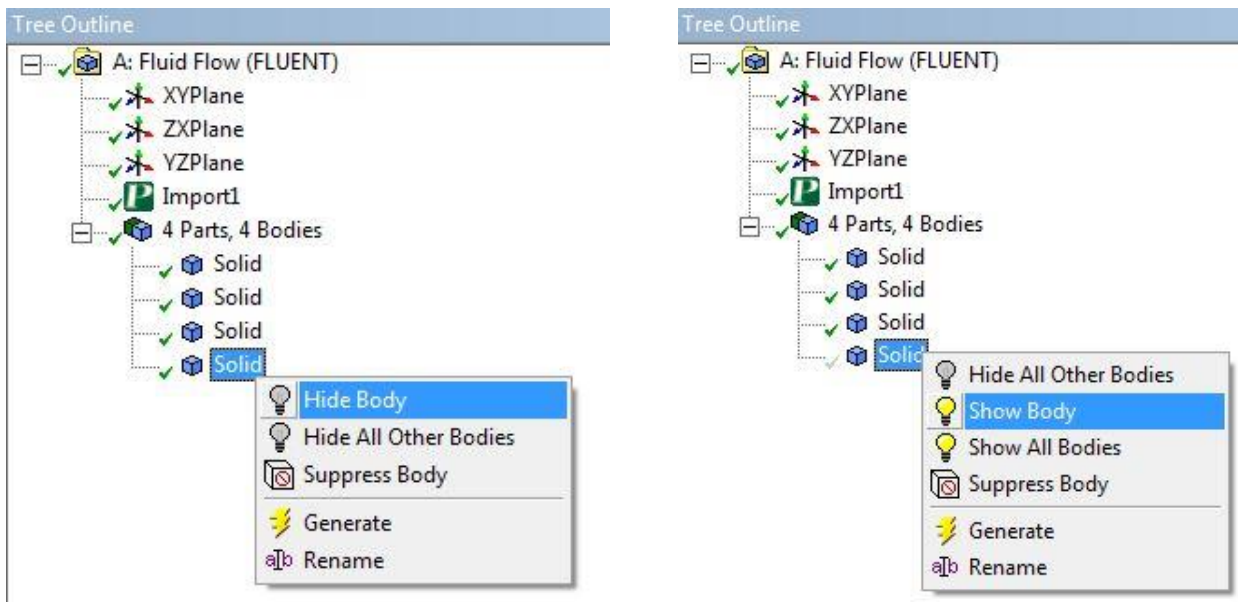


Рисунок 9 – Скрытие и отображение элементов модели

Прежде чем начать работу с геометрической моделью необходимо отключить элементы, которые использовались при построении в CAD редакторе *SolidWorks* (рисунок 10).

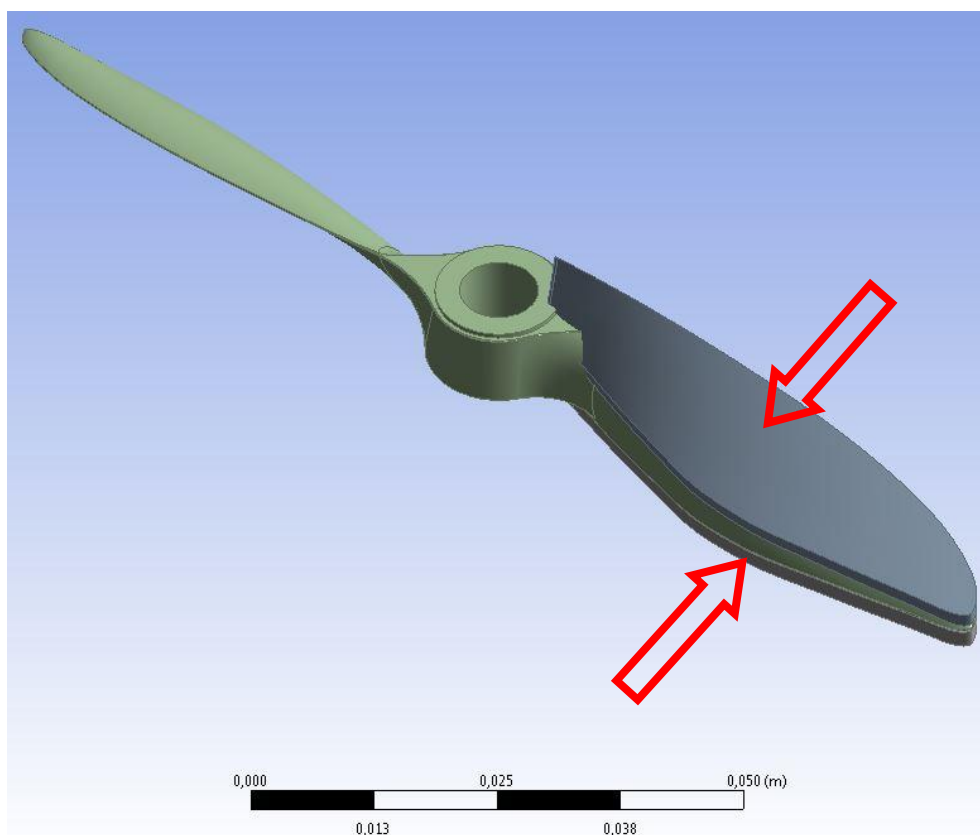


Рисунок 10 – Вспомогательные поверхности модели винта

Для отключения элементов нужно нажать правой кнопкой мыши на элемент в древе модели и выбрать пункт «*Suppress Body*» (рисунок 11).

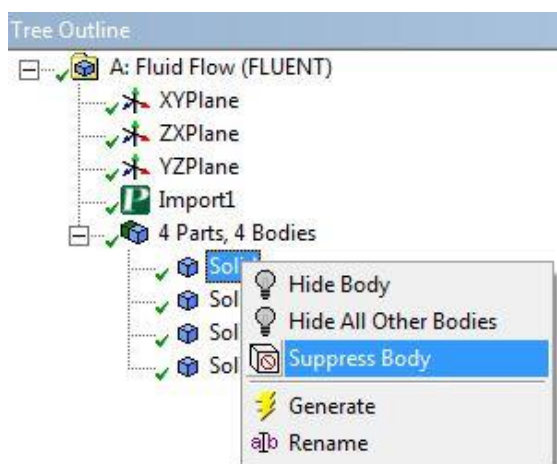


Рисунок 11 – Отключение элементов модели

Для создания сеточной модели винта и участка аэродинамической трубы необходимо вырезать объем винта из объема аэродинамической трубы при помощи булевых операций. Вычитание объемов осуществляется при помощи команды «*Tools – Enclosure*» в главном меню программы (рисунок 12).

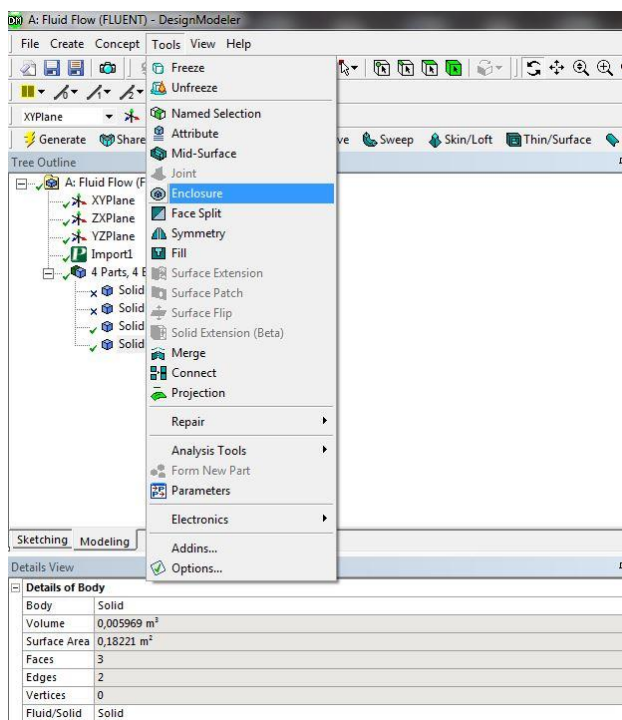


Рисунок 12 – Операция вычитания объемов

Далее в появившемся окне «*Details View*» (рисунок 13) необходимо указать параметры вычитания объемов. В строке «*Enclosure*» указывается имя операции, которое впоследствии будет отображаться в древе модели. В строке «*Shape*» нужно выбрать пункт «*User Defined*». В строке «*User Defined Body*» указывается объем, из которого будут вычтены другие элементы. В строке «*Target Bodies*» необходимо выбрать пункт «*Selected Bodies*» и указать объем винта. Если в строке «*Target Bodies*» выбрать пункт «*All Bodies*», то из объема, указанного в строке «*User Defined Body*», будут вычтены все оставшиеся элементы.

Details of Enclosure2	
Enclosure	Enclosure2
Shape	User Defined
User Defined Body	Selected
Target Bodies	Selected Bodies
Bodies	1
Merge Parts?	No

Рисунок 13 – Окно «*Details View*»

Для выполнения булевой операции нужно нажать правой кнопкой мыши на имя операции в древе модели и выбрать пункт “*Generate*”. Итог операции вычитания объемов показан на рисунке 14.

На этом подготовка модели завершена и окно *Design Modeler* может быть закрыто.

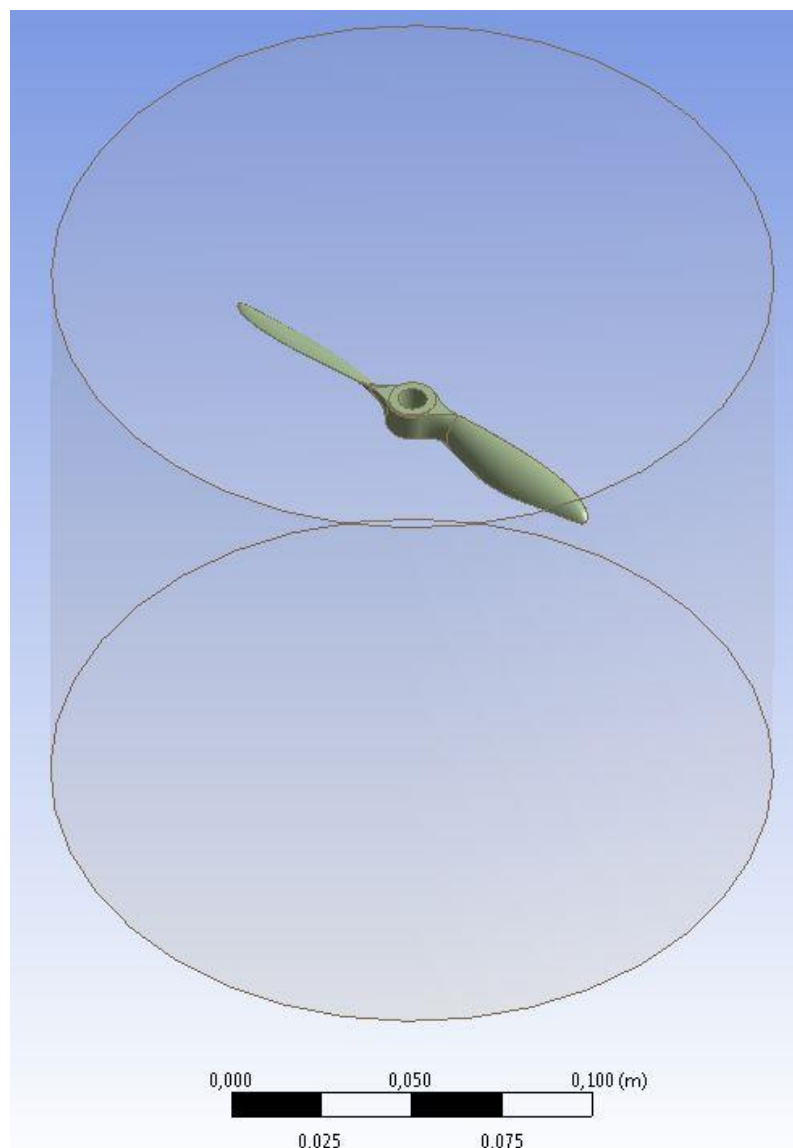


Рисунок 14 – Итог операции вычитания объемов

1.2 Построение трехмерной сеточной модели винта и участка аэродинамической трубы

Создание сеточной модели является неотъемлемой частью процесса компьютерного инженерного моделирования (CAE). Качество сетки влияет на точность, сходимость и скорость получения решения. Кроме того, время, необходимое для создания сетки, часто занимает значительную часть в общем времени выполнения компьютерного инженерного расчета. Поэтому качественные и более автоматизированные инструменты построения сетки дают лучший результат.

Запуск программы *Meshing* осуществляется командой «*Mesh*» в схеме проекта (рисунок 15).

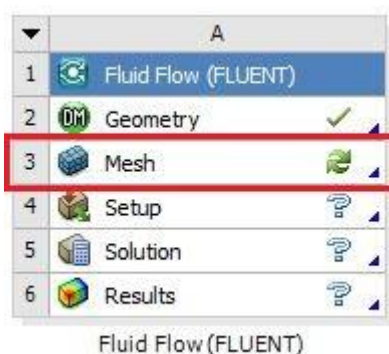


Рисунок 15 – Команда для запуска программы *Meshing*

Для задания параметров сетки в дереве проекта необходимо выбрать вкладку *Mesh*. Далее в окне *Details of «Mesh»* во вкладке *Sizing* необходимо выбрать алгоритм умельчения сетки («*Use Advanced Size Function*») «*On: Curvature*», ввести значения максимального размера элемента «*Max Face Size*» и «*Max Size*» 10 мм и 20 мм соответственно и минимальный размер элемента «*Min Size*» 0,5 мм, как показано на рисунке 16.

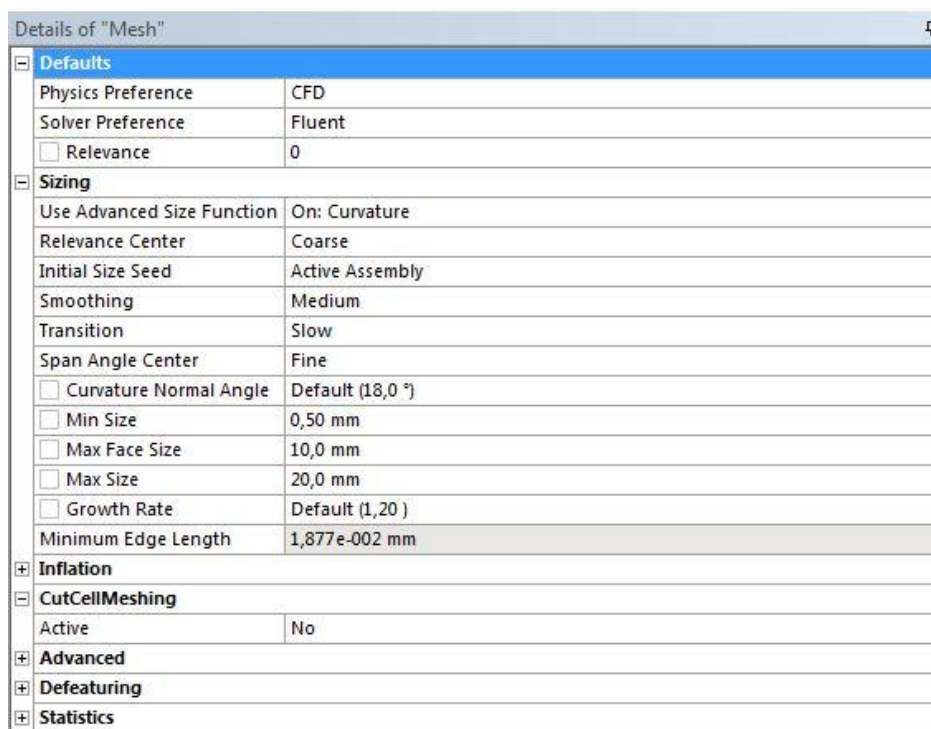


Рисунок 16 – Окно «Details of Mesh»

Последним шагом перед созданием конечно-элементной сетки является задание имен поверхностей. Для этого необходимо выбрать поверхность входа в участок аэродинамической трубы, нажать правую кнопку мыши и выбрать пункт «Create Named Selection» (рисунок 17). В открывшемся окне в строке «Enter a name for the selection group» указываем имя поверхности (*inlet*) и нажимаем «Ок». Аналогичным способом задаются названия для поверхности выхода из участка аэродинамической трубы (*outlet*) и для поверхностей винта (*Vint*). Для удобства выделения всех поверхностей винта можно в главном меню программы нажать кнопку «Select Mode» (рисунок 17) и выбрать пункт «Box Select», после чего прямоугольной зоной выделить все поверхности составляющие винт.

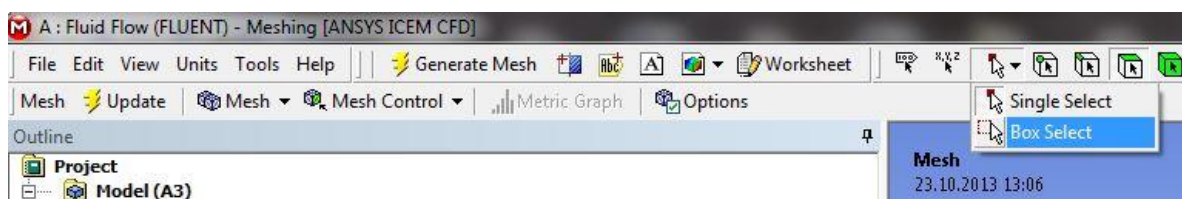


Рисунок 17 – Меню «Select Mode»

Для построения сетки необходимо нажать клавишу «*Generate Mesh*».

Результаты построения сетки на участке аэродинамической трубы и на винте показаны на рисунках 18 и 19 соответственно.

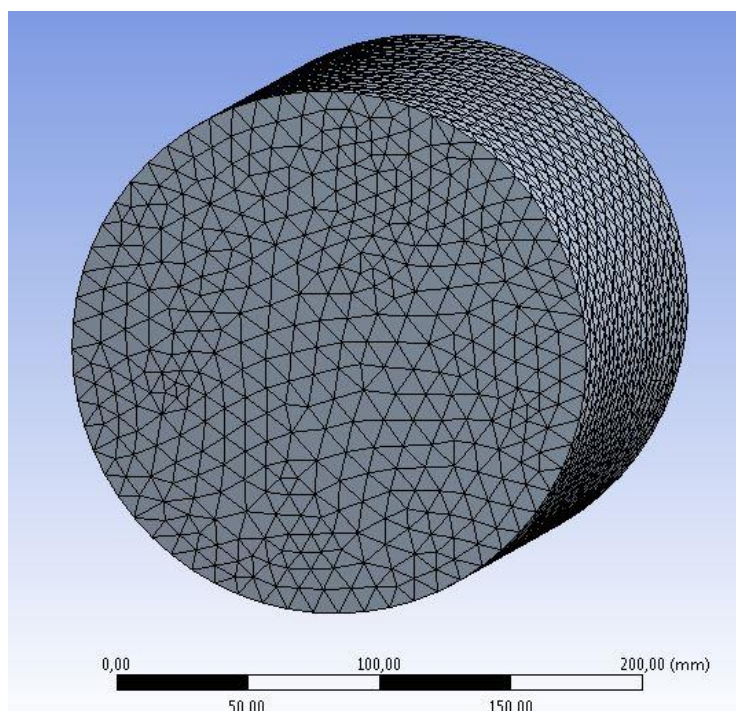


Рисунок 18 – Результат построения сетки на участке аэродинамической трубы

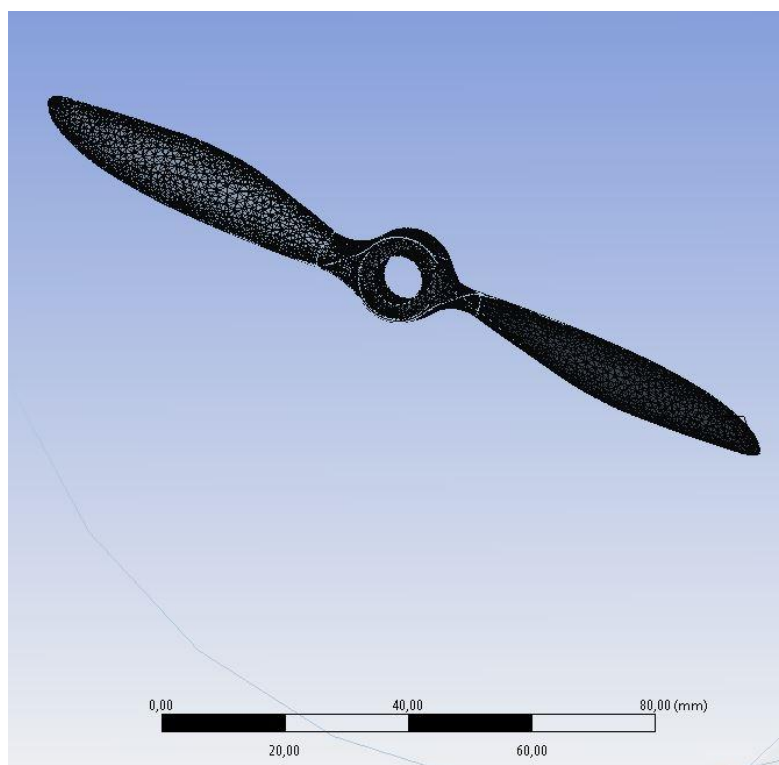


Рисунок 19 – Результат построения сетки на винте

2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МОДЕЛИ ВИНТА И НА УЧАСТКЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ANSYS FLUENT

Для расчета тепловых и газодинамических процессов в программе *ANSYS Fluent* необходимо загрузить созданные ранее сеточную модель и файл профиля движения винта.

2.1 Настройка параметров сетки

Сеточная модель построена в *ANSYS Workbench* в миллиметрах. Размеры расчетных моделей в программе *ANSYS Fluent* должны быть обязательно заданы в метрах, поэтому построенную сетку необходимо масштабировать с помощью команды *Scale Mesh* (*Mesh* → *Scale...*) представленной на рисунке 20.

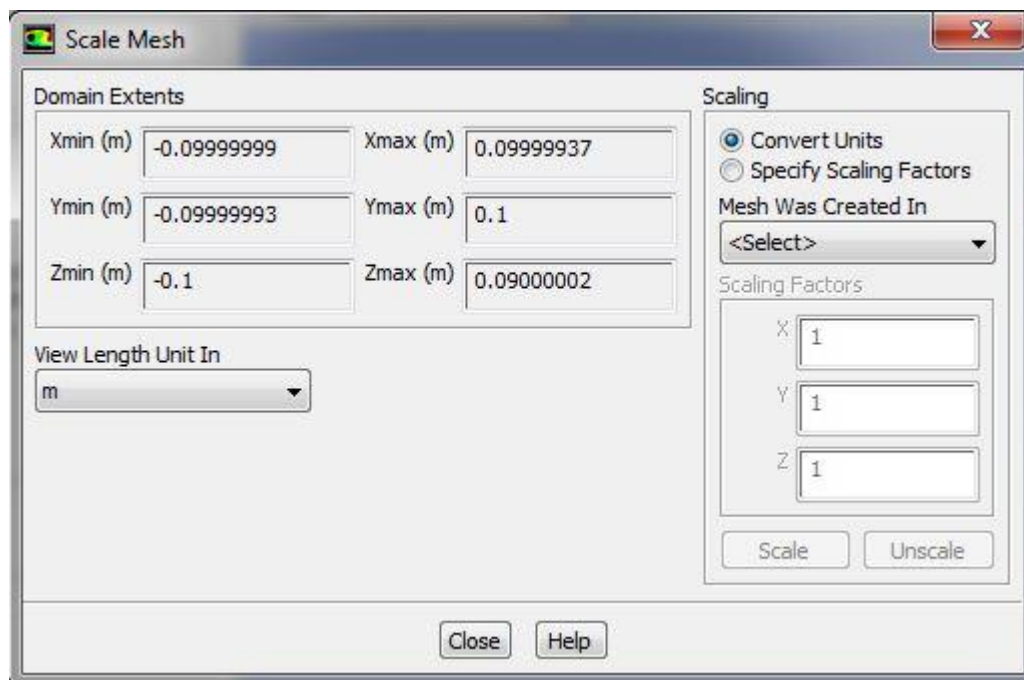


Рисунок 20 – Меню масштаба сетки (*Scale Mesh*)

Далее сетка отображается с помощью команды *Mesh Display* (*Display* → *Mesh...*). Результат отображения представлен на рисунке 21.

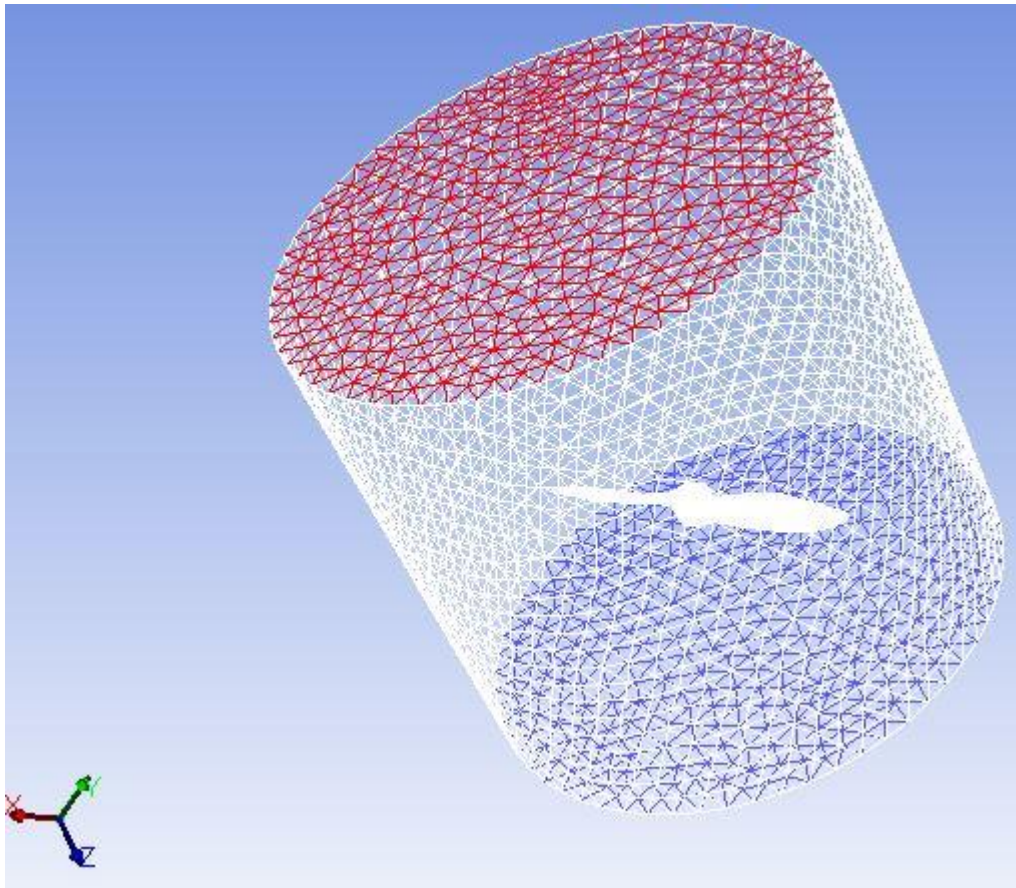


Рисунок 21 – Внешний вид расчетной модели

2.2 Настройка модели решателя

Для решения данной задачи необходимо выбрать нестационарный метод моделирования (рисунок 22) с помощью команды: *Define* → *General* → *Solver...*

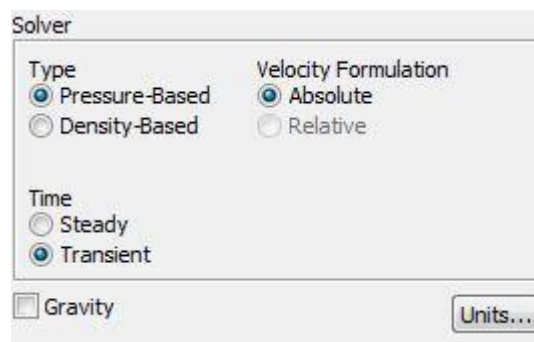


Рисунок 22 – Меню опций решателя (*Solver*)

Для обеспечения высокой точности расчетов необходимо выбрать соответствующую для данной задачи модель турбулентности. Учитывая сложность задачи, необходимо использовать k - ϵ модель турбулентности (рисунок 23). Которая задается с помощью команды: *Define* → *Models* → *Viscous*.

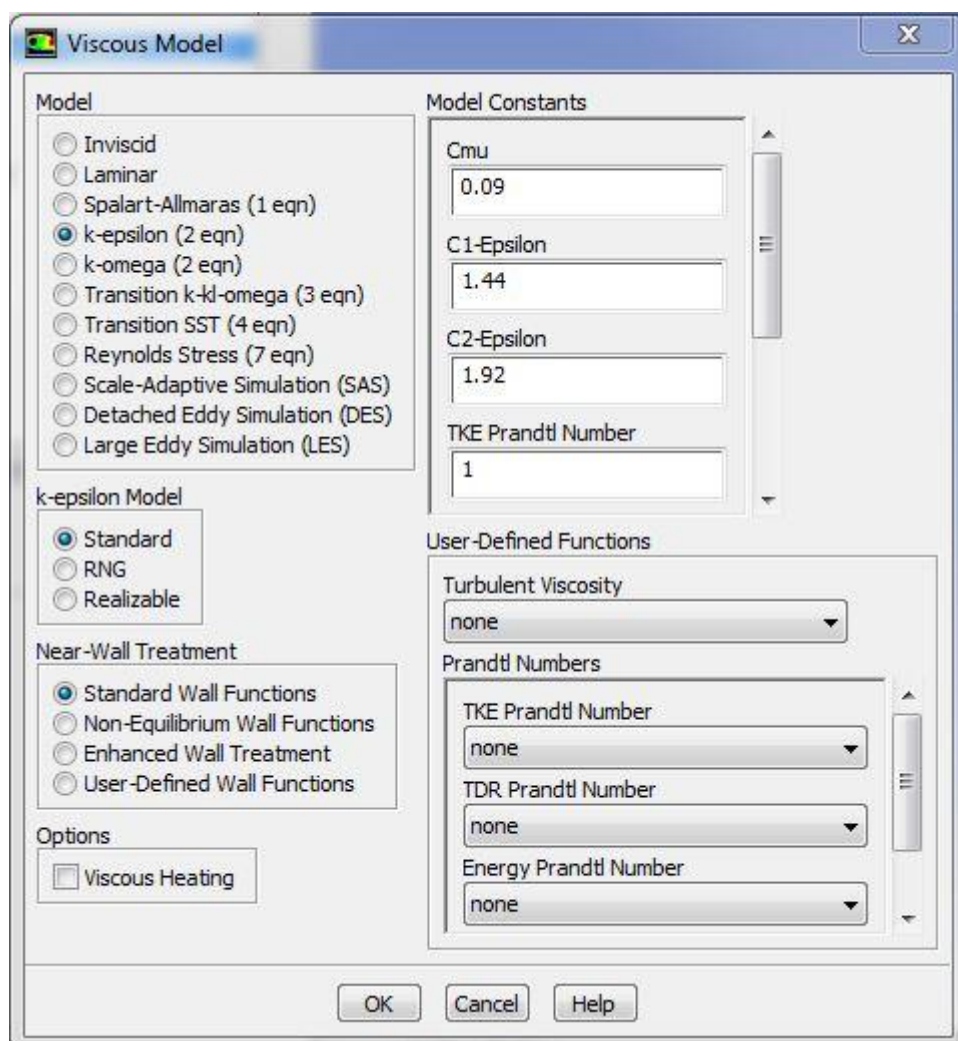


Рисунок 23 – Меню выбора модели турбулентности (*Viscous Model*)

При решении данной задачи необходимо учитывать теплообмен и теплопередачу. Для этого к решению подключается уравнение энергии (рисунок 24) с помощью команды: *Define* → *Models* → *Energy...*

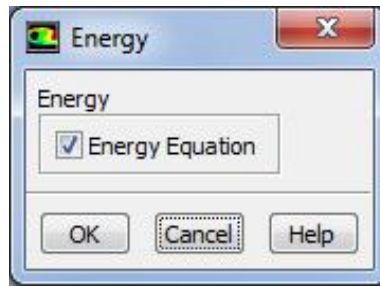


Рисунок 24 – Меню включения уравнения энергии (*Energy*)

2.3 Настройка параметров рабочего тела

В качестве рабочего тела используется воздух, поэтому в меню настройки веществ *Define* → *Materials...* (рисунок 25) задаются параметры воздуха (рисунок 26)

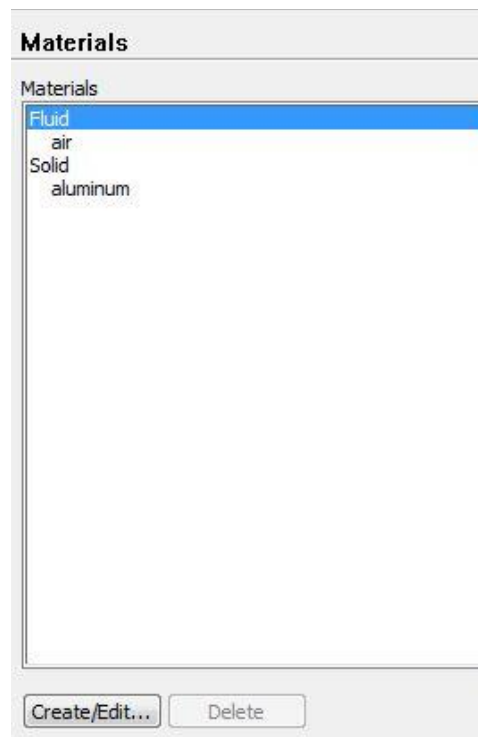


Рисунок 25 – Меню настройки веществ (*Materials*)

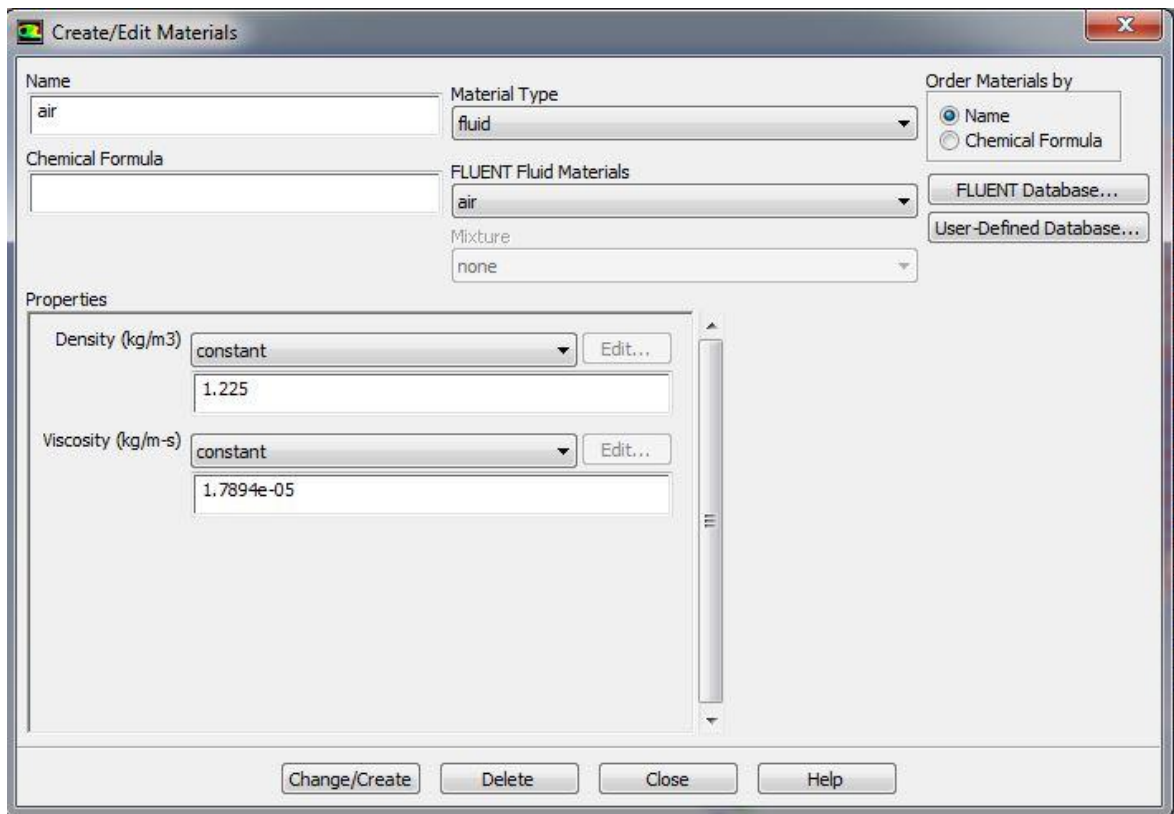


Рисунок 26 - Меню настройки параметров воздуха (*Create/Edit Materials*)

2.4 Настройка граничных условий

В меню «*Boundary Conditions*» (*Define* → *Boundary Conditions...*) задаются граничные условия, определенные в *ANSYS Workbench* (рисунок 27).

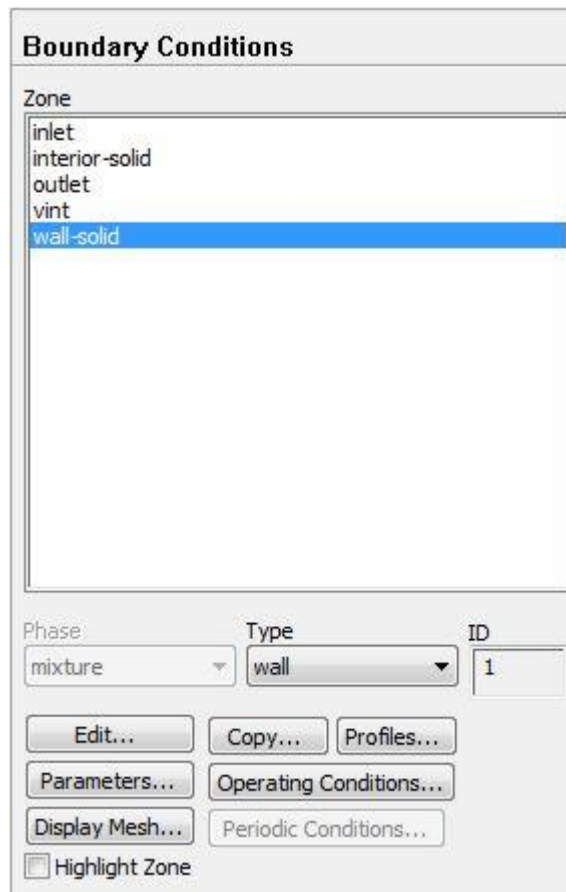


Рисунок 27 – Меню настройки граничных условий (*Boundary Conditions*)

В поле *Zone* отображен список всех граничных условий, определенных в *ANSYS Workbench*. Если выбрать имя одного из них, то в окне *Type* будет указан тип граничного условия. В случае необходимости в этом окне тип граничных условий можно поменять.

Задание граничных условий начинается с *pressure_inlet* (рисунок 28).

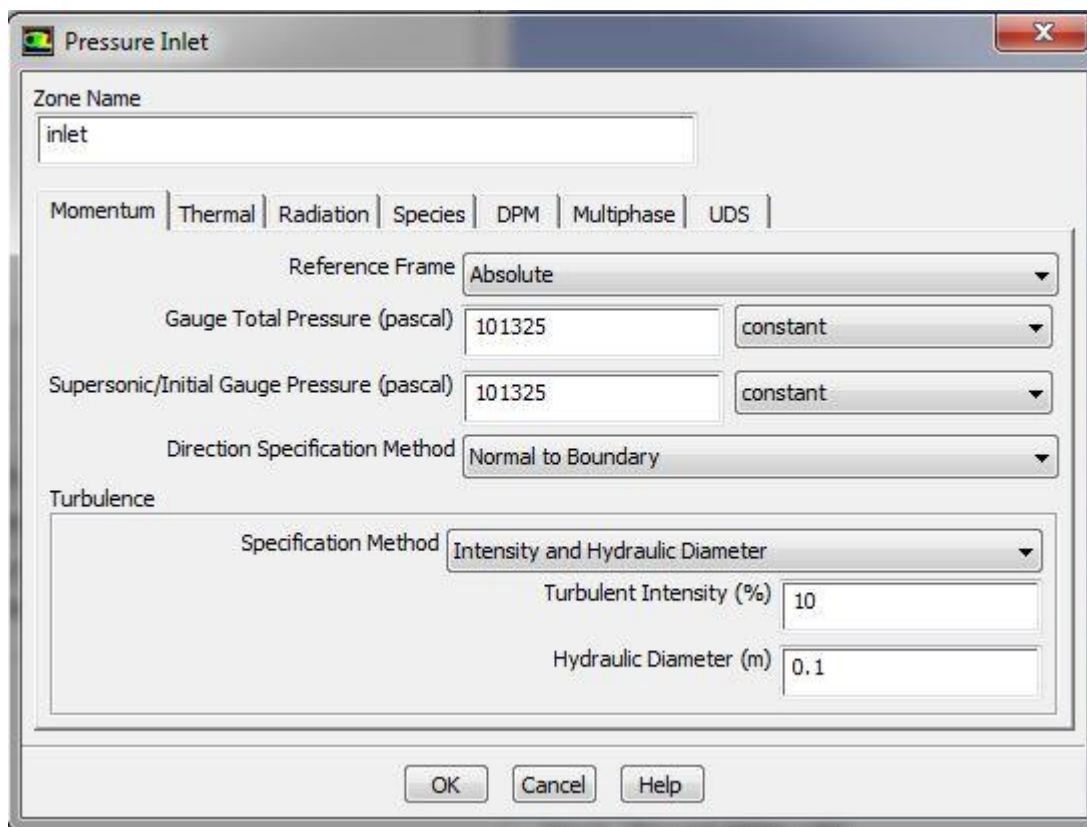


Рисунок 29 – Меню настройки давления на входе (*pressure_inlet*)

Значения избыточного давления на входе в строках «*Gauge Total Pressure*» и «*Supersonic/Initial Gauge Pressure*» равны нормальному атмосферному давлению 101325Па . Это связано с тем, что рабочее давление (опция «*Operating Conditions*») равно 0Па .

В выпадающем списке «*Specification Method*» выбирается опция «*Intensity and Hydraulic Diameter*». В строке интенсивности турбулентности «*Turbulence Intensity*» вводится значение 10% . В строке гидравлического диаметра «*Hydraulic Diameter*» вводится значение $0,1\text{м}$. Гидравлический диаметр рассчитывается по формуле:

$$d_3 = 4F/P, \quad (1)$$

где F – площадь входного сечения участка аэродинамической трубы;

P – периметр входного сечения участка аэродинамической трубы.

Во вкладке *Thermal* в строке *Total Temperature* вводится значение 293К .

Для задания граничного условия на выходной границе в меню «*Boundary Condition*» выбирается данная граница (*outlet*) (рисунок ...).

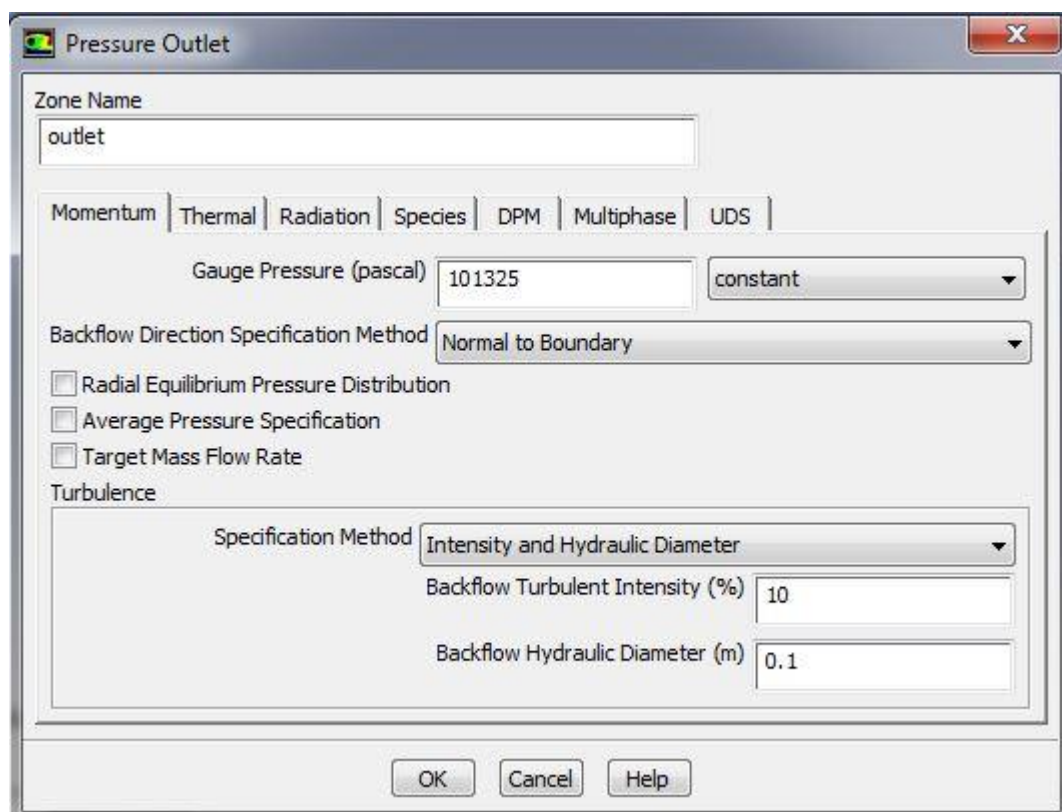


Рисунок 30 – Меню настройки давления на выходе (*pressure_outlet*)

Значения избыточного давления на выходе в строках «*Gauge Pressure*» задается равным нормальному атмосферному давлению 101325Па .

Выбирается опция «*Intensity and Hydraulic Diameter*» в выпадающем списке «*Specification Method*».

В строке интенсивности турбулентности «*Back flow turbulence Intensity*» вводится значение 10% .

В строке гидравлического диаметра «*Back flow Hydraulic Diameter*» вводится значение $0,1\text{ м}$. Гидравлический диаметр рассчитывается аналогично подобному расчету для входной границы участка аэродинамической трубы (*pressure_inlet*).

Во вкладке «*Thermal*» в строке «*Back flow Total Temperature*» вводится значение температуры 293 К .

2.5 Настройка параметров движения сетки

Задание динамической модели движения сетки и её основных параметров (рисунки 31, 32) осуществляется следующим образом:

Define → *Dynamic Mesh...*

При этом выполняется следующая последовательность действий:

Устанавливается галочка перед «*Dynamic Mesh*», выбираются все возможные типы перестройки параметров сетки во время ее движения. Для этого необходимо установить галочку перед «*Smoothing*» и «*Remeshing*»,

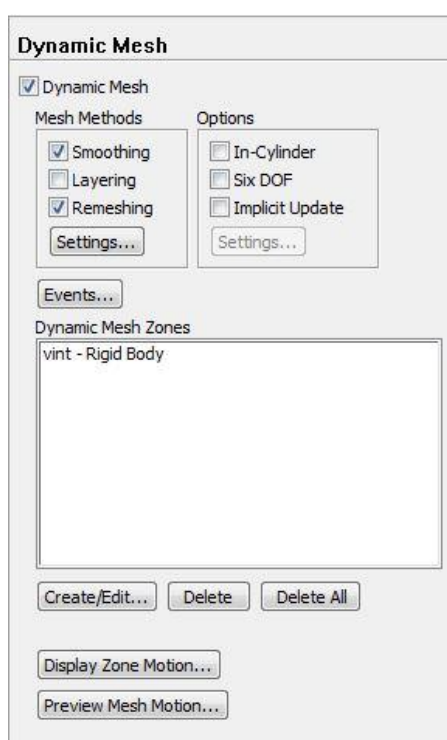


Рисунок 31 – Меню динамической сетки (*Dynamic Mesh*)

В разделе «*Mesh Methods*» используется опция «*Settings...*». В данной опции указываются параметры для схемы перестроения сетки «*Smoothing: Spring Constant Factor – 1, Boundary Node Relaxation – 1*». Значения в строках «*Convergence Tolerance*» и «*Number of Iterations*» равны соответственно 0,001 и 20.

Аналогичным образом происходит настройка параметров для схемы движения сетки «*Remeshing*». Активируется опция «*Local Cell*» и задаются

следующие параметры: *Minimum Length Scale (m)* – 0,001, *Maximum Length Scale (m)* – 0,01, *Maximum Cell Skewness* – 0,95, *Size Remeshing Interval* – 5.

Если элемент выходил за границы предельных значений «*Minimum Length Scale*» или «*Maximum Length Scale limits*», то элементу назначается переразбиение. Следовательно, решается задача – задания необходимых параметров разбиения. В окне «*Mesh Scale Info*» показаны значения наименьшего, наибольшего размера разбиения и значение максимальной скошенности начального разбиения. Меньшие значения максимальной скошенности приводят к улучшению качества сетки и увеличению точности результатов вычислений.

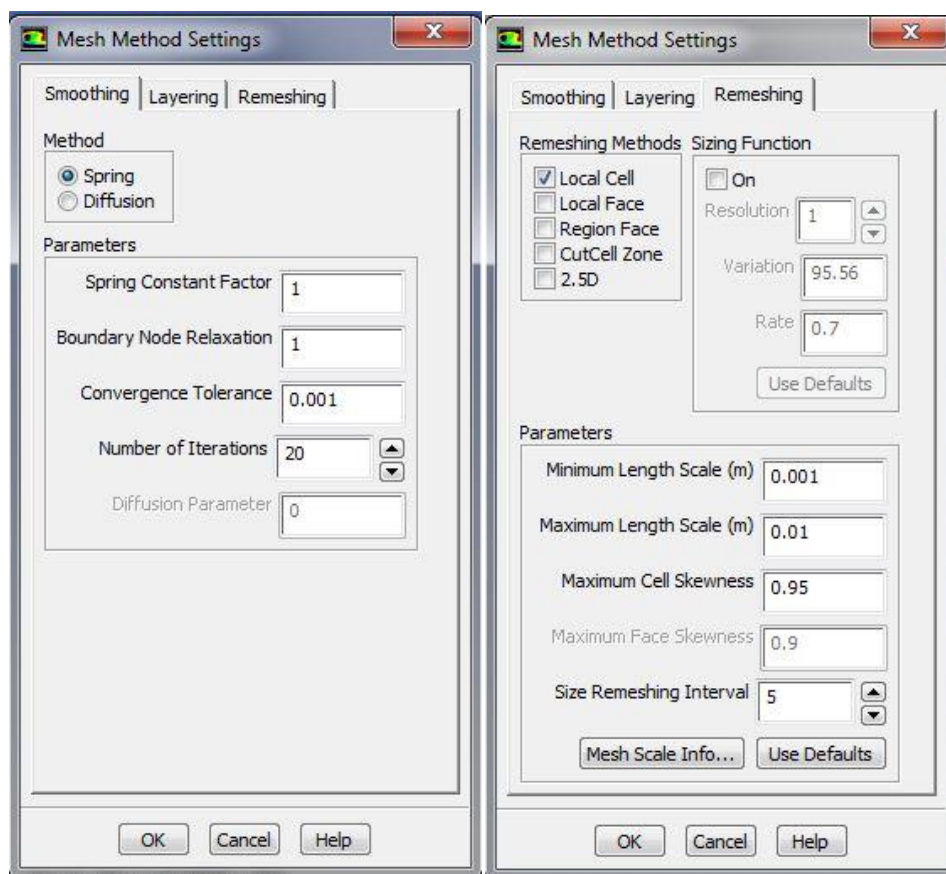


Рисунок 32 – Меню параметров настройки типов движения сетки
(*Mesh Methods Settings*)

Для задания параметров движения винта моделируемого двигателя выполняются следующие действия: *Define* → *Dynamic Mesh...*

Активируется опция «*Create/Edit*» под окном «*Dynamic Mesh Zones*».
Выбирается область *vint* в выпадающем списке «*Zone Names*»,
выбирается опция «*Rigid Body*» в списке «*Type*» (рисунок 33).

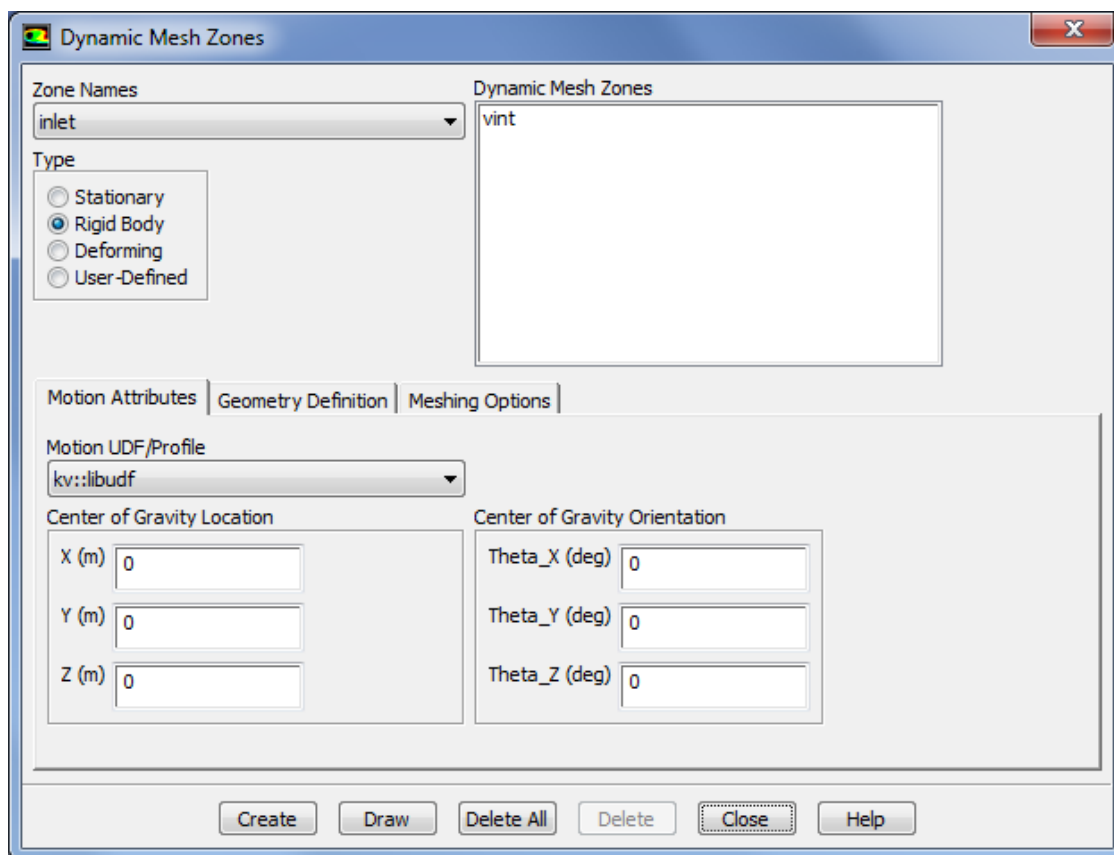


Рисунок 33 – Меню задания параметров зоны сетки *vint*

Следующим этапом моделирования является загрузка файла для компилирования UDF функции вращения коленчатого вала (рисунок 34):

Define → *User-Defined* → *Compiled...*

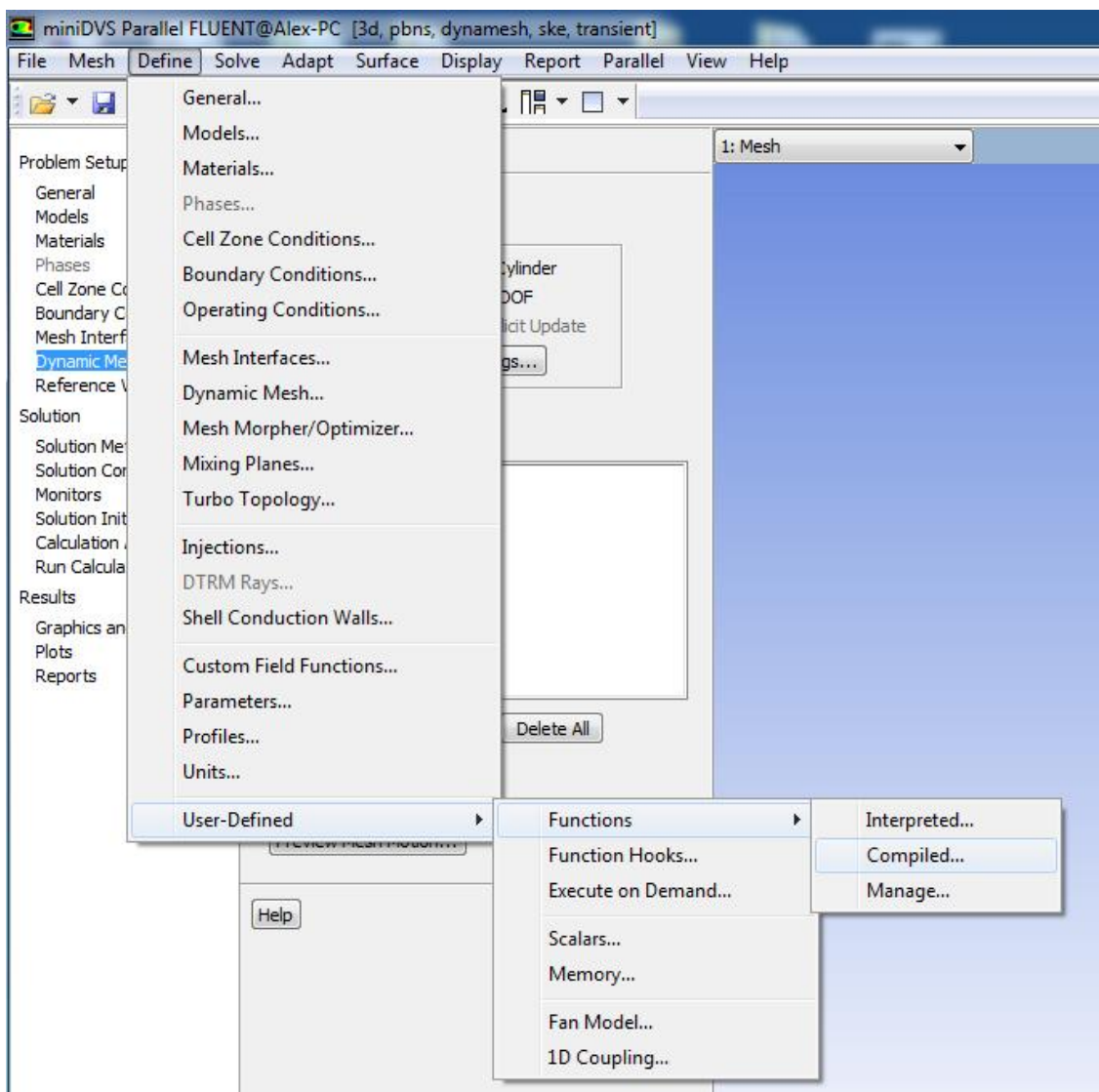


Рисунок 34 – Путь выбора меню компиляции

Появится окно *Compiled UDFs* (рисунок 35) в котором необходимо нажать на клавишу «Add...» под полем «Source Files».

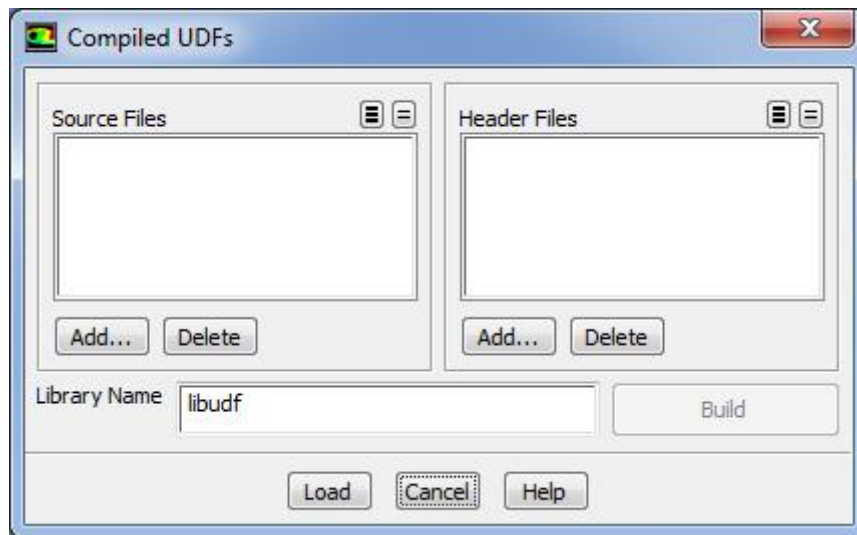


Рисунок 35 – Окно выбора файла для компилирования

После нажатия кнопки «Add» и выбирается файл *DVS.c* (рисунок 36).

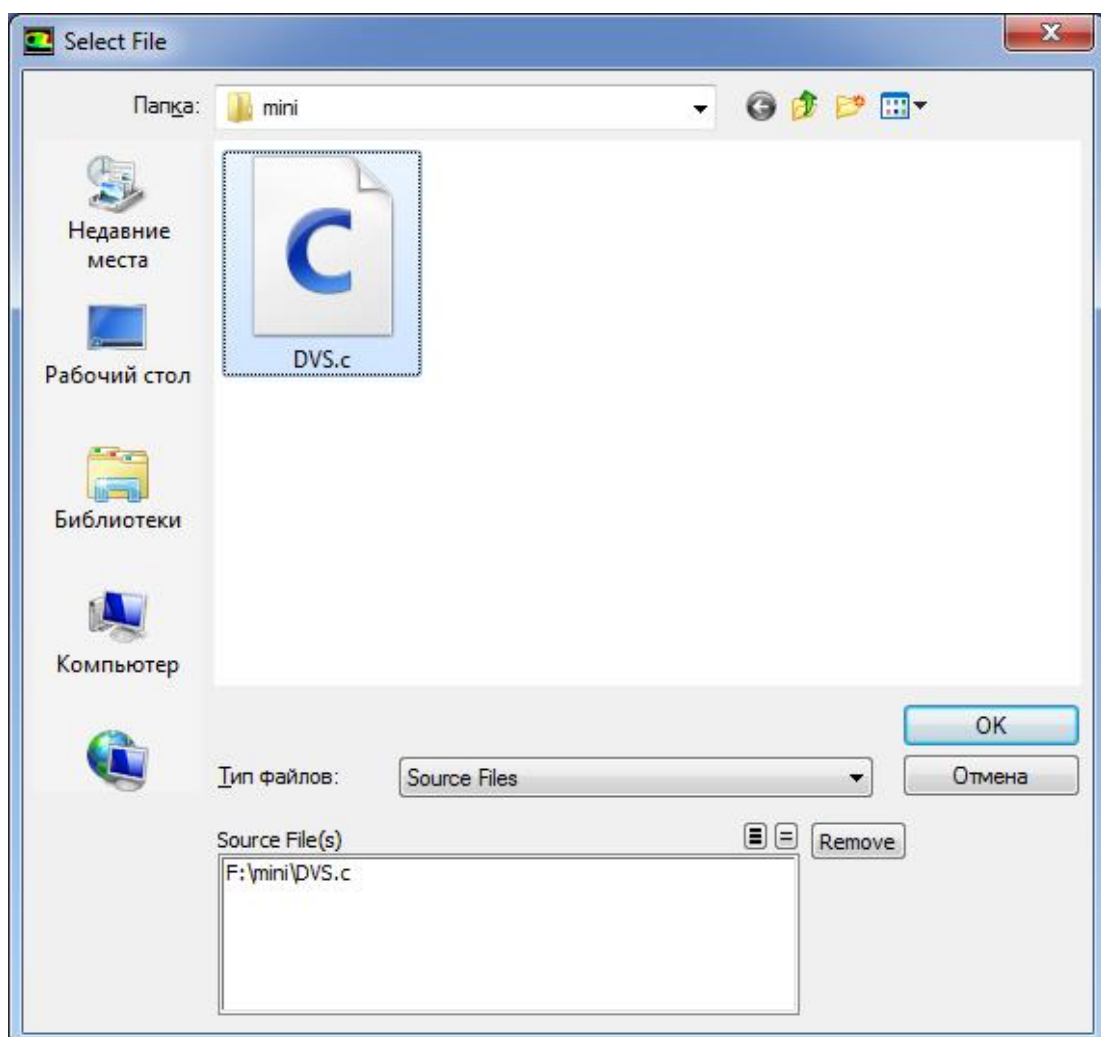
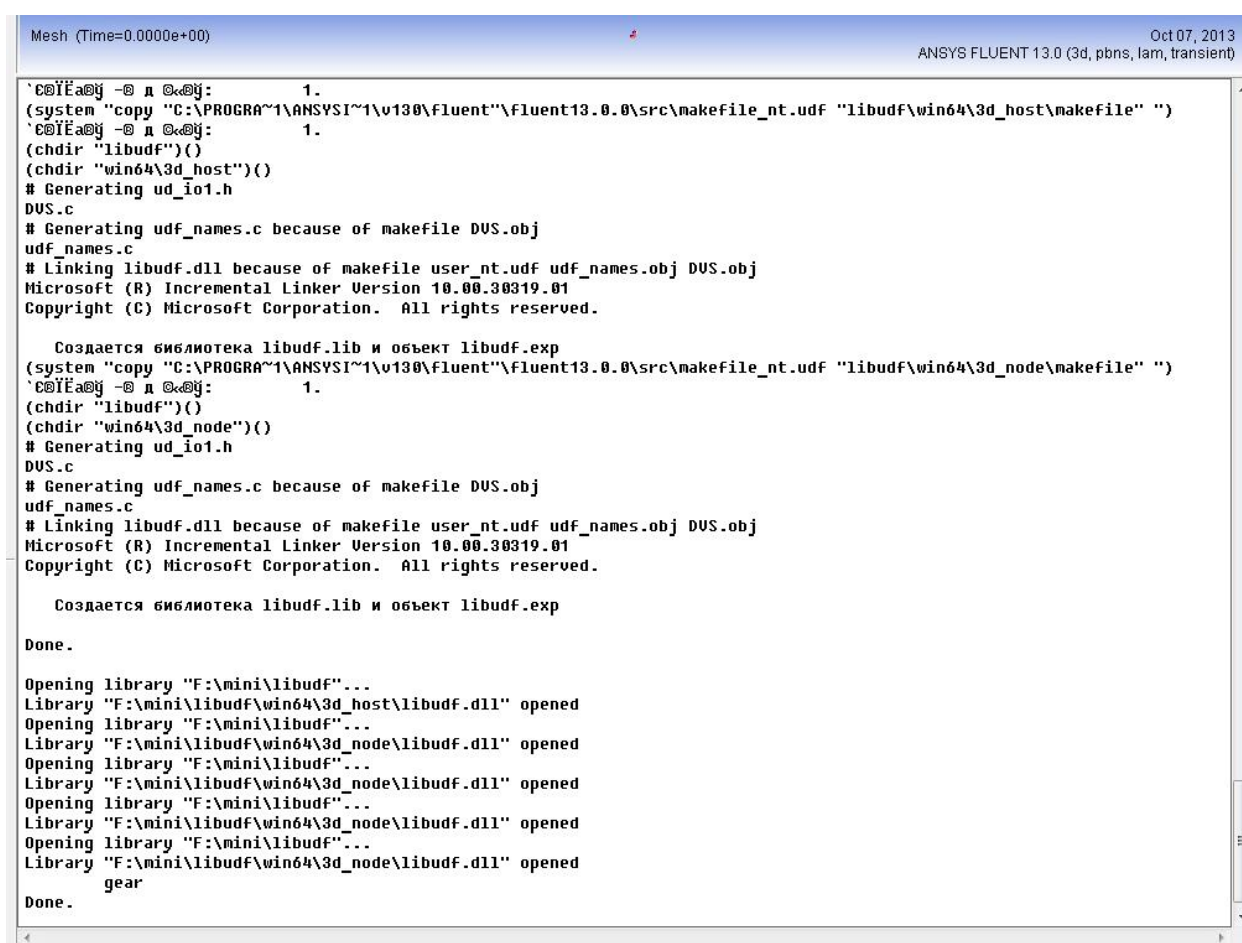


Рисунок 36 – Окно выбора файла с законом движения области сетки

Далее нажимается кнопка «Build». При этом появится предупреждение о том что файлы *DVS.c* и *case* Вашего проекта должны находится в одной рабочей директории. Нажимается кнопка *OK*. В результате чего в окне командной строки будет отображен процесс компиляции функции записанной в файле *DVS.c*, загрузки и создания необходимых библиотек для работы компилятора MS Visio C++. После корректного процесса компиляции, в командной строка будет содержать записи как на рисунке 37.



```
Mesh (Time=0.0000e+00) Oct 07, 2013
ANSYS FLUENT 13.0 (3d, pbns, lam, transient)

`@T@a@y -@ d @k@y: 1.
(system "copy "C:\PROGRAM~1\ANSYSI~1\vt130\fluent"\fluent13.0.0\src\makefile_nt.udf "libudf\win64\3d_host\makefile" ")
`@T@a@y -@ d @k@y: 1.
(chdir "libudf")()
(chdir "win64\3d_host")()
# Generating udf_io1.h
DVS.c
# Generating udf_names.c because of makefile DVS.obj
udf_names.c
# Linking libudf.dll because of makefile user_nt.udf udf_names.obj DVS.obj
Microsoft (R) Incremental Linker Version 10.00.30319.01
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

 Создается библиотека libudf.lib и объект libudf.exp
(system "copy "C:\PROGRAM~1\ANSYSI~1\vt130\fluent"\fluent13.0.0\src\makefile_nt.udf "libudf\win64\3d_node\makefile" ")
`@T@a@y -@ d @k@y: 1.
(chdir "libudf")()
(chdir "win64\3d_node")()
# Generating udf_io1.h
DVS.c
# Generating udf_names.c because of makefile DVS.obj
udf_names.c
# Linking libudf.dll because of makefile user_nt.udf udf_names.obj DVS.obj
Microsoft (R) Incremental Linker Version 10.00.30319.01
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

 Создается библиотека libudf.lib и объект libudf.exp

Done.

Opening library "F:\mini\libudf"...
Library "F:\mini\libudf\win64\3d_host\libudf.dll" opened
Opening library "F:\mini\libudf"...
Library "F:\mini\libudf\win64\3d_node\libudf.dll" opened
Opening library "F:\mini\libudf"...
Library "F:\mini\libudf\win64\3d_node\libudf.dll" opened
Opening library "F:\mini\libudf"...
Library "F:\mini\libudf\win64\3d_node\libudf.dll" opened
Opening library "F:\mini\libudf"...
Library "F:\mini\libudf\win64\3d_node\libudf.dll" opened
gear

Done.
```

Рисунок 37 – Содержимое командной строки после выполнения процесса компиляции

2.6 Предварительный просмотр движения сетки

Предварительный просмотр движения сетки необходим для проверки правильности задания параметров движения. Для просмотра сетка отображается на экране с помощью команды: *Display* → *Mesh...*

Перед настройкой модель необходимо сохранить путем записи файла с расширением *.cas.

Для настройки параметров предварительного просмотра сетки (рисунок 38) выполняются следующие действия:

Define → *Dynamic Mesh* → *Preview Mesh Motion...*

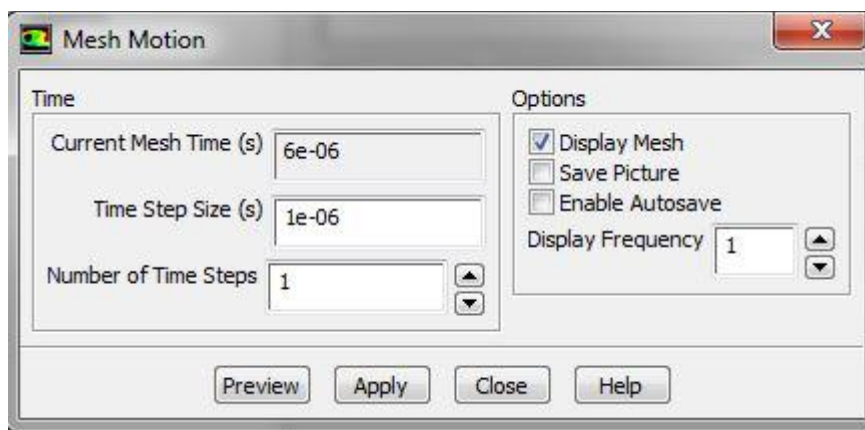


Рисунок 38 – Меню предварительного просмотра движения сетки
(*Mesh Motion*)

В строке «*Number of Time Steps*» вводится число шагов - 1. После этого выполняется предварительный просмотр движения сетки нажатием кнопки «*Preview*».

После безошибочного движения сетки выполняется загрузка сохраненной модели.

2.7 Настройка начальных параметров модели

Далее устанавливаются параметры начальных условий для области потока с помощью процесса инициализации процесса решения (рисунок 39):

Solve → *Initialization...*

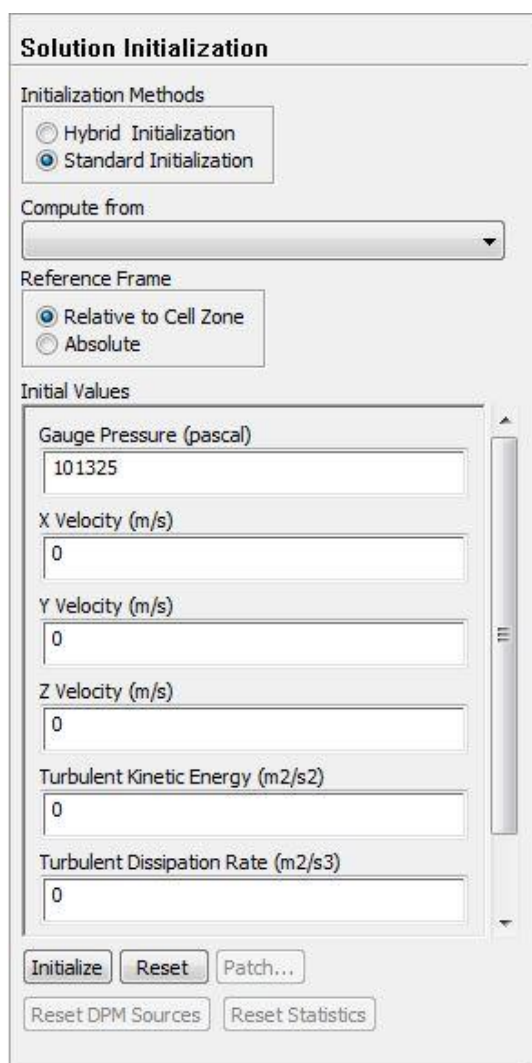


Рисунок 39 – Меню инициализации решателя.

При этом выполняются следующие действия:

- а) В строке *Compute from* выбирается зона *pressure_inlet*.
- б) В строке *X Velocity* вводится значение 0.
- в) В строке *Y Velocity* вводится значение 0.
- г) В строке *Z Velocity* вводится значение 0.

- д) В строке *Turbulent Kinetic Energy* вводится значение 0.
- е) В строке *Turbulent Dissipation Rate* вводится значение 0.
- ж) В строке *Temperature* вводится значение 293
- к) Затем нажимается клавиша *Initialize*.

2.8 Запуск решения задачи

Для запуска решения задачи выбирается следующая команда:
Solve → *Run Calculation...*

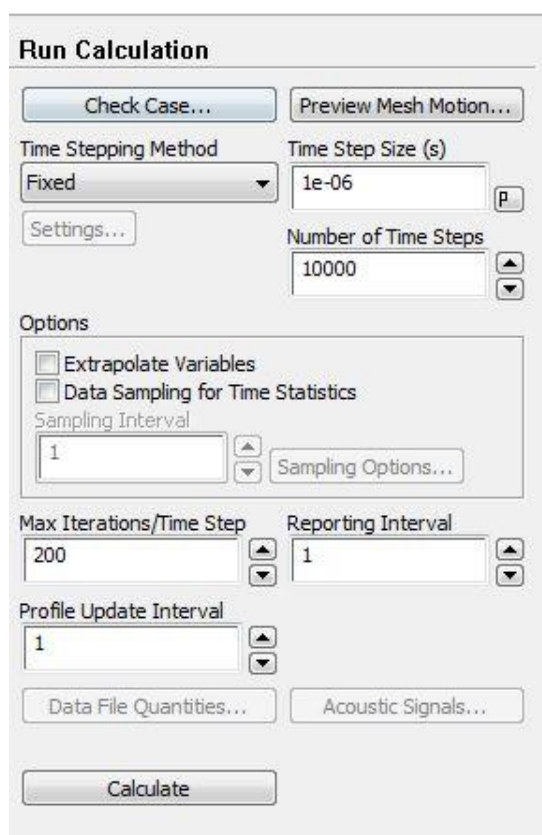


Рисунок 40 – Меню запуска процесса решения (*Run Calculation*).

В меню «*Run Calculation*» представленном на рисунке 40 выполняются следующие действия:

- В строке «*Number of Time Steps*» выбирается количество шагов расчета, равное 10000.

- В строку «*Max Iterations per Time Step*» вводится максимальное количество итераций на один шаг расчета равное 200.
- После этого нажатием клавиши «*Calculate*» будет запущен расчет процессов внутри участка аэродинамической трубы.

2.9 Анализ результатов решения

После газодинамического расчета модели в решателе *ANSYS Fluent* можно получить поля распределения давления и скоростей в объеме модели. Результаты представлены на рисунках 41 - 43

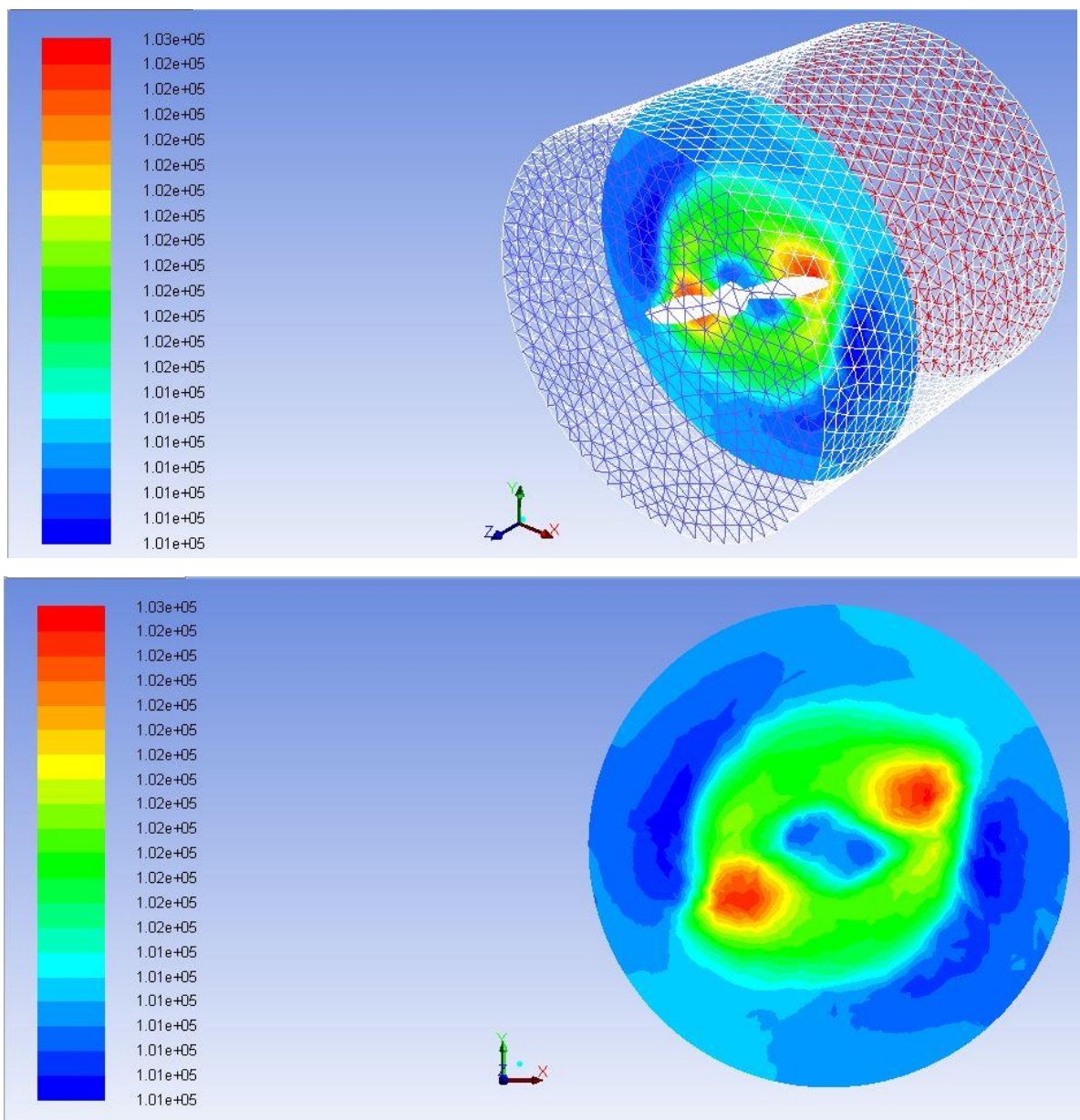


Рисунок 41 – Поля распределения полного давления.

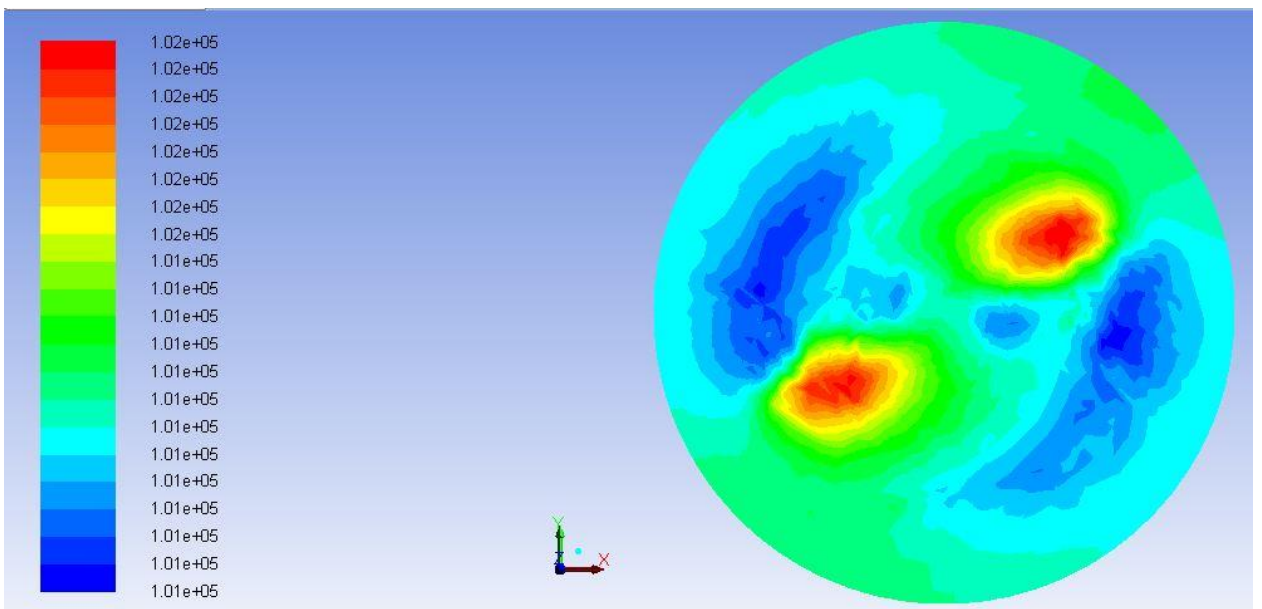
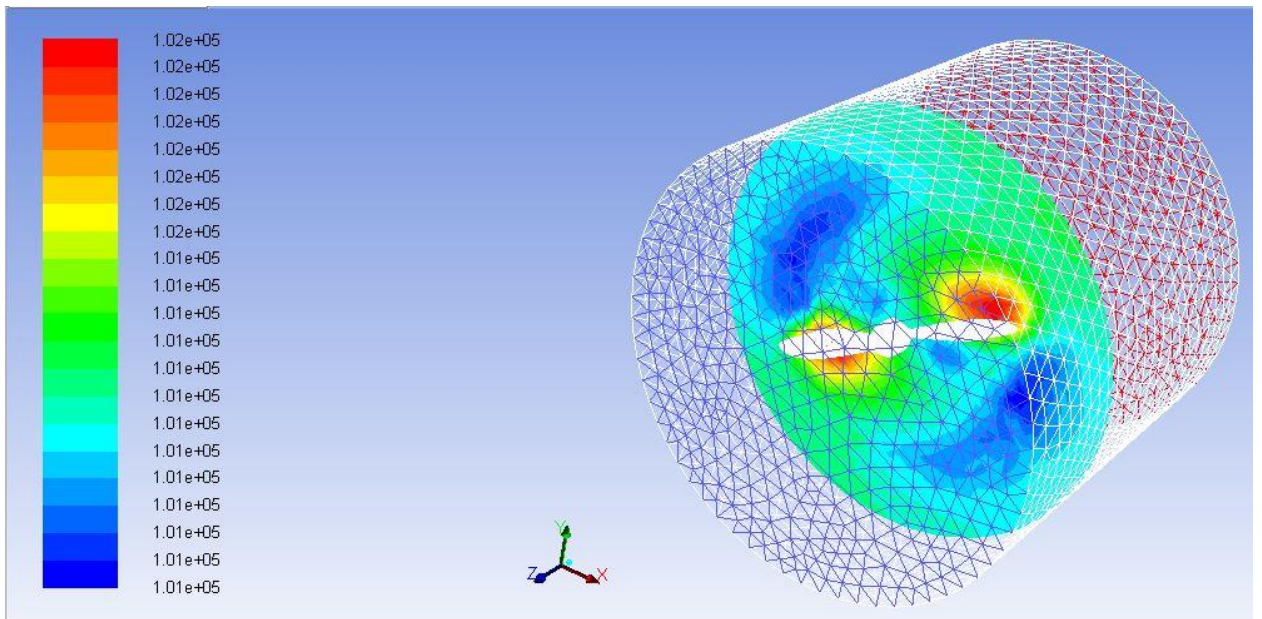


Рисунок 42 - Поля распределения статического давления.

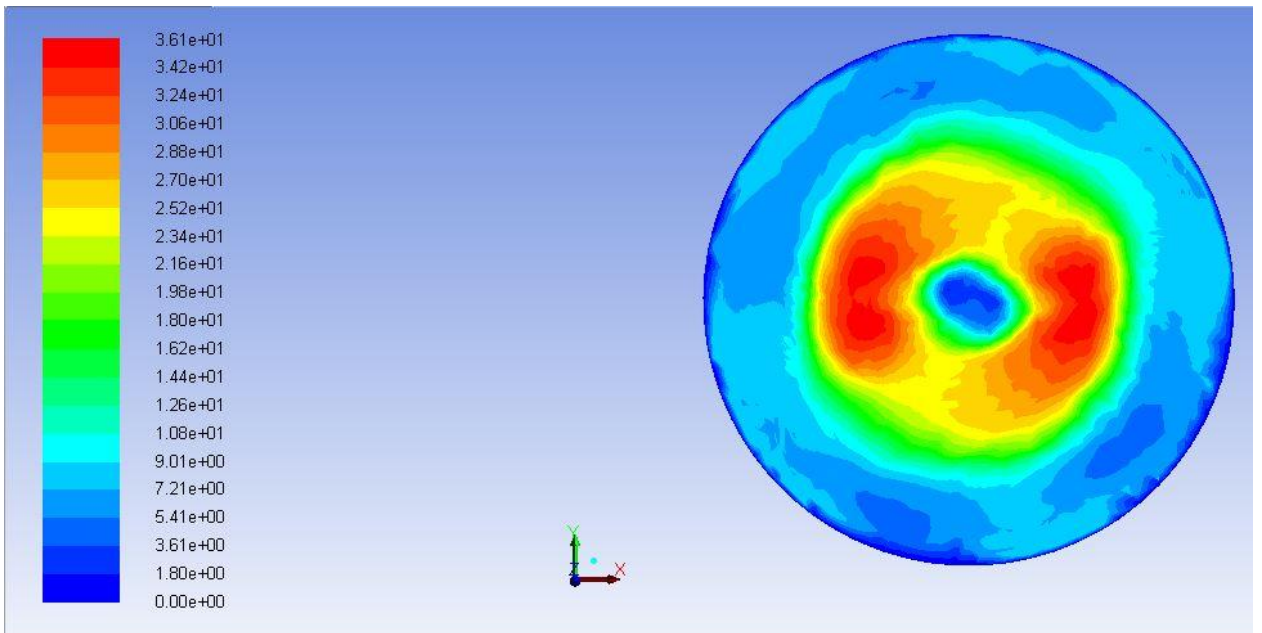


Рисунок 43 – Поле распределения скоростей.



Рисунок 43 - Распределение векторов скоростей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Применение CAD/CAE – технологий для моделирования полей давлений и скоростей в аэродинамической трубе позволяет снизить сроки проектирования за счет ускорения процесса расчета.

2. Высокая информативность результатов численного моделирования способствует более глубокому анализу процессов, происходящих в аэродинамической трубе при вращении винта.

3. Моделирование газодинамической структуры потока при обоснованном выборе модели турбулентности позволяет с достаточной для практики точностью получить распределения основных термодинамических параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бирюк В. В. Моделирование тепловых процессов в камере сгорания поршневого двигателя с непосредственным впрыском [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / В. В. Бирюк, А. А. Горшкалев, С. С. Каюков, Д. А. Угланов; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (11,55 Мбайт). - Самара, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM)
2. Орлин А. С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. - М.: Машиностроение, 1990, с. 253
3. Колчин А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей./ Колчин А. И., Демидов В. П. - М.: Высшая школа, 2008. - 496 с.
4. Батурин О. В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса. Часть 2. Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambite/ О. В. Батурин, И. И. Морозов, В. Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. - 125с.
5. Батурин О. В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса. Часть 3. Работа в программе Fluent/ О. В. Батурин, И. И. Морозов, В. Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. - 115с.