

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

Кафедра ракетных двигателей

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических и самостоятельных работ
по дисциплинам «Тепловые, электроракетные двигатели
и энергоустановки летательных аппаратов», «Математическое
моделирование рабочих процессов в энергетических
установках» для аспирантов специальности 05.07.05
«Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки
летательных аппаратов» направлений 14.06.01 «Ядерная,
тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие
технологии», 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая
техника» очной формы обучения

Воронеж 2017

Составители: д-р техн. наук И.Г. Дроздов,
канд. техн. наук Д.П. Шматов,
аспирант Т.С. Тимошинова

УДК 629.13

Методические указания для выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплинам «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», «Математическое моделирование рабочих процессов в энергетических установках» для аспирантов специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» направлений 14.06.01 «Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии», 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. И.Г. Дроздов, Д.П. Шматов, Т.С. Тимошинова. Воронеж, 2017. 47 с.

В методических указаниях приводится методика расчета многофазных течений высокотемпературного потока парогаса в парогенераторе на компонентах топлива метан–кислород. Расчет основан на многофазной модели Эйлера, реализованной в вычислительном комплексе ANSYS Fluent.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле **ТЕПЛОERD.pdf**.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Ф. Ефимочкин

Издается по решению учебно-методического совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2017

ВВЕДЕНИЕ

С целью решения задачи повышения эффективности и надежности работы, а также улучшения выходных характеристик энергоустановки необходимо исследование рабочих процессов парогенератора. Математическое моделирование процессов теплообмена и гидрогазодинамики является эффективным и экономически более выгодным способом.

Для проведения математического моделирования рабочих процессов в парогенераторе на определенных компонентах топлива и при заданных условиях целесообразно применение 3D сопряженной математической модели, описывающей процессы гидрогазодинамики и теплообмена между движущейся жидкой пленкой и высокоскоростным потоком парагаза в условиях фазового перехода.

Использование расчетных комплексов, разработанных для численного решения уравнений в расчетной области, значительно облегчает моделирование рабочих процессов. Реализация поставленной задачи возможна с применением программного комплекса ANSYS.

В методических указаниях приводится методика расчета многофазных течений высокотемпературного потока парагаза в парогенераторе на компонентах топлива метан–кислород. Расчет основан на многофазной модели Эйлера, реализованной в вычислительном комплексе ANSYS Fluent.

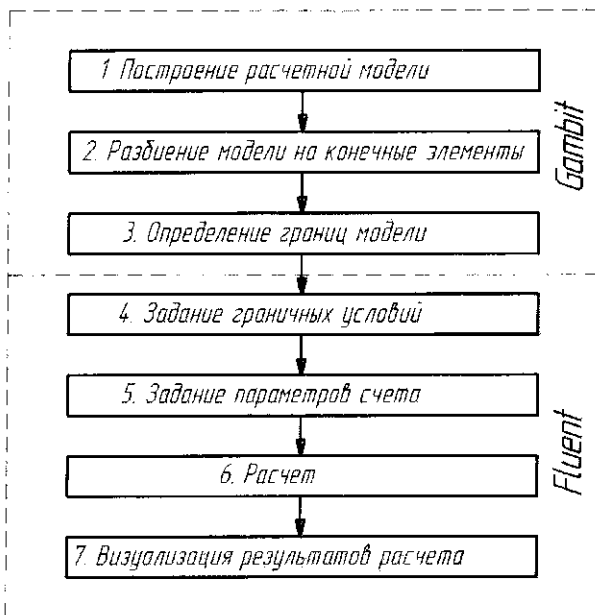
1. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ANSYS FLUENT

Программный комплекс Fluent позволяет решать задачи:

- течения жидкостей и газов в каналах произвольной формы;
- внешнего обтекания;
- теплопередачи (вынужденная и свободная конвекция, теплопередача и лучистый теплообмен);
- течения со свободными поверхностями;
- течения многофазных сред;
- течения реагирующих потоков, включая горение;
- движения твердых частиц и капель жидкости в потоке;
- изменения фазового состояния вещества (плавление, кипение, кристаллизация, испарение, кавитация);
- течения в движущихся каналах (например, в смесительных устройствах и турбомашинах);
- моделирования течения в каналах с меняющейся в процессе решения геометрией (например, в цилиндрах ДВС);
- акустики.

Типичный процесс исследования потока с помощью программного комплекса Fluent показан на блок-схеме (рисунок).

Первые три этапа решения задачи выполняются в программе Gambit, являющейся составной частью программного комплекса. Остальные этапы реализуются непосредственно в программе Fluent.



Этапы решения газодинамических задач
в программном комплексе Fluent

Программный код Fluent написан на модификации алгоритмического языка Си, и одинаково хорошо работает на всех известных платформах.

Программа Fluent позволяет решать двухмерные, осесимметричные и трехмерные задачи в стационарной или нестационарной постановках в большом диапазоне скоростей потока. Течение рабочего тела может рассматриваться как невязкое, ламинарное или турбулентное.

Программный комплекс Fluent использует неструктурированную сеточную технологию. Это значит, что он может решать задачи на конечно-элементных сетках, состоящих из элементов разнообразной формы:

шестиугольников, четырехугольников и треугольников, гексэдеров и тетраэдеров, призм, пирамид и др.

Конечноэлементная сетка может адаптироваться (сгущаться или укрупняться) по результатам расчета. Это позволяет получить более точное решение для областей с большими градиентами параметров потока, например, для пограничных слоев и скачков уплотнения. Указанная возможность снижает требования к качеству сетки, сокращает время ее создания и проведения расчета, а также позволяет снизить объем оперативной памяти.

Программа Fluent обладает большой базой данных свойств рабочих тел, которая включает в себя сведения о жидкостях, газах и твердых телах. Она может быть расширена за счет пользовательских баз. Параметры рабочего тела в расчете могут быть как постоянными, так и меняться в зависимости от параметров потока.

Программный комплекс использует для решения метод конечных объемов и позволяет проводить решение задач с помощью одного из трех алгоритмов:

- неявного алгоритма Pressure Based (в российской литературе его называют алгоритмом установления);
- явного алгоритма Density Based (в российской литературе - алгоритм расщепления);
- неявного алгоритма Density Based.

Решатель программного комплекса позволяет проводить решение на вложенных сетках. Исходные уравнения могут быть дискретизированы по первому, второму или частично третьему порядку точности. Решение может быть распараллелено и осуществляться на нескольких процессорах.

Во Fluent включены различные физические модели таких процессов, как: теплопередача, фазовые переходы, кавитация и др.

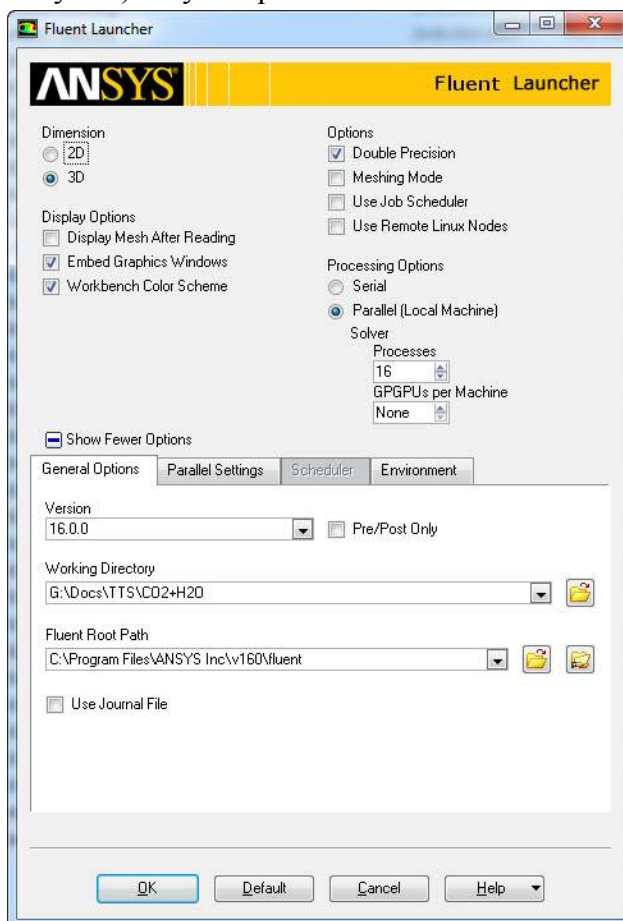
В программном комплексе доступны следующие модели турбулентности: Рейнольдса, Спаларта - Аламарса, $k-\omega$, $k-\varepsilon$, V2F, LES, DES. Повышение точности моделирования пограничных слоев достигается за счет использования пристеночных функций.

Программа Fluent позволяет использовать большое количество граничных условий на входе и выходе из расчетной области, моделировать подвижные стенки каналов.

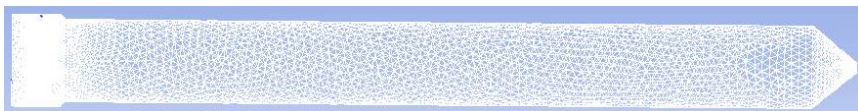
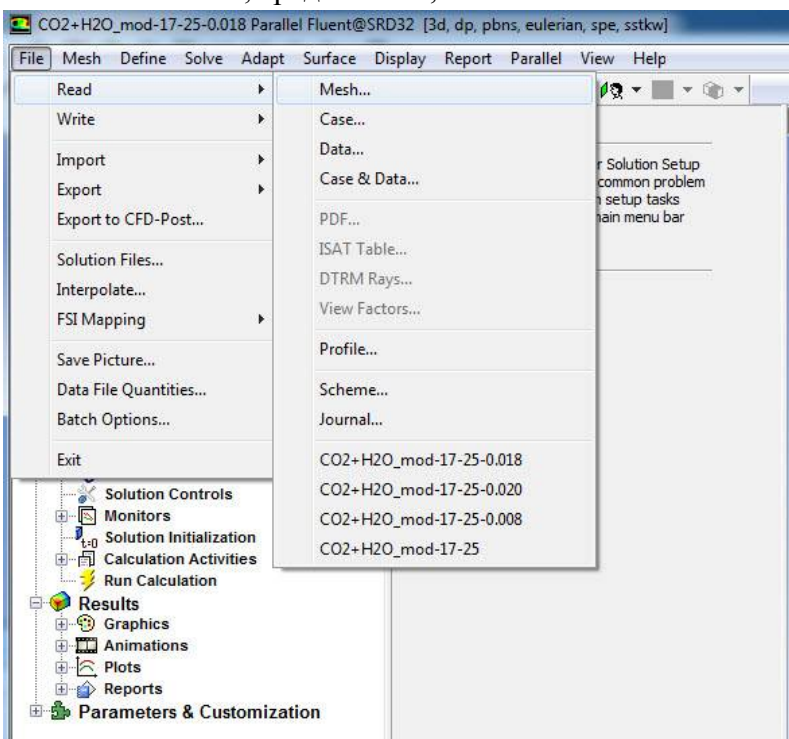
В программе реализованы широкие возможности визуализации результатов решения. Возможно построение полей распределения параметров потока, векторов, линий тока, создание анимации, управление отображением модели и т.п. Результаты могут быть представлены в виде графиков, текстовых файлов или интегральных значений параметров. К сожалению, объем данного издания не позволяет показать всех возможностей препроцессора и рассказать обо всех командах. Поэтому информация, приведенная в методическом пособии, дает представление лишь об основных и наиболее применимых командах, применяемых при решении задач течения жидкостей и газов [1 ÷ 4].

2. ПРИМЕР МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МНОГОФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОТОКА ПАРОГАЗА В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ НА КОМПОНЕНТАХ ТОПЛИВА МЕТАН–КИСЛОРОД

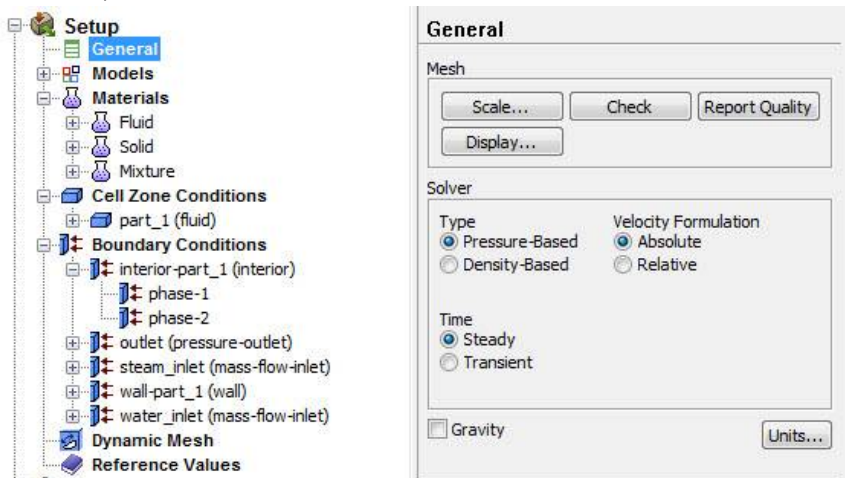
1. При запуске Fluent выбираем тип задачи 3D; задаем тип решателя Double Precision; процесс решения должен производиться параллельном режиме; в нижней части окна задается путь к рабочей директории (путь содержит только латинские буквы) и путь к решателю Fluent.



2. В главном меню в разделе File выбираем опцию Read → Mesh и загружаем файл сгенерированной ранее в Ansys Meshing сетки. В данном случае построена сетка, содержащая общее количество ячеек (объемов) – 950038 шт., поверхностей - 2050070 шт., узлов сетки - 281114 шт. Данная сеточная модель обеспечила значение параметра Y^+ максимальное – 160; среднее – 54,5.



3. Далее процесс задания параметров задачи происходит в дереве решения. Задание граничных условий проводится в ветке Setup. В разделе General задается тип решателя Pressure-Based; условие решения задачи в стационарной постановке (Time Steady); вычисление скоростей в абсолютной системе отчета (Velocity Formulation Absolute).



4. На следующем шаге задаем свойства веществ, используемых при моделировании. Свойства веществ задаются в разделе Materials дерева проектирования.

4.1 Задаем свойства двуокиси углерода, как среды с постоянной плотностью, но переменной изобарной теплоемкостью.

Create/Edit Materials

Name: carbon-dioxide

Material Type: fluid

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Chemical Formula: co2

Fluent Fluid Materials: carbon-dioxide (co2)

Mixture: none

Buttons: [Fluent Database...](#) [User-Defined Database...](#)

Properties

Density (kg/m3): constant [Edit...](#)
1.7878

Cp (Specific Heat) (j/kg-k): piecewise-polynomial [Edit...](#)

Thermal Conductivity (w/m-k): constant [Edit...](#)
0.0145

Viscosity (kg/m-s): constant [Edit...](#)
1.37e-05

Buttons: [Change/Create](#) [Delete](#) [Close](#) [Help](#)

Piecewise-Polynomial Profile

Define: Cp

In Terms of: Temperature

Ranges: 2

Range: 1

Minimum: 300

Maximum: 1000

Coefficients: 5

Coefficients

1	429.9289	2	1.874473	3	-0.001966485	4	1.297251e-06
5	-3.999956e-10	6		7		8	

Buttons: [OK](#) [Cancel](#) [Help](#)

Create/Edit Materials

Name: carbon-dioxide

Material Type: fluid

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Chemical Formula: co2

Fluent Fluid Materials: carbon-dioxide (co2)

Mixture: none

Fluent Database...
User-Defined Database...

Properties

Viscosity (kg/m-s): constant
1.37e-05

Molecular Weight (kg/kmol): constant
44.00995

Standard State Enthalpy (J/kgmol): constant
-3.935324e+08

Reference Temperature (K): constant
298.15

4.2 Задаем свойства воды, как среды с постоянными свойствами, независящими от температуры.

Create/Edit Materials

Name: water-liquid

Material Type: fluid

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Chemical Formula: h2o<|>

Fluent Fluid Materials: water-liquid (h2o<|>)

Mixture: none

Fluent Database...
User-Defined Database...

Properties

Density (kg/m3): constant
998.2

Cp (Specific Heat) (J/kg-K): constant
4182

Thermal Conductivity (W/m-K): constant
0.6

Viscosity (kg/m-s): constant
0.001003

Create/Edit Materials

Name: water-liquid

Chemical Formula: h2o<|>

Material Type: fluid

Fluent Fluid Materials: water-liquid (h2o<|>)

Mixture: none

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Fluent Database...
User-Defined Database...

Properties

Viscosity (kg/m-s): constant 0.001003 Edit...

Molecular Weight (kg/kgmol): constant 18.0152 Edit...

Standard State Enthalpy (J/kgmol): constant 0 Edit...

Reference Temperature (K): constant 505 Edit...

Change/Create Delete Close Help

4.3 Задаем свойства водяного пара, как идеального газа.

Create/Edit Materials

Name: water-vapor

Chemical Formula: h2o

Material Type: fluid

Fluent Fluid Materials: water-vapor (h2o)

Mixture: none

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Fluent Database...
User-Defined Database...

Properties

Density (kg/m3): incompressible-ideal-gas Edit...

Cp (Specific Heat) (J/kg-K): piecewise-polynomial Edit...

Thermal Conductivity (W/m-K): constant 0.0261 Edit...

Viscosity (kg/m-s): constant 1.34e-05 Edit...

Change/Create Delete Close Help

Piecewise-Polynomial Profile

Define: Cp

In Terms of: Temperature

Ranges: 2

Range: 1

Minimum: 300

Maximum: 1000

Coefficients: 5

Row	1	2	3	4
1	1563.077	1.603755	-0.002932784	3.216101e-06
2	-1.156827e-09			
3				

OK Cancel Help

Create/Edit Materials

Name: water-vapor

Material Type: fluid

Chemical Formula: h2o

Fluent Fluid Materials: water-vapor (h2o)

Mixture: none

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Fluent Database... User-Defined Database...

Properties:

Viscosity (kg/m-s)	constant	1.34e-05	Edit...
Molecular Weight (kg/kgmol)	constant	18.01534	Edit...
Standard State Enthalpy (J/kgmol)	constant	3.3e+07	Edit...
Reference Temperature (K)	constant	505	Edit...

Change/Create Delete Close Help

4.4 Задаем свойства смеси двуокиси углерода и водяного пара, которая образуется в парогенераторе. В разделе Mixture Species задаем вещества, входящие в смесь, в данном случае водяной пар и диоксид углерода. Изобарная теплоемкость определяется по закону Mixing-Law. Плотность определяется по уравнению идеального газа.

Create/Edit Materials

Name:

Material Type:

Order Materials by:
☒ Name
☐ Chemical Formula

Chemical Formula:

Fluent Mixture Materials:

Mixture:

Fluent Database...
User-Defined Database...

Properties

Mixture Species:

Density (kg/m3):

Cp (Specific Heat) (J/kg-k):

Thermal Conductivity (w/m-k):

Species

Mixture:

Available Materials

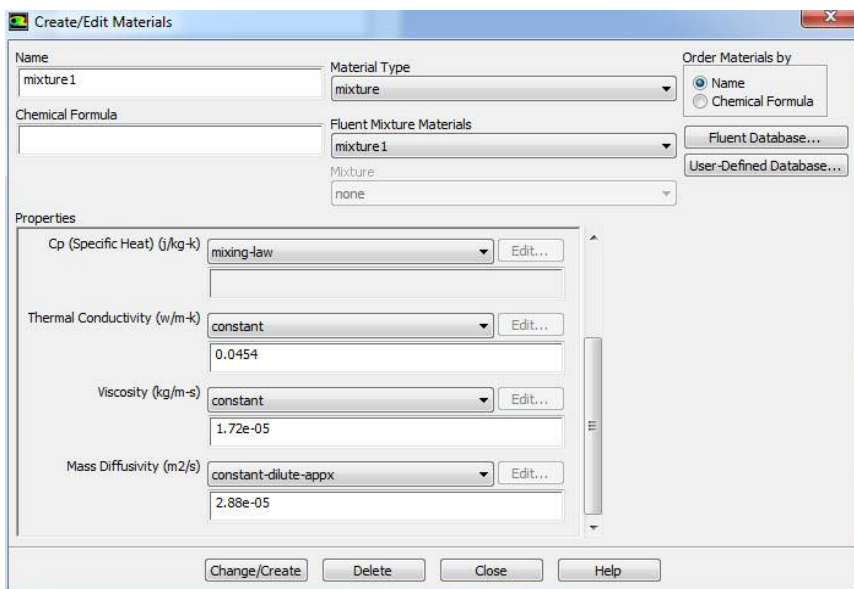
oxygen (o2)
water-liquid (h2o<l>)

Selected Species

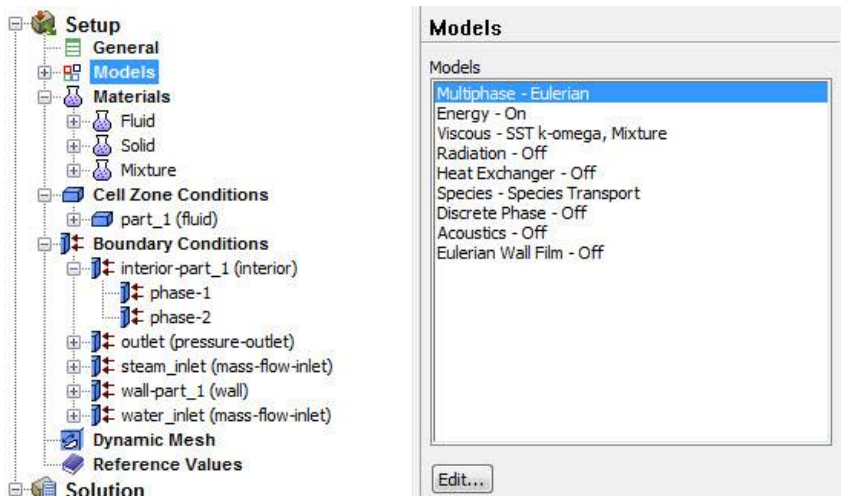
h2o
co2

Selected Site Species

Selected Solid Species

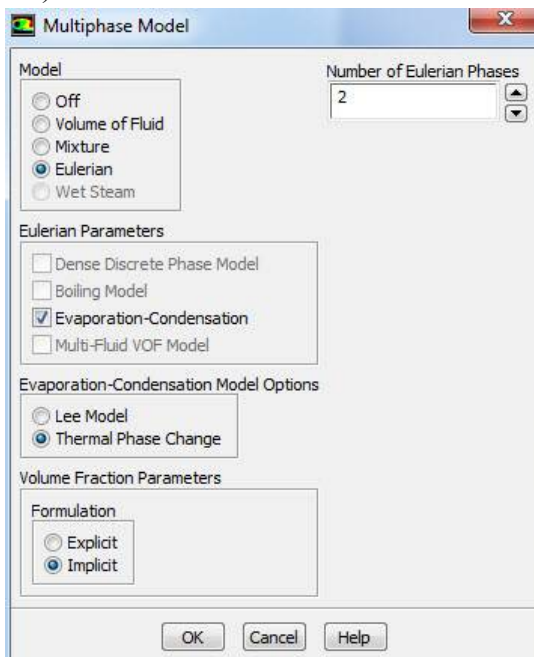


5. Задав свойства материалов, переходим к описанию раздела Model.

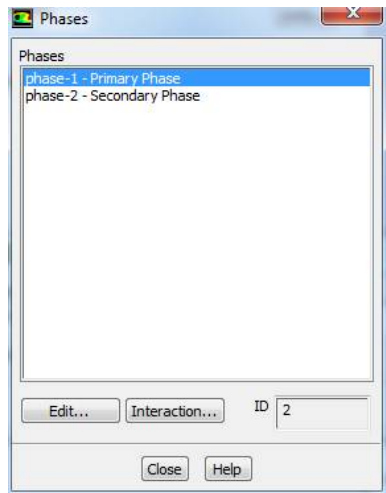
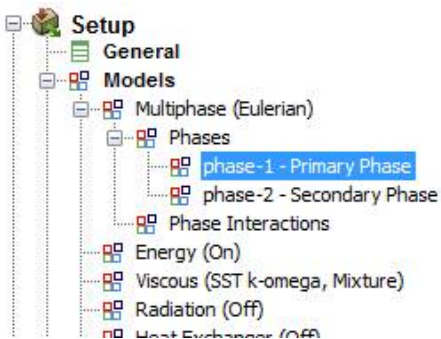


В пункте Multiphase Model выбираем модель Eulerian с числом фаз 2. Активируем опцию Evaporation-Condensation, в

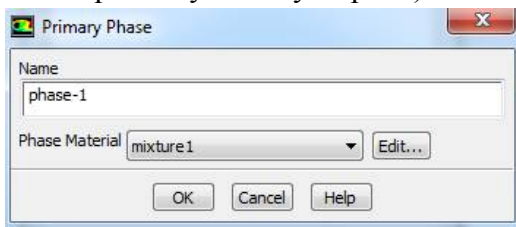
модели Evaporation-Condensation активируем опцию Thermal Phase Change. Параметры объемных долей задаются по явной схеме (Implicit).



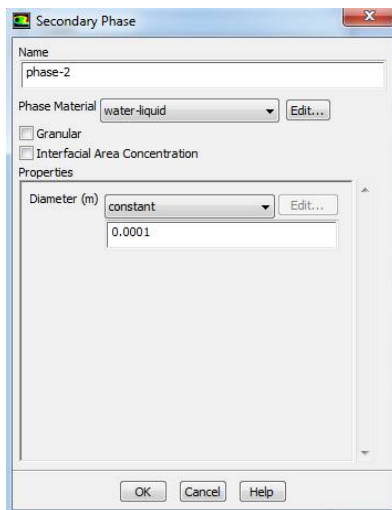
Выбрав модель Эйлера, переходим к описанию основной и дополнительной фаз.



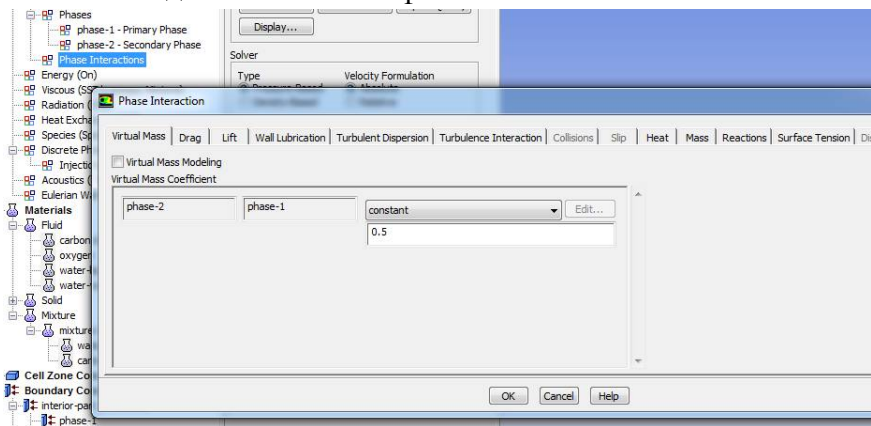
В качестве основной фазы выбираем материал mixture1 (смесь водяного пара и двуокиси углерода).

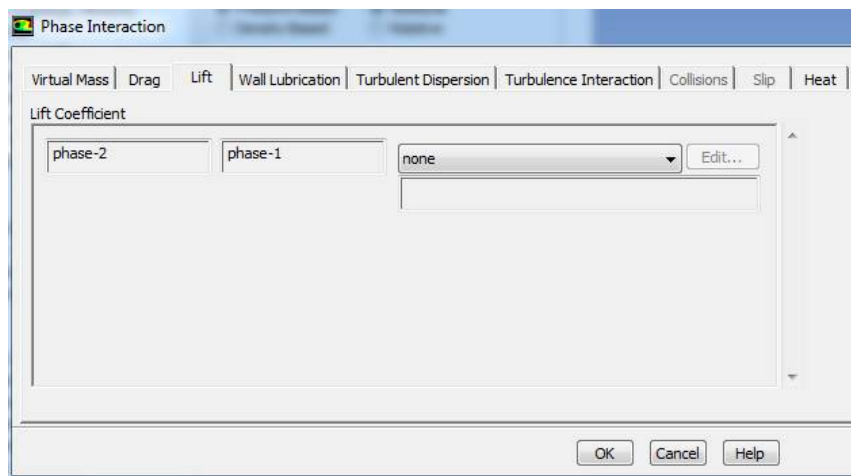
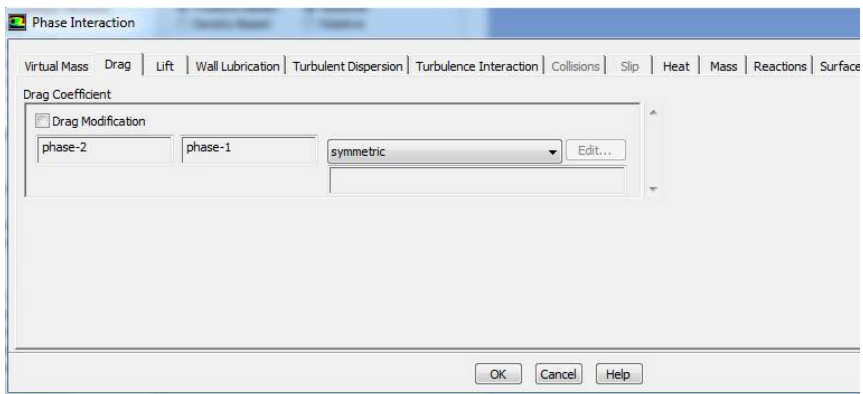


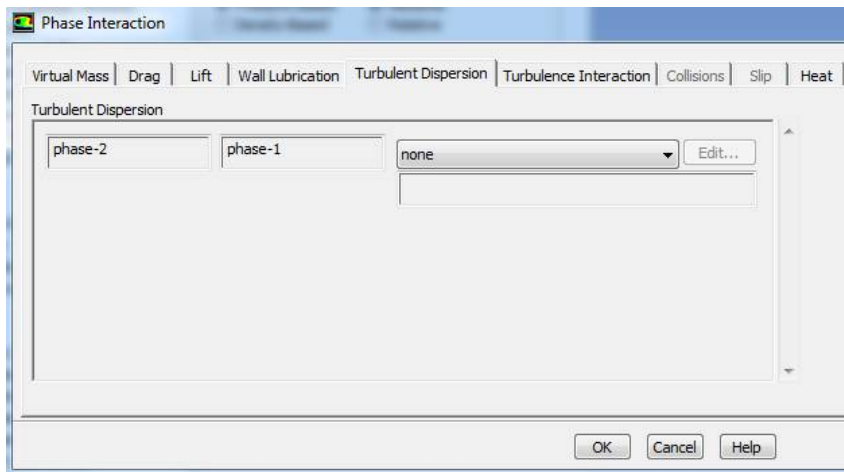
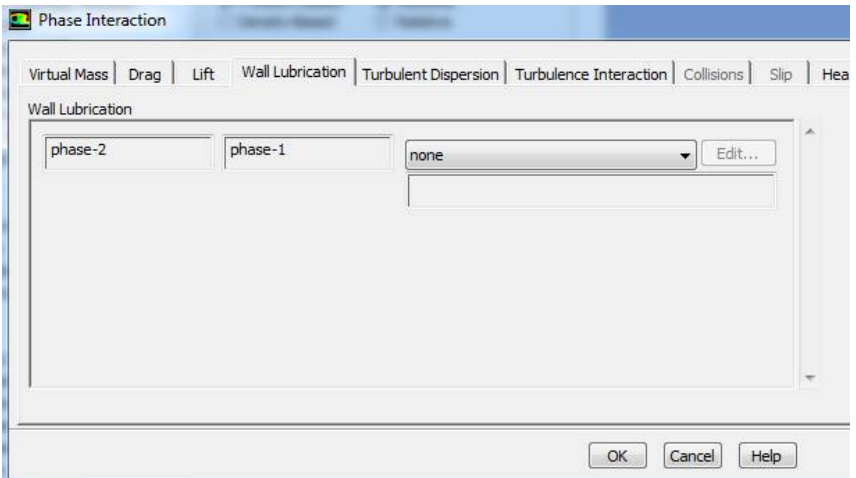
В качестве дополнительной фазы выбираем материал water-liquid.

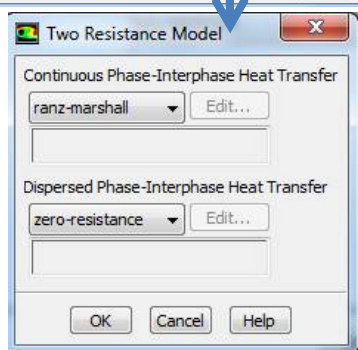
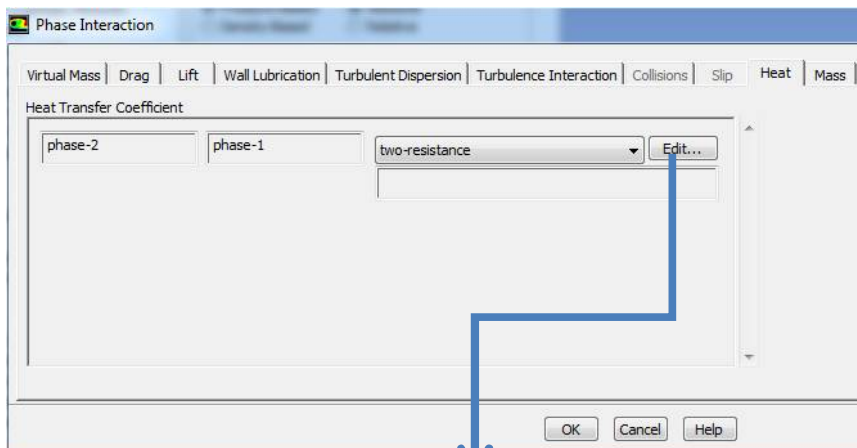
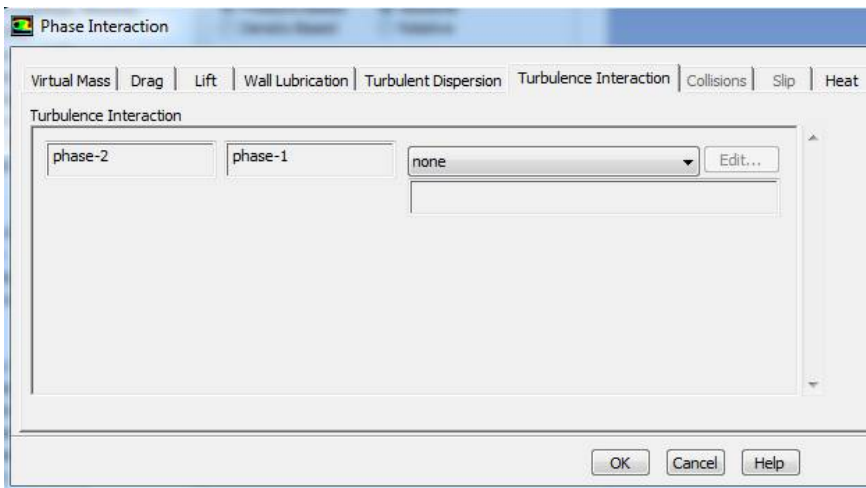


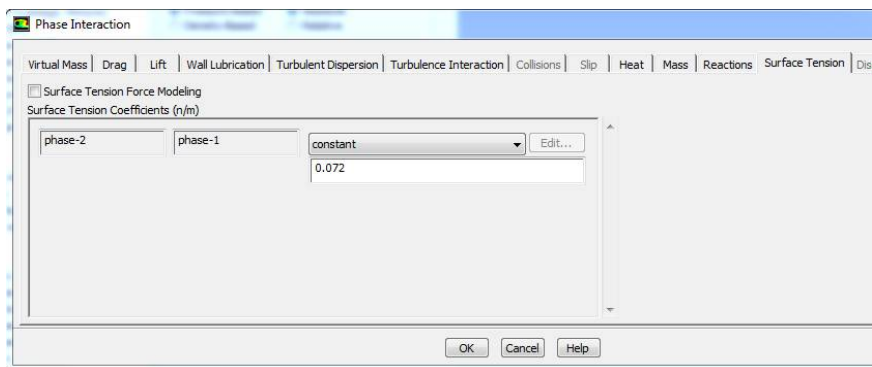
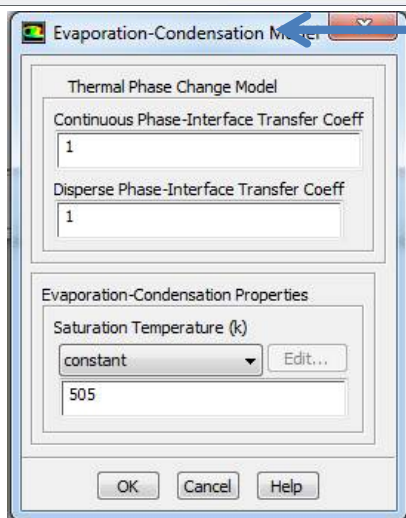
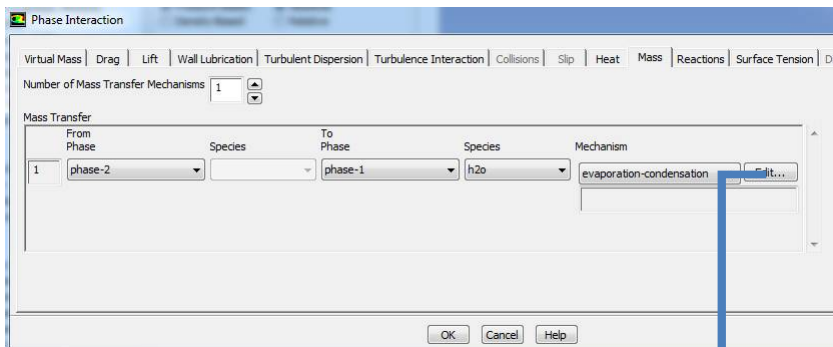
Далее описываем параметры взаимодействия между основной и дополнительной фазами.

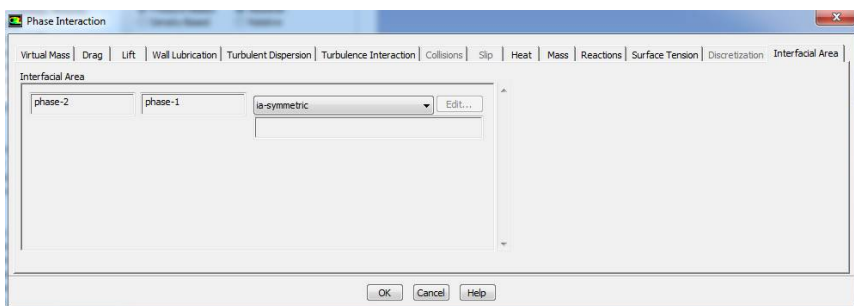




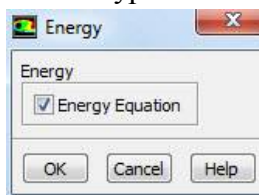




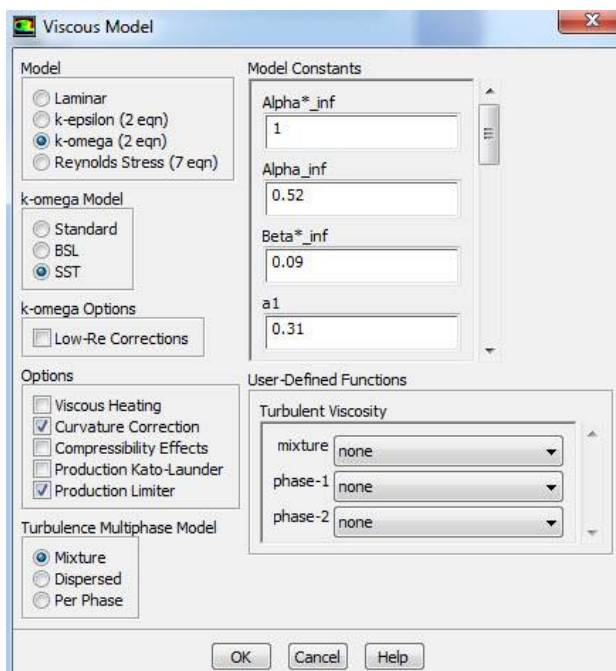




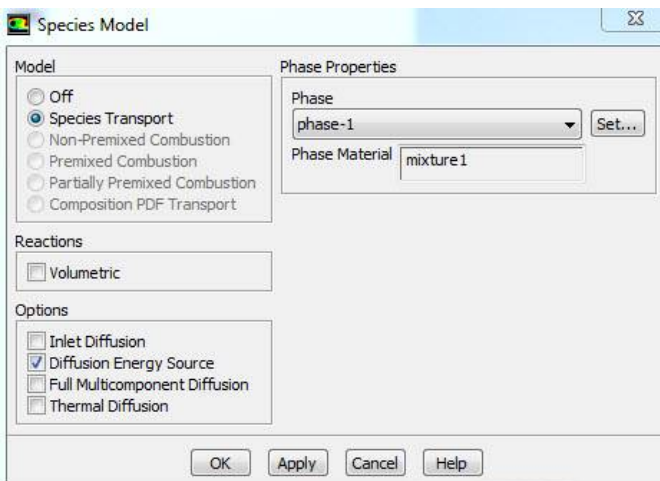
6. В модель включено уравнение энергии.



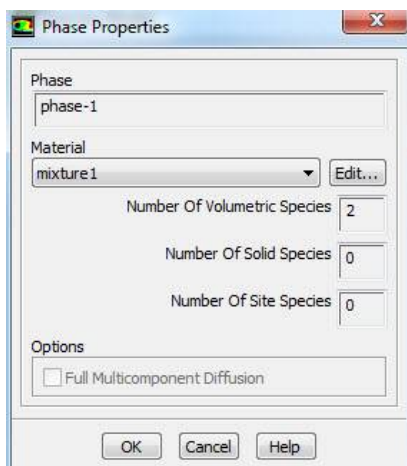
7. Далее в разделе Models описывается задание модели турбулентности. Выбирается модель k-omega SST. Константы модели турбулентности оставлены по умолчанию. Активируем опции Curvature Correction, Production Limiter. Модель турбулентности задается одинаковой для обеих фаз (активируем опцию Turbulence Multiphase Model –> Mixture).



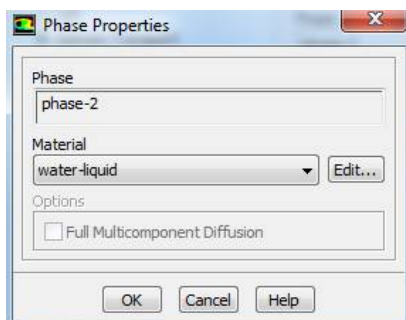
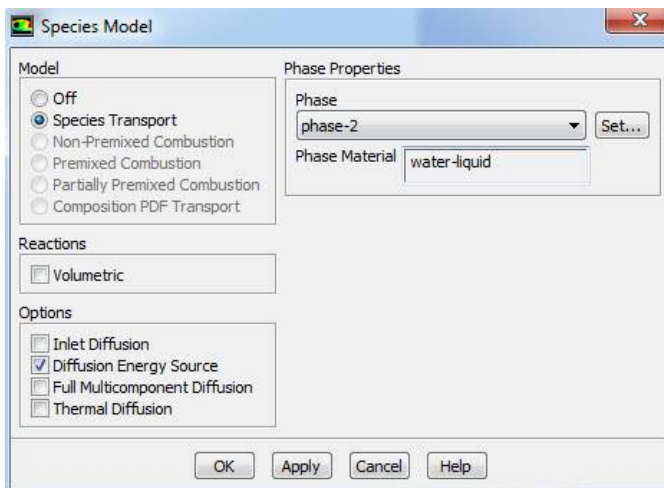
8. Далее в разделе Models остается описать только межфазовый переход в разделе Species. Активируем модель Species Transport, включаем для нее опцию Diffusion Energy Source.



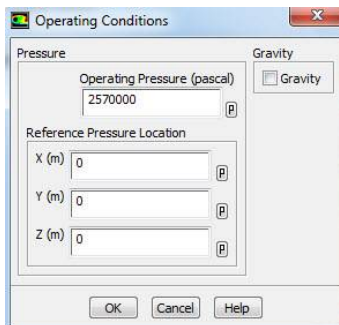
Задаем параметры вещества для phase-1 и phase-2. Для phase-1 задаем материал mixture1, свойства которого описаны в п. 4.4.



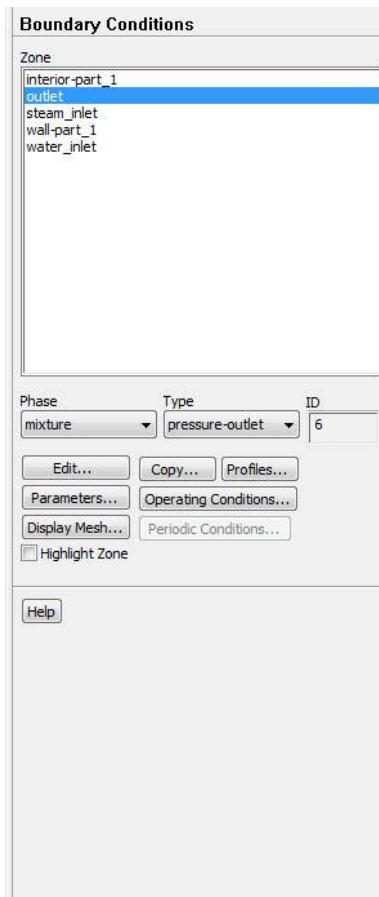
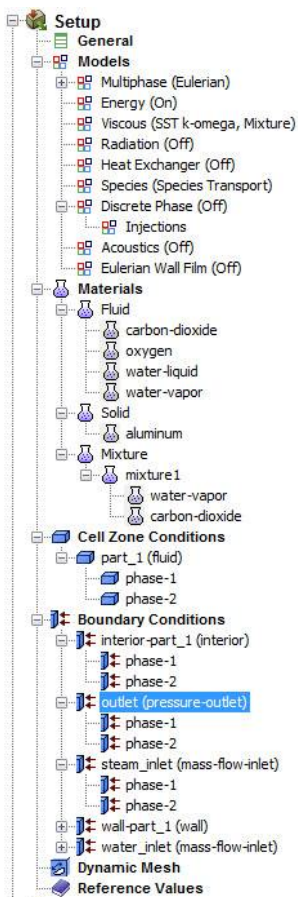
Для phase-2 задаем материал water-liquid, свойства которого описаны в п. 4.2.



9. Описав модель, переходим к заданию граничных условий. В разделе Operating Conditions задается относительное давление.



9.1 Далее задаем граничное условие pressure-outlet на выходном сечении парогенератора. Избыточное (над Operating Pressure) давление равно нулю.



Pressure Outlet

Zone Name: Phase:

Momentum | Thermal | Radiation | Species | DPM | Multiphase | UDS

Gauge Pressure (pascal):

Backflow Direction Specification Method:

☐ Radial Equilibrium Pressure Distribution

Turbulence

Specification Method:

Backflow Turbulent Intensity (%):

Backflow Hydraulic Diameter (m):

Pressure Outlet

Zone Name: Phase:

Momentum | Thermal | Radiation | Species | DPM | Multiphase | UDS

Backflow Total Temperature (k):

Pressure Outlet

Zone Name: Phase:

Momentum | Thermal | Radiation | **Species** | DPM | Multiphase | UDS

☐ Specify Species in Mole Fractions

Species Mass Fractions

Species	Mass Fraction	Model
h2o	0.1	constant

OK Cancel Help

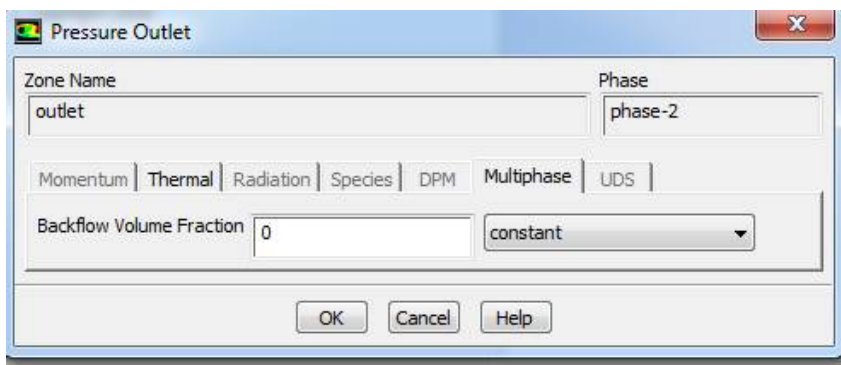
Pressure Outlet

Zone Name: Phase:

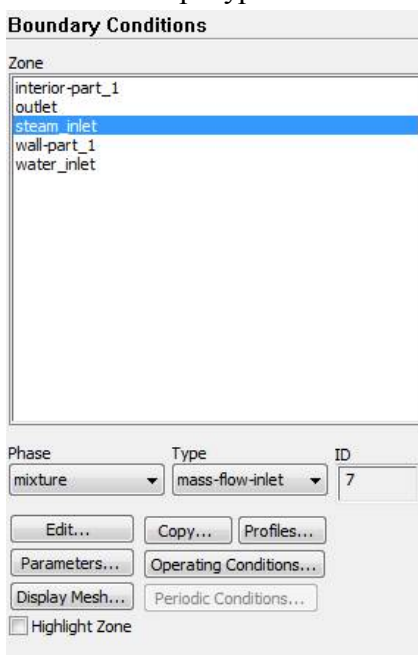
Momentum | **Thermal** | Radiation | Species | DPM | Multiphase | UDS

Backflow Total Temperature (K):

OK Cancel Help



9.2 Далее задаем граничное условие mass-flow-inlet на входном сечении парогенератора. Массовый расход основной фазы равен 0,009 кг/с. Температура 3400 K.



Mass-Flow Inlet

Zone Name: Phase:

Momentum | Thermal | Radiation | Species | DPM | Multiphase | UDS

Reference Frame:

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal):

Direction Specification Method:

Turbulence

Specification Method:

Turbulent Intensity (%):

Hydraulic Diameter (m):

OK Cancel Help

Mass-Flow Inlet

Zone Name: Phase:

Momentum | Thermal | Radiation | Species | DPM | Multiphase | UDS

Mass Flow Specification Method:

Mass Flow Rate (kg/s):

OK Cancel Help

Mass-Flow Inlet

Zone Name: steam_inlet Phase: phase-1

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS

Total Temperature (K): 3400 constant

OK Cancel Help

Mass-Flow Inlet

Zone Name: steam_inlet Phase: phase-1

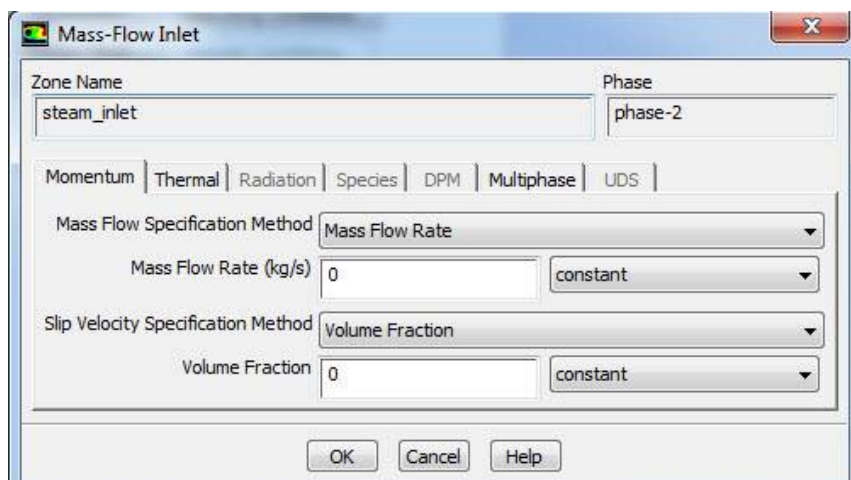
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS

☐ Specify Species in Mole Fractions

Species Mass Fractions

h2o: 0.65 constant

OK Cancel Help



Следует отметить, что граничные условия на входе и на выходе парогенератора задавались в три этапа:

- общее описание граничного условия;
- граничное условие для основной фазы;
- граничное условие для дополнительной фазы.

9.3 На следующем этапе задаем граничные условия для стенок. Стенки заданы гладкими, невращающимися, тепловой поток через них равен нулю, т.е. они заданы адиабатными.

Wall

Zone Name: wall-part_1 Phase: mixture

Adjacent Cell Zone: part_1

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film

Wall Motion: ☒ Stationary Wall ☐ Moving Wall

Motion: ☒ Relative to Adjacent Cell Zone

Wall Roughness

Roughness Height (m): 0 constant

Roughness Constant: 0.5 constant

OK Cancel Help

Wall

Zone Name: wall-part_1 Phase: mixture

Adjacent Cell Zone: part_1

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Wall Film

Thermal Conditions: ☒ Heat Flux ☐ Temperature ☐ Convection ☐ Radiation ☐ Mixed ☐ via System Coupling ☐ via Mapped Interface

Heat Flux (w/m2): 0 constant

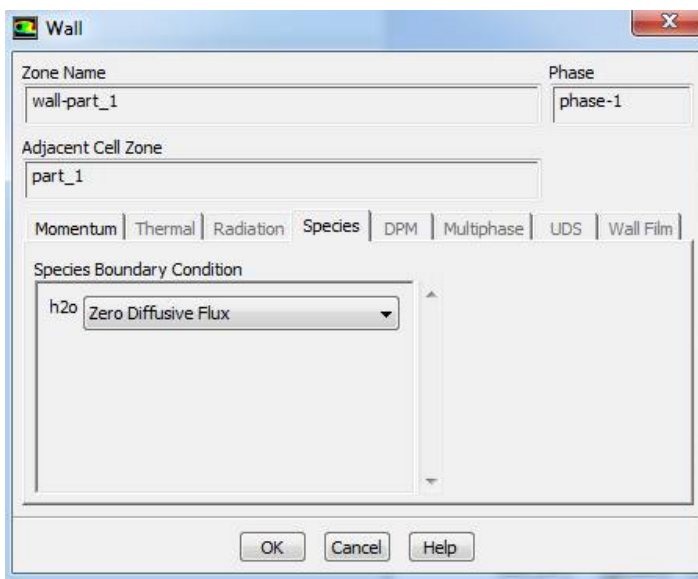
Wall Thickness (m): 0 P

Heat Generation Rate (w/m3): 0 constant

☐ Shell Conduction: 1 Layer Edit...

Material Name: aluminum Edit...

OK Cancel Help



9.4 Последним граничным условием является условие для четырех форсунок дополнительную фазу. На границе задается условие mass-flow-inlet. Массовый расход дополнительной фазы 0,018 кг/с. Температура 290 К.

Boundary Conditions

Zone

interior-part_1
outlet
steam_inlet
wall-part_1
water_inlet

Phase: mixture Type: mass-flow-inlet ID: 8

☐ Highlight Zone

Mass-Flow Inlet

Zone Name: water_inlet Phase: mixture

Reference Frame: Absolute

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal): 0 constant

Direction Specification Method: Normal to Boundary

Turbulence

Specification Method: Intensity and Hydraulic Diameter

Turbulent Intensity (%): 1

Hydraulic Diameter (m): 0.0015

Mass-Flow Inlet

Zone Name: water_inlet Phase: phase-1

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS

Mass Flow Specification Method: Mass Flow Rate

Mass Flow Rate (kg/s): 0 constant

OK Cancel Help

Mass-Flow Inlet

Zone Name: water_inlet Phase: phase-1

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS

Total Temperature (K): 290 constant

OK Cancel Help

Mass-Flow Inlet

Zone Name: water_inlet Phase: phase-1

Momentum | Thermal | Radiation | **Species** | DPM | Multiphase | UDS

☐ Specify Species in Mole Fractions

Species Mass Fractions

Species	Mass Fraction	Specification Method
h2o	0.65	constant

OK Cancel Help

Mass-Flow Inlet

Zone Name: water_inlet Phase: phase-2

Momentum | Thermal | Radiation | **Species** | DPM | Multiphase | UDS

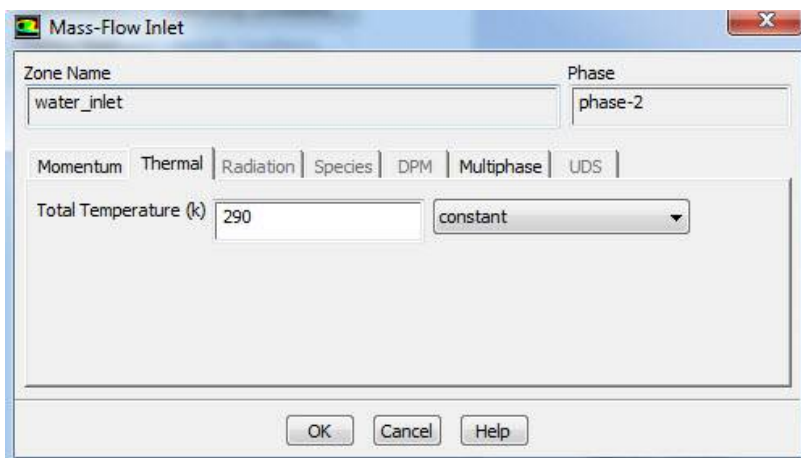
Mass Flow Specification Method: Mass Flow Rate

Mass Flow Rate (kg/s): 0.018 constant

Slip Velocity Specification Method: Volume Fraction

Volume Fraction: 1 constant

OK Cancel Help



10. В разделе Solution задаются параметры решения задачи.

Solution Methods

Pressure-Velocity Coupling

Scheme

☐ Coupled with Volume Fractions
☐ Solve N-Phase Volume Fraction Equations

Spatial Discretization

Gradient

Density

Momentum

Volume Fraction

Turbulent Kinetic Energy

Transient Formulation

☐ Non-Iterative Time Advancement
☐ Frozen Flux Formulation
☒ Pseudo Transient
☒ High Order Term Relaxation
☐ Set All Species Discretizations Together

Solution Methods

Pressure-Velocity Coupling

Scheme

☐ Coupled with Volume Fractions
☐ Solve N-Phase Volume Fraction Equations

Spatial Discretization

Volume Fraction

Turbulent Kinetic Energy

Specific Dissipation Rate

Energy

phase-1 h2o

Transient Formulation

☐ Non-Iterative Time Advancement
☐ Frozen Flux Formulation
☒ Pseudo Transient
☒ High Order Term Relaxation
☐ Set All Species Discretizations Together

11. При решении задачи заданы следующие параметры релаксации.

Solution Controls

Pseudo Transient Explicit Relaxation Factors

Pressure
0.5

Momentum
0.5

Density
0.8

Body Forces
1

Volume Fraction
0.5

Default

Equations... Limits... Advanced...

☐ Set All Species URFs Together

Solution Controls

Pseudo Transient Explicit Relaxation Factors

Vaporization Mass
0.8

Turbulent Kinetic Energy
0.75

Specific Dissipation Rate
0.75

Turbulent Viscosity
0.8

Energy
0.75

Default

Equations... Limits... Advanced...

☐ Set All Species URFs Together

Solution Controls

Pseudo Transient Explicit Relaxation Factors

Turbulent Kinetic Energy
0.75

Specific Dissipation Rate
0.75

Turbulent Viscosity
0.8

Energy
0.75

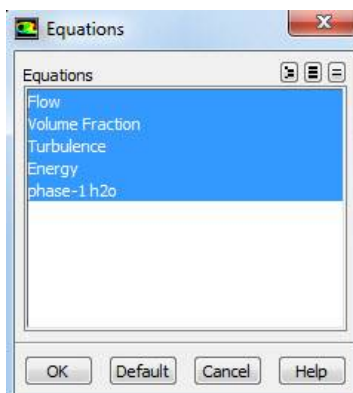
phase-1 h2o
0.75

Default

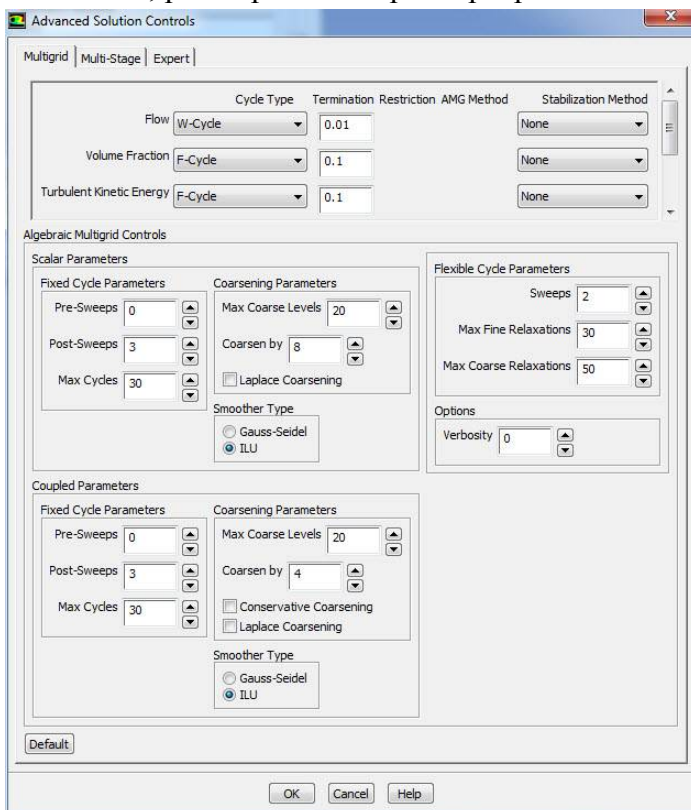
Equations... Limits... Advanced...

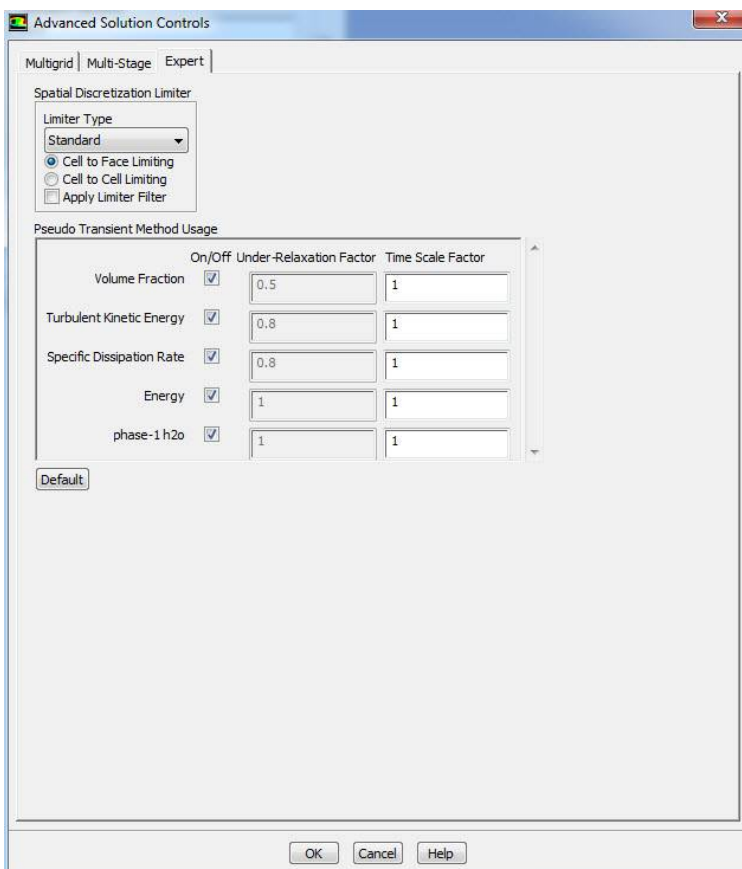
☐ Set All Species URFs Together

В разделе Equations выбираются решаемые уравнения.

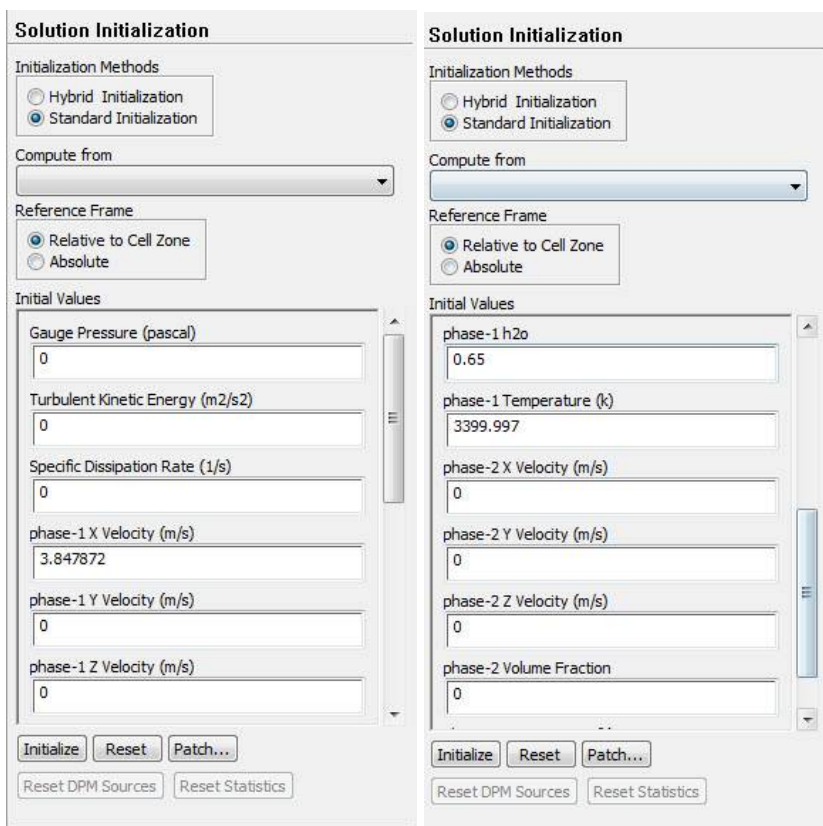


12. В разделе Advanced Solution Controls задаются дополнительные, расширенные параметры решателя.





13. Задается инициализация расчетной области в разделе Solution Initialization. Выбираются опции стандартной инициализации, задается начальная скорость в осевом направлении и начальная температура.



14. Далее запускаем задачу на решение в разделе Run Calculation. Кроме того задается квазистационарный временной шаг и максимальное количество итераций.

Run Calculation

Check Case... Preview Mesh Motion...

Pseudo Transient Options

Fluid Time Scale

Time Step Method	Pseudo Time Step (s)
☒ User Specified	1e-06
☐ Automatic	

Number of Iterations: 10000 Reporting Interval: 1

Profile Update Interval: 1

Data File Quantities... Acoustic Signals...

Calculate

При достижении требуемой точности расчет останавливается. Анализ результатов моделирования удобно проводить в ANSYS CFD POST.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батурин О.В. Расчет течений жидкости и газа с помощью универсального программного комплекса Fluent. учеб. пособие / О.В. Батурин, Н.В. Батурин, В.Н. Матвеев – Самара: изд.: Самарского государственного аэрокосмического университета, 2009. – 151 с.: ил.
2. www.ansysolutions.ru
3. <http://fluent.com>
4. <http://fluentusers.com>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	1
1. Программный комплекс ANSYS Fluent	2
2. Пример методики расчета многофазных течений высокотемпературного потока парогаса в парогенераторе на компонентах топлива метан–кислород	6
Библиографический список	46

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения практических и самостоятельных работ
по дисциплинам «Тепловые, электроракетные двигатели
и энергоустановки летательных аппаратов»,
«Математическое моделирование рабочих процессов
в энергетических установках» для аспирантов специальности
05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели
и энергоустановки летательных аппаратов» направлений
14.06.01 «Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика
и сопутствующие технологии», 24.06.01 «Авиационная
и ракетно-космическая техника» очной формы обучения

Составители:

Дроздов Игорь Геннадьевич
Шматов Дмитрий Павлович
Тимошинова Татьяна Сергеевна

В авторской редакции

Подписано к изданию 25.04.2017.

Уч.-изд. л. 2,9.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14