

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)»

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ДВС С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ «FLUENT»

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальностям 141100.62 Двигатели летательных аппаратов, 160700.68 Менеджмент энергосберегательных технологий

САМАРА
Издательство СГАУ
2011

УДК 629.1
ББК 30.1

Авторы: **В.В. Бирюк, А.А. Горшкалев, М.Ю. Орлов, Д.А. Угланов**

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.Н. Матвеев

Расчет тепловых процессов в камере сгорания ДВС с помощью программы «FLUENT»: учеб. пособие / [В.В. Бирюк и др.]. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 72 с.

ISBN 978-5-7883-0923-8

В данном пособии представлена методика моделирования тепловых процессов в двигателе внутреннего сгорания с использованием CAD/CAE-технологий. Решение данной проблемы является одной из важнейших инженерных задач в области расчетов ДВС. Приведена методика двухмерного моделирования с созданием движущейся конечно-элементной сетки цилиндропоршневой системы двигателя внутреннего сгорания. Особое внимание уделяется расчету тепловых и газодинамических процессов в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания с использованием программы *Fluent*, позволяющей получить поля распределений всех основных термодинамических параметров.

Предназначено для подготовки специалистов по специальности 141100.62 Двигатели летательных аппаратов, специализирующихся по направлению «САЕ системы в механике жидкости и газа», «Системы топливоподачи и подготовки ТВС», «Системы охлаждения ДВС», «Теория рабочих процессов», «Моделирование процессов смесеобразования ДВС», «Моделирование процессов горения» и по специальности 160700.68 Менеджмент энергосберегательных технологий, специализирующихся по направлению «Численное моделирование газодинамических процессов».

Может быть использовано не только при изучении теоретического материала, но и при выполнении дипломных проектов студентами 4-6 курсов. Может быть полезно для инженерно-технических работников авиадвигателестроительных ОКБ, научных работников, занимающихся расчетом, проектированием и доводкой ДВС.

УДК 629.1
ББК 30.1

ISBN 978-5-7883-0923-8

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Список обозначений, сокращений и символов.....	4
Введение.....	5
1. Методика двухмерного моделирования части цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания с использованием движущейся конечно-элементной сетки.....	7
1.1. Подготовка расчетной модели.....	7
1.2. Построение поверхности.....	10
1.3. Построение сетки.....	16
1.4. Назначение граничных условий.....	19
1.5. Назначение типа зон.....	22
1.6 Передача построенной расчетной модели в программу Fluent.....	23
2.Методика расчета газодинамических и тепловых процессов в цилиндропоршневой группе ДВС с использованием программы Fluent.....	24
2.1. Настройка параметров сетки.....	24
2.2. Настройка модели решателя.....	27
2.3. Задание параметров модели смещения и свойств рабочего тела.....	30
2.4. Настройка граничных условий.....	33
2.5. Настройка зон пересечения сетки.....	37
2.6. Настройка параметров движения сетки.....	38
2.7. Настройка параметров процесса впрыска.....	53
2.8. Предварительный просмотр движения сетки.....	55
2.9. Настройка начальных параметров модели	56
2.10. Настройка процесса создания анимации.....	57
2.11. Запуск решения задачи.....	65
2.12. Сохранение анимации.....	68
2.13. Просмотр результатов расчета.....	67
Заключение.....	69
Список используемых источников.....	70

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ, СОКРАЩЕНИЙ И СИМВОЛОВ

D, d – диаметр, м;

F – площадь, м^2 ;

G – массовый расход, кг/с;

P – давление, Па;

P – площадь, м^2 ;

T – температура, К;

V – объем, м^3 ;

W – скорость, м/с;

X, Y – текущие координаты, м;

ρ – плотность, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

t – время, с;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

ТВС – топливно-воздушная смесь;

КВ – коленчатый вал;

РВ – распределительный вал;

2D – двухмерная задача;

CAE (Computer-aided engineering) – компьютерный инженерный анализ;

CAD (Computer-aided design) – система автоматизированного проектирования;

CFD (Computational fluid dynamics) – вычислительная гидродинамика;

k-ε – двухпараметрическая модель турбулентности.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данного методического пособия является наглядное представление принципа работы четырехтактного двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием посредством его двумерной модели. Моделирование протекания тепловых процессов внутри двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием осуществляется с помощью программы *Fluent*. Производство автомобилей и летательных аппаратов, оснащенных двигателями внутреннего сгорания с искровым зажиганием, является важной промышленной отраслью. КПД ДВС зависит от совокупности сложных процессов, а именно: подачи топливных компонентов, подготовки топливовоздушной смеси, горения топлива и процесса выпуска продуктов сгорания и т.д. Исследования, проводимые с помощью CFD-моделирования на первых этапах проектирования двигателя, помогают оптимизировать каждый из этих процессов. Данное методическое пособие включает методику моделирования процессов всасывания, сжатия, расширения и выпуска с учетом сгорания топлива. Здесь же приведена методика моделирования процесса впрыска топлива и его испарение. Сложности процесса моделирования связаны с построением модели расчетной сетки, которая должна двигаться в полном соответствии с тем движением, которое совершается рабочим телом внутри цилиндра поршневого двигателя.

В данную методику расчета входят следующие этапы:

- Построение расчетной модели и разбиение ее на элементарные элементы.
- Первоначальная настройка модели цилиндра для наглядного построения процессов, происходящих в поршневом двигателе.
- Настройка модели работы впускного и выпускного клапанов.
- Настройка дискретной фазовой модели *Discrete Phase Model (DPM)* для построения процессов подачи топлива.
- Настройка программы решения и цикличности.
- Анализ полученных данных.

- Создание и показ ролика впрыска топлива.

Данный информационный ресурс может использоваться студентами и преподавателями для получения полей распределения основных термодинамических параметров в цилиндропоршневой группе ДВС с помощью программы *Fluent*, а также позволяет получить навыки работы с движущимися расчетными сетками.

1 МЕТОДИКА ДВУХМЕРНОЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧАСТИ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВИЖУЩЕЙСЯ КОНЕЧНО- ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕТКИ

1.1. Подготовка расчетной модели

Построение двухмерной модели камеры сгорания с частью впускного и выпускного коллекторов осуществляется в программе *Gambit*, либо в любом CAD редакторе (*SolidWorks*, *КОМПАС*) с последующим экспортом модели в *Gambit*.

Создайте папку, которая будет вашей рабочей директорией, назовите ее, например *Dinam_setka*. Скопируйте в нее файл модели *2Dmodel.x_t*.

Запустите программу *Gambit*. В результате этого действия появится окно, изображенное на рисунке 1.1. В нем в поле *Working Directory* необходимо выбрать папку, в которой будет сохраняться модель. После этого следует нажать кнопку *Run*.

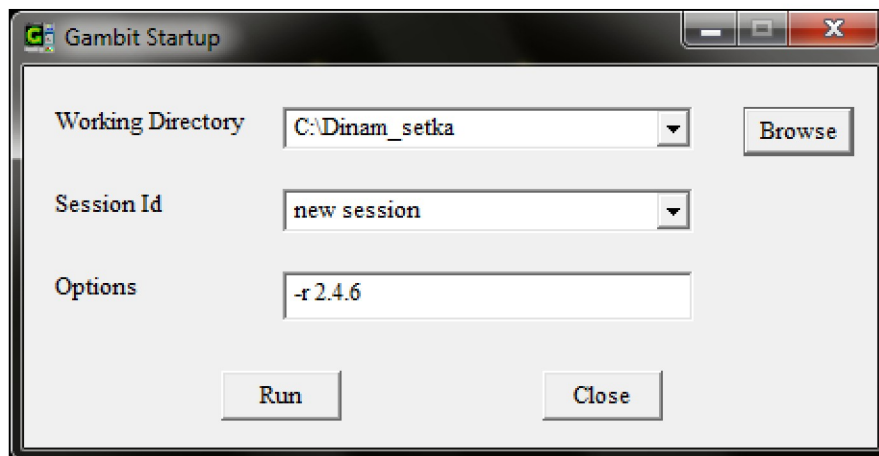


Рисунок 1.1 – Стартовое окно программы Gambit

Для импортирования модели в *Gambit* необходимо выполнить следующие действия.

File → *Import* → *Parasolid...*

В появившемся окне *Import Parasolid File* (рисунок 1.2) нажмите *Browse...*.

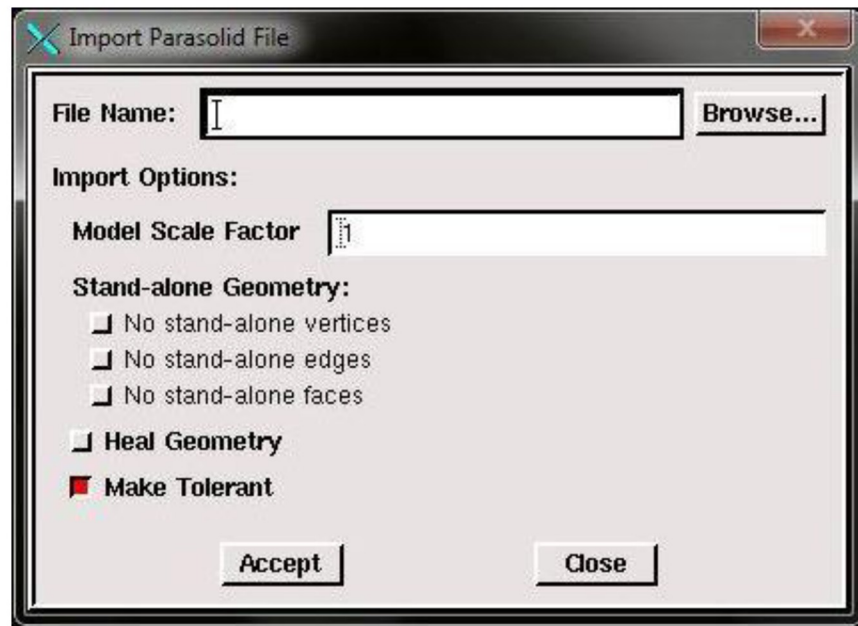


Рисунок 1.2 – Окно импорта файла

В окне *Select File* (рисунок 1.3) в столбце *Files* выделите *2Dmodel.x_t* кликнув по нему левой кнопкой мыши один раз. Нажмите *Accept*. Для подтверждения выбора модели нажмите *Accept* в *Import Parasolid File*.

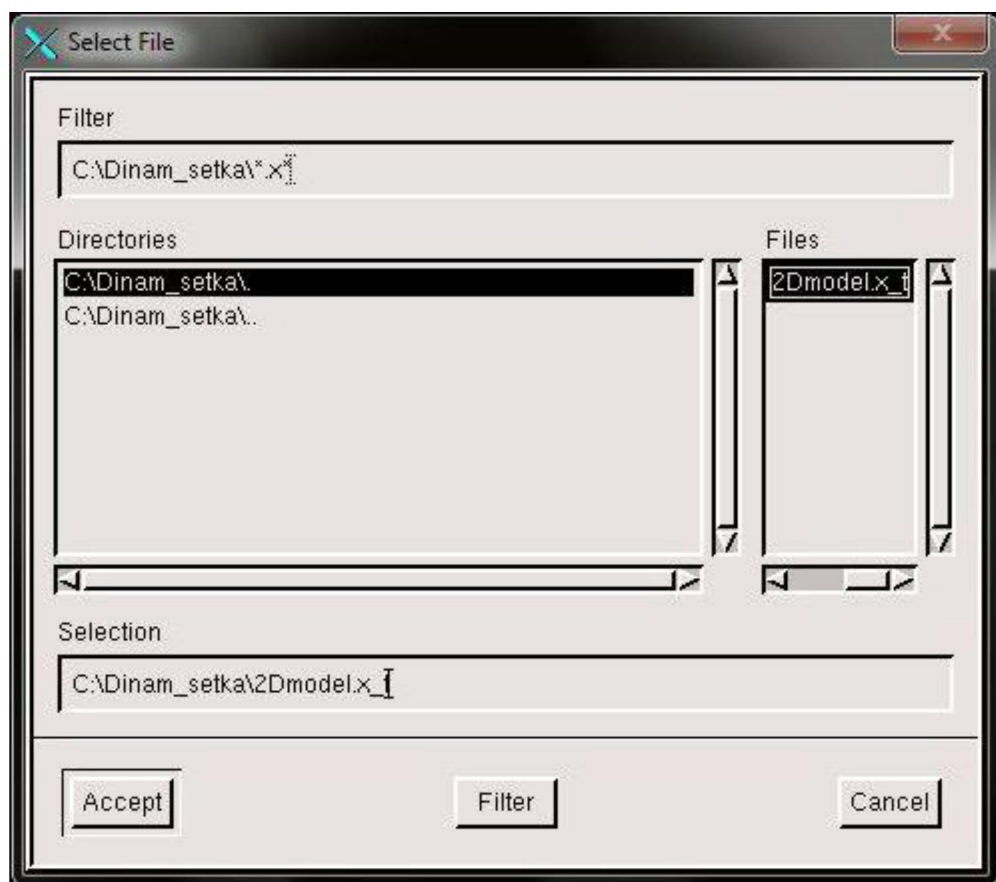


Рисунок 1.3 – Окно выбора файла модели

В модели поршень построен при нахождении его в верхней мертвой точке, а клапаны в положении перекрытия. Модель построена с учетом, что точки A_1 , B_1 и C_1 соединены двумя отрезками A_1C_1 и B_1C_1 . Также точки D_1 , E_1 и F_1 соединены отрезками D_1E_1 и D_1F_1 . Данные условия выполнены и для симметричной части клапана (точки A_2 , B_2 и C_2 соединены отрезками A_2C_2 и B_2C_2 и точки D_2 , E_2 и F_2 соединены отрезками D_2E_2 и D_2F_2) рисунок 1.4.

Отрезки A_1C_1 и A_2C_2 будут принадлежать плоскости камеры сгорания. Отрезки B_1C_1 , D_1E_1 , B_2C_2 и D_2E_2 будут принадлежать щели клапана. Отрезки D_1F_1 и D_2F_2 будут принадлежать коллектору. Отрезки B_1C_1 , D_1E_1 , B_2C_2 , D_2E_2 равны высоте подъема клапана соответствующей данному положению увеличенной на 0,1 мм. Второй клапан построен с выполнением таких же условий. Без выполнения данных требований дальнейший расчет и движение динамической сетки в программе *Fluent* было бы невозможным.

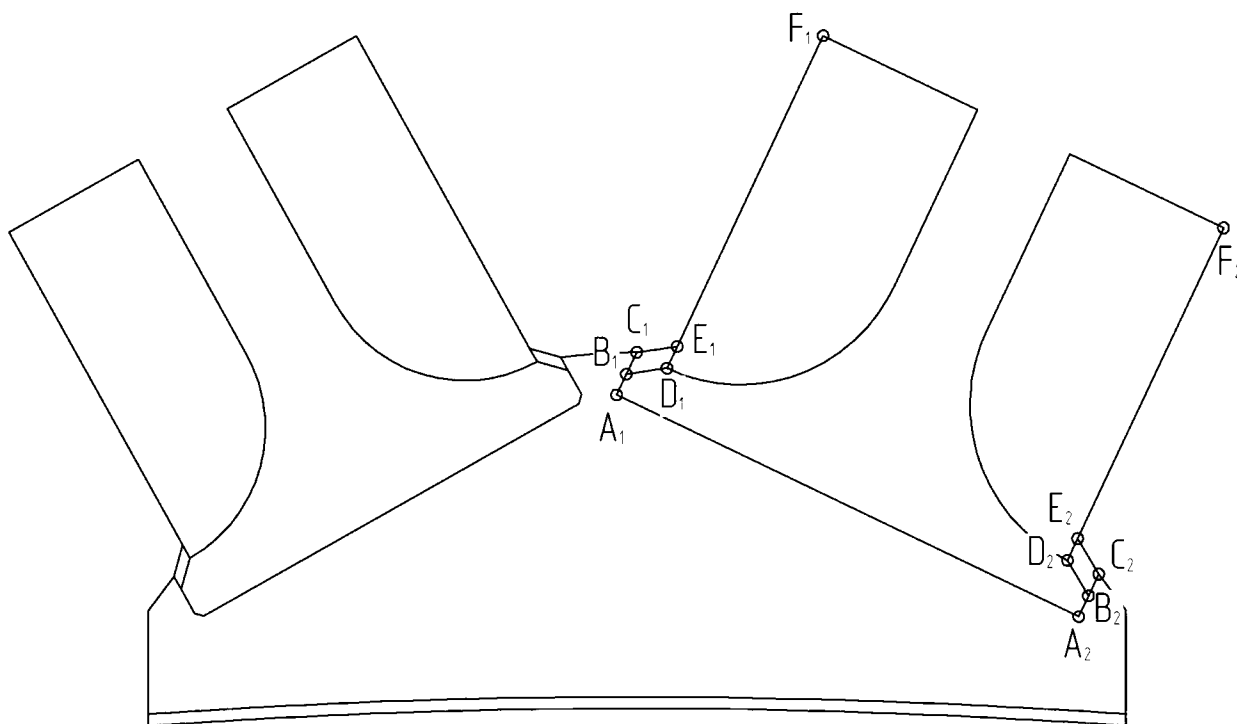


Рисунок 1.4 – Двухмерная модель камеры сгорания с частью впускного и выпускного коллекторов

1.2. Построение поверхности

Для создания поверхности впускного коллектора необходимо выполнить следующие действия:

Geometry

(Геометрия)



→

Face

(Поверхность)



→

Form face

(Создание



поверхности)

В появившемся меню *Create Face from Wireframe* нажмите на стрелочку справа от меню *Edges*, появится окно *Edge List (Multiple)*, в котором показаны доступные (*Available*) для выбора отрезки и выбранные (*Picked*). С помощью мыши выберите линии, образующие замкнутый контур поверхности коллектора, как показано на рисунке 1.5 (Для коллектора из отрезков D_1E_1 и D_1F_1 выбирается только отрезок D_1F_1). Для построения поверхности следует нажать кнопку *Apply*, в результате линии контура модели поменяют цвет (рисунок 1.6).

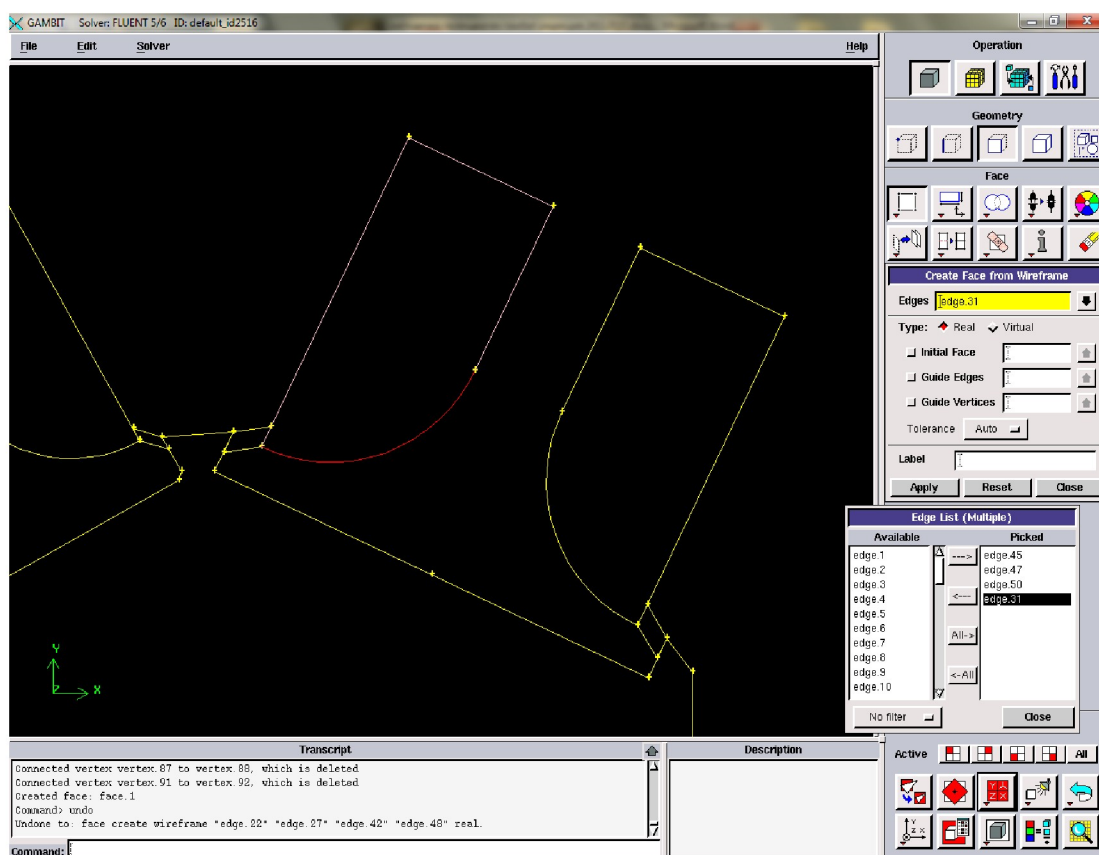


Рисунок 1.5 – Построения поверхности части впускного коллектора

Создание поверхности второй части коллектора производится аналогично. С помощью мыши выберите отрезки, образующие замкнутый контур второй части поверхности коллектора, как показано на рисунке 1.6 (для коллектора из отрезков D_2E_2 и D_2F_2 выбирается только отрезок D_2F_2). Для построения поверхности следует нажать кнопку *Apply*, в результате линии контура модели поменяют цвет (рисунок 1.7).

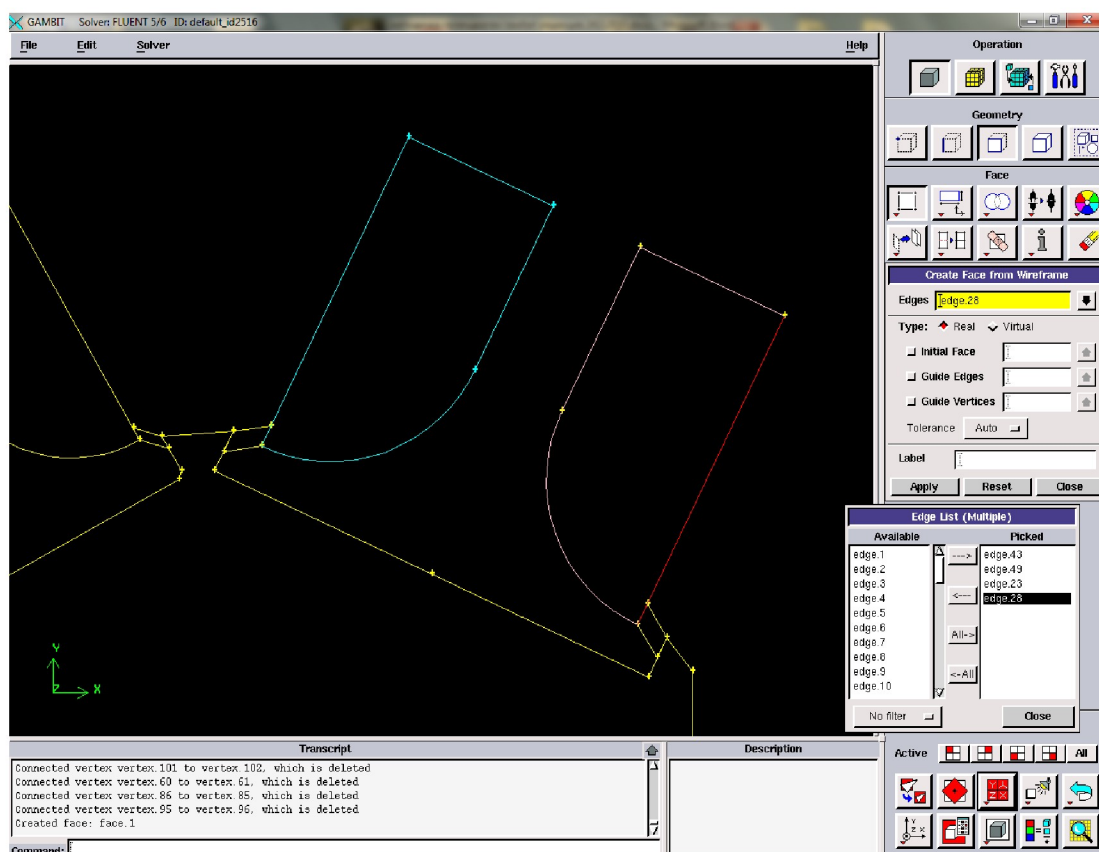


Рисунок 1.6 – Построения поверхности второй части впускного коллектора

При создании поверхности щели впускного клапана, нажав левую клавишу мыши начиная справа ведя курсор влево и вверх выделите необходимые отрезки (должно быть выделено 4 отрезка), как показано на рисунке 1.7 (Для щели клапана из отрезков A_1C_1 и B_1C_1 , D_1E_1 и D_1F_1 выбираются только отрезки B_1C_1 и D_1E_1). Для построения поверхности следует нажать кнопку *Apply*, в результате линии контура модели поменяют цвет (рисунок 1.8).

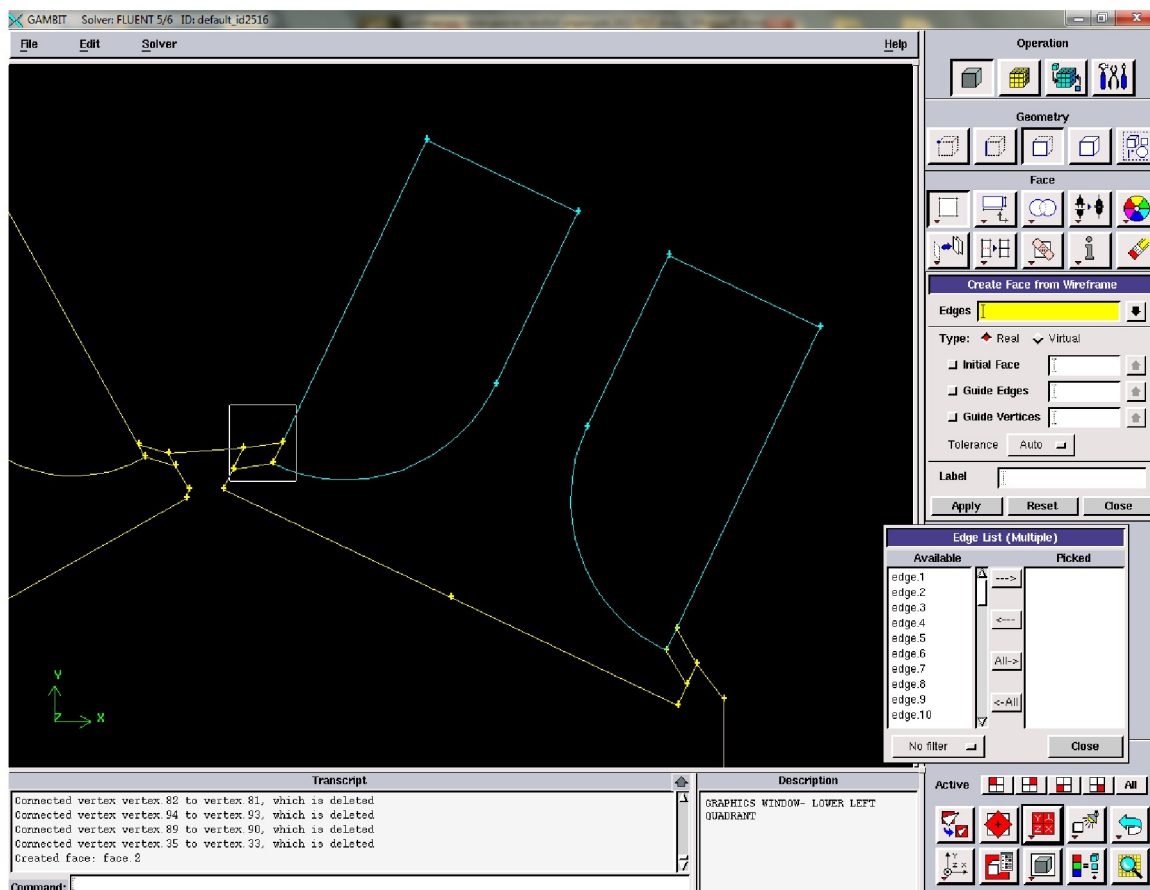


Рисунок 1.7 – Построения поверхности части щели клапана

Аналогично создается симметричная поверхность щели клапана. Выделите необходимые отрезки щели клапана (должно быть выделено 4 отрезка), как показано на рисунке 1.8 (Из отрезков A_2C_2 и B_2C_2 , D_2E_2 и D_2F_2 выбираются только отрезки B_2C_2 и D_2E_2). Для построения поверхности следует нажать кнопку *Apply*, в результате линии контура модели поменяют цвет (рисунок 1.9).

Также производится построение поверхности выпускного коллектора и щели выпускного клапана. Результат создания поверхности впускного и выпускного коллекторов и щели клапанов представлен на рисунке 1.9.

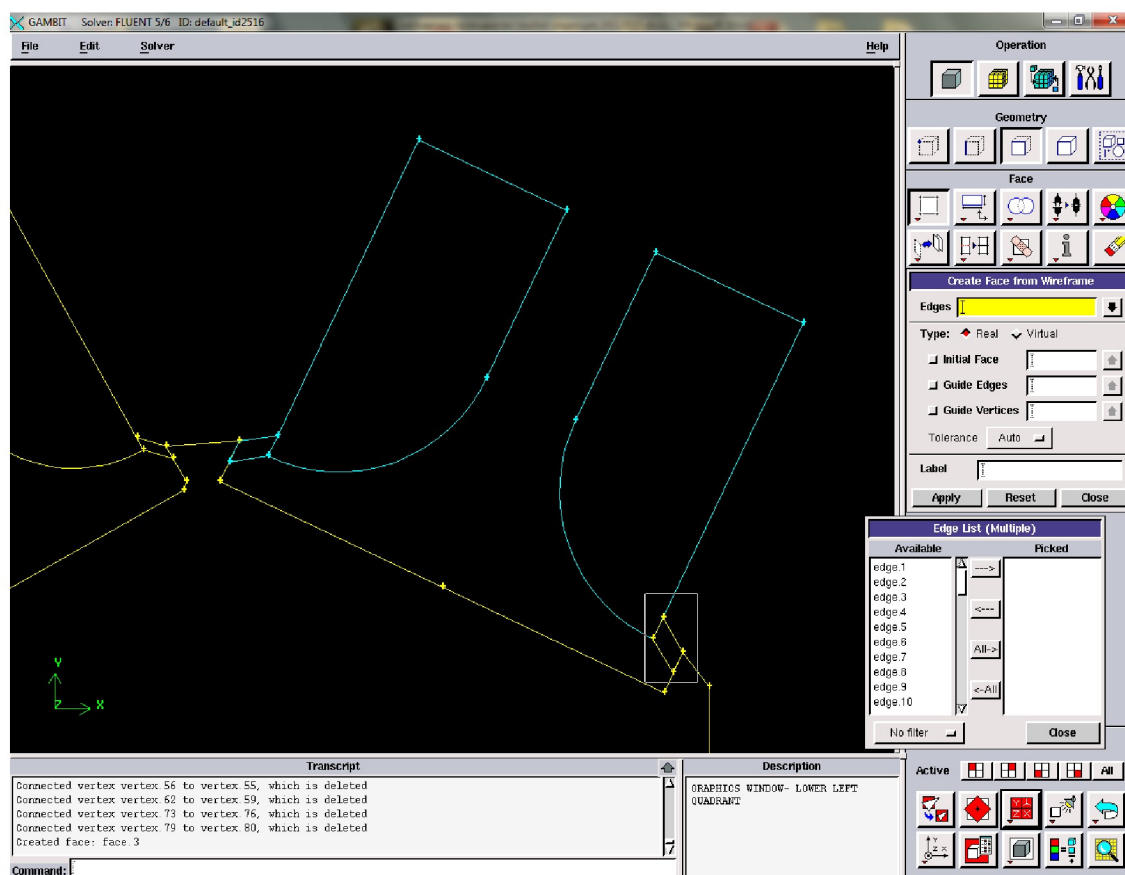


Рисунок 1.8 – Построения второй части поверхности щели клапана

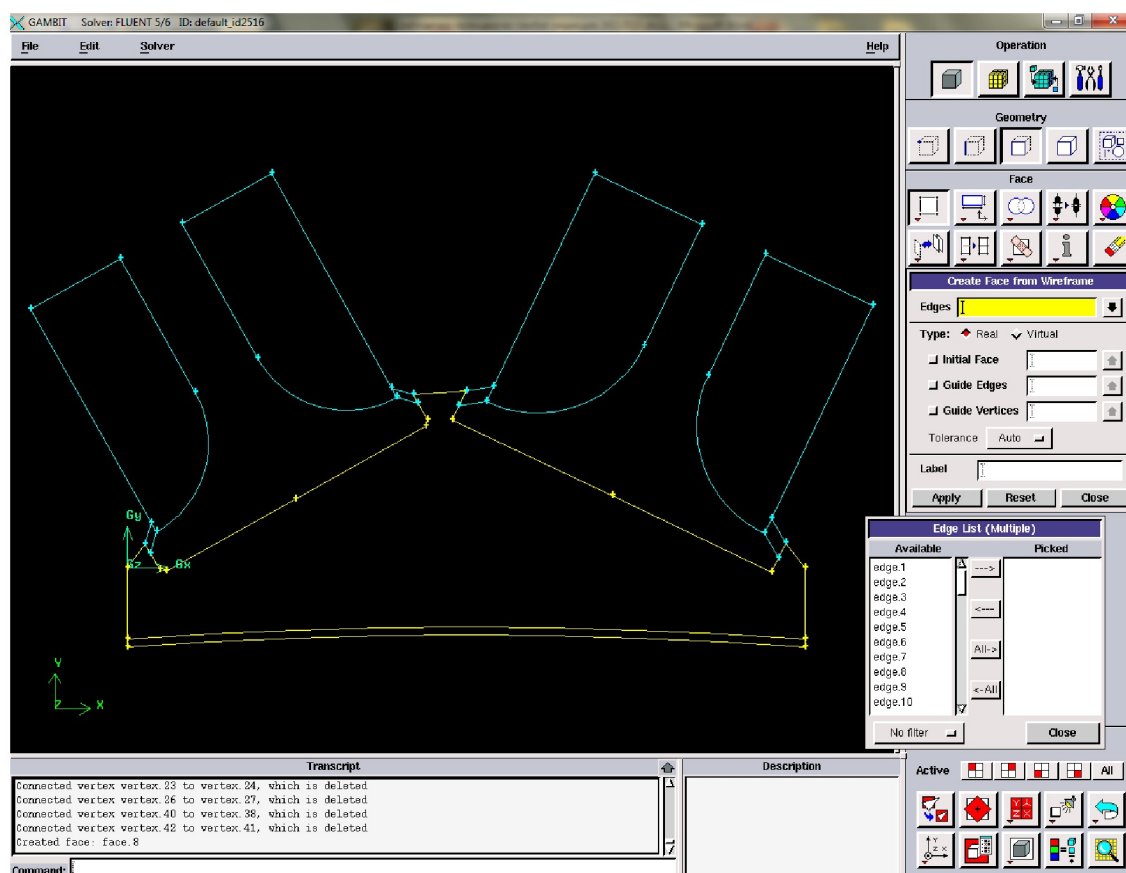


Рисунок 1.9 – Результат построения модели

При создании поверхности камеры сгорания ДВС необходимо выбрать отрезки, окантовывающие камеру сгорания (должно быть выделено 16 отрезков), как показано на рисунке 1.10. (Для камеры сгорания из отрезков A_1C_1 и B_1C_1 , A_2C_2 и B_2C_2 выбираются только отрезки A_1C_1 и A_2C_2). Для построения поверхности следует нажать кнопку *Apply*, в результате линии контура модели поменяют цвет (рисунок 1.11).

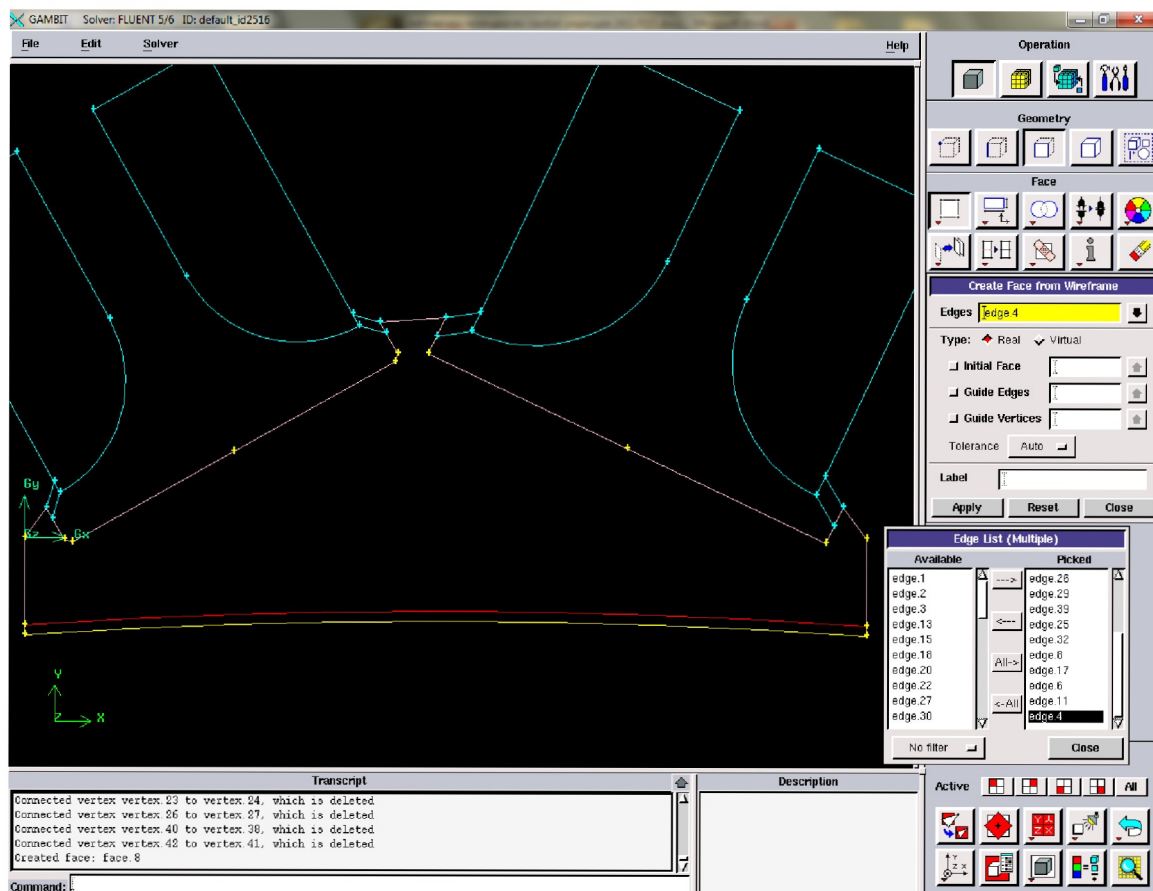


Рисунок 1.10 – Построение поверхности камеры сгорания

Для создания поверхности над поршнем выберите четыре отрезка, как показано на рисунке 1.11. Для построения поверхности следует нажать кнопку *Apply*, в результате линии контура модели поменяют цвет (рисунок 1.12).

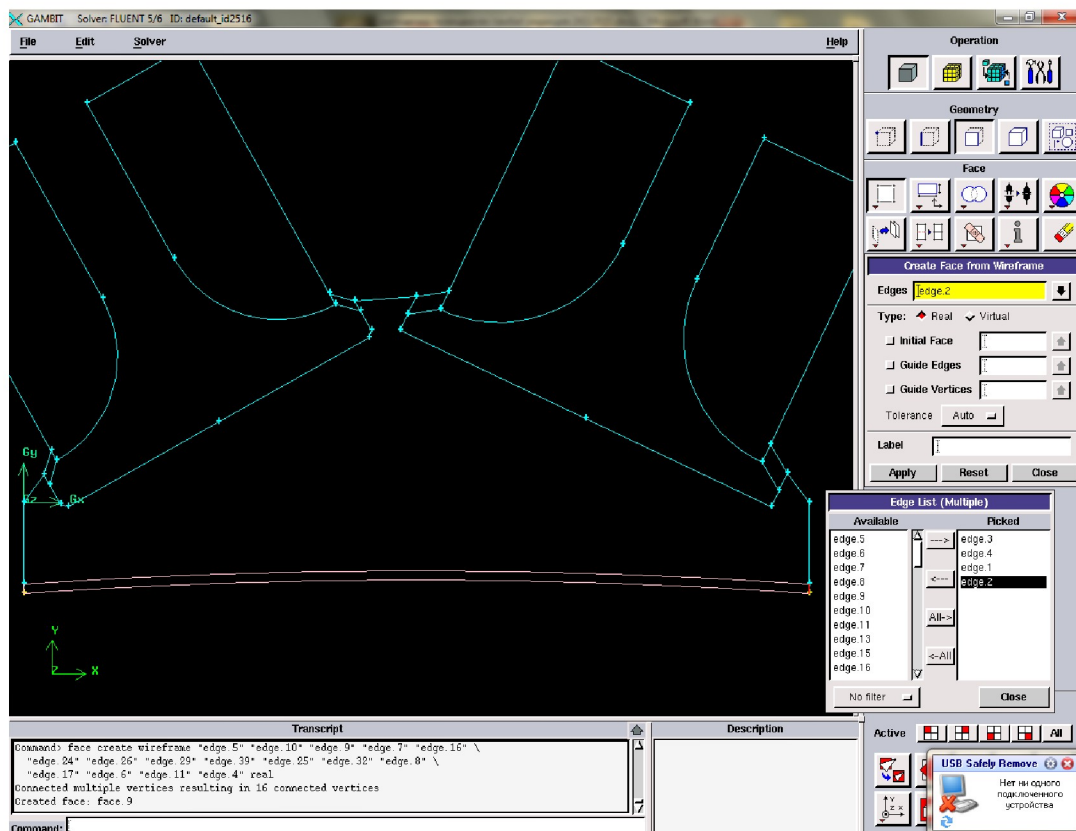


Рисунок 1.11 – Построение поверхности над поршнем

Результат построения всех поверхностей представлен на рисунке 1.12.

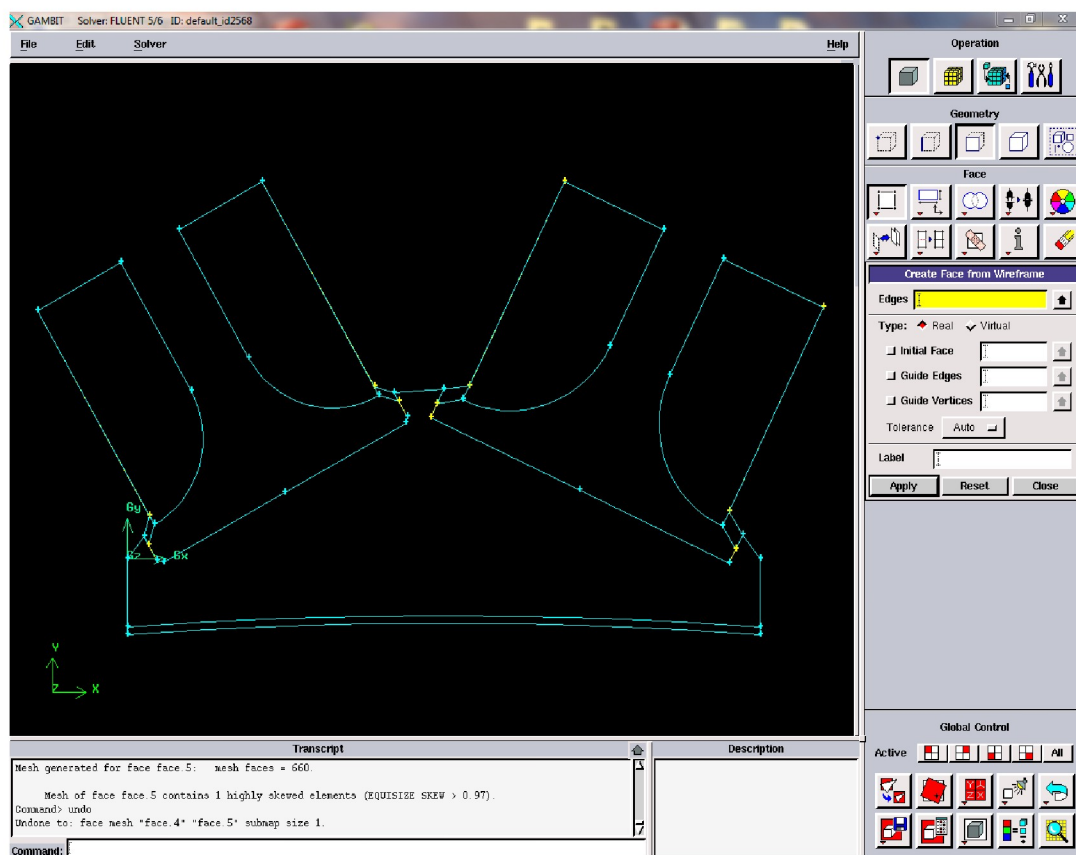
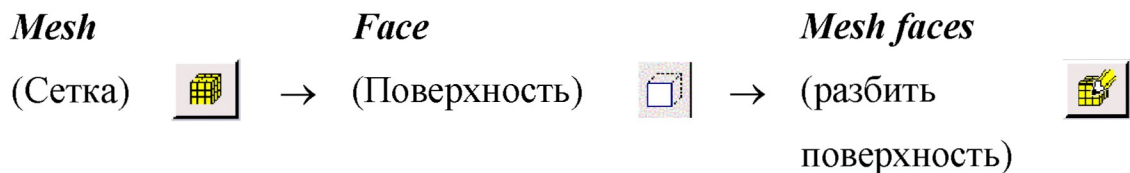


Рисунок 1. 12 – Результат построения всех поверхностей

1.3. Построение сетки

Разбиение поверхности осуществляется с помощью команды:



В появившемся меню необходимо поставить курсор в окно *Faces* и с помощью мыши выбирать поверхности, образующие выпускной коллектор. Назначить четырехугольный элемент, выбрав *Quad* во вкладке *Elements*. Выбрать тип разбиения (Type) *Pave*. Для выбора размера конечного элемента равного 1 в окне *Spacing* вводится 1. Для построения сетки следует нажать кнопку *Apply*, в результате на выделенной поверхности появится сетка (рисунок 1.13).

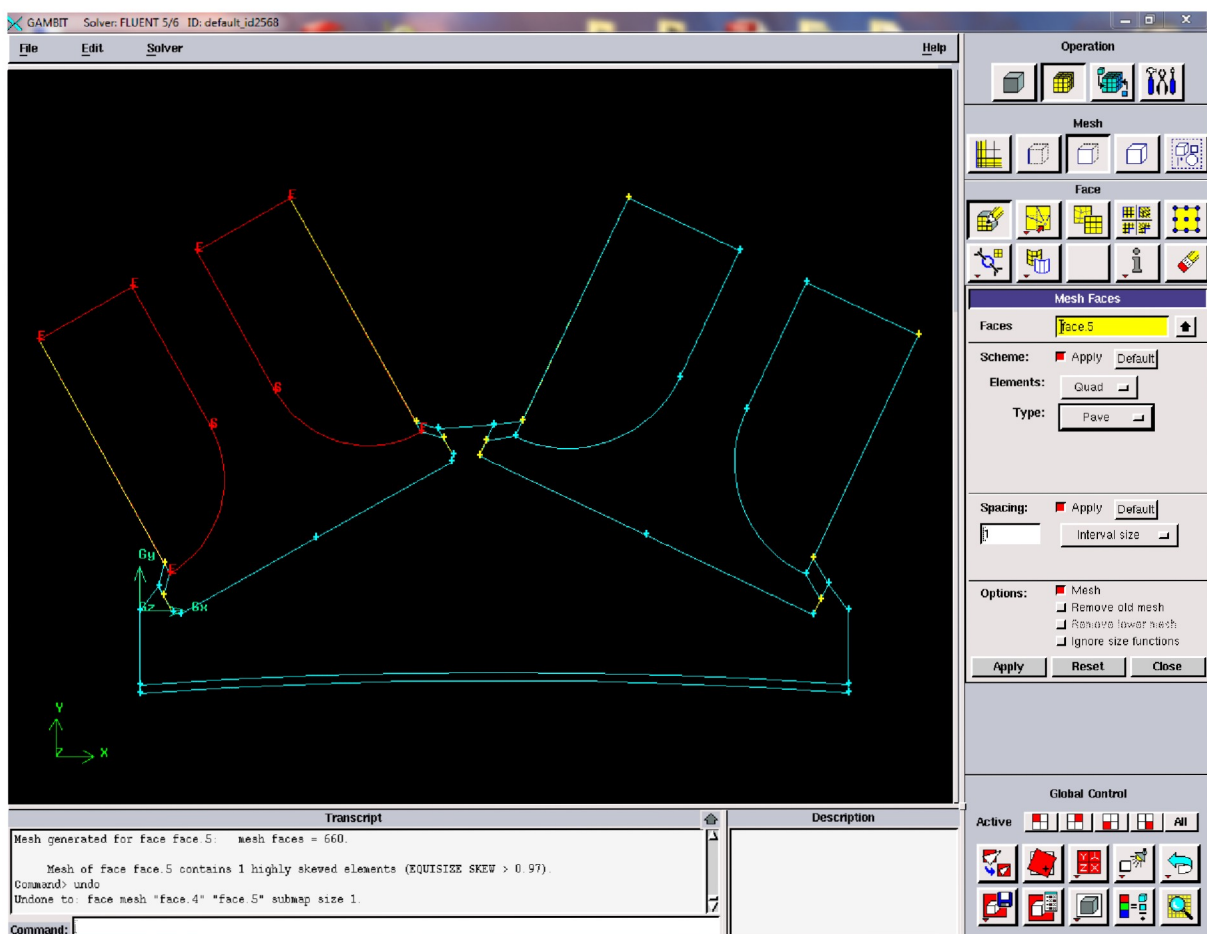


Рисунок 1.13 – Построение сетки на поверхности выпускного коллектора

Результаты построения сетки из четырехугольных элементов на поверхности выпускного коллектора представлены на рисунке 1.14.

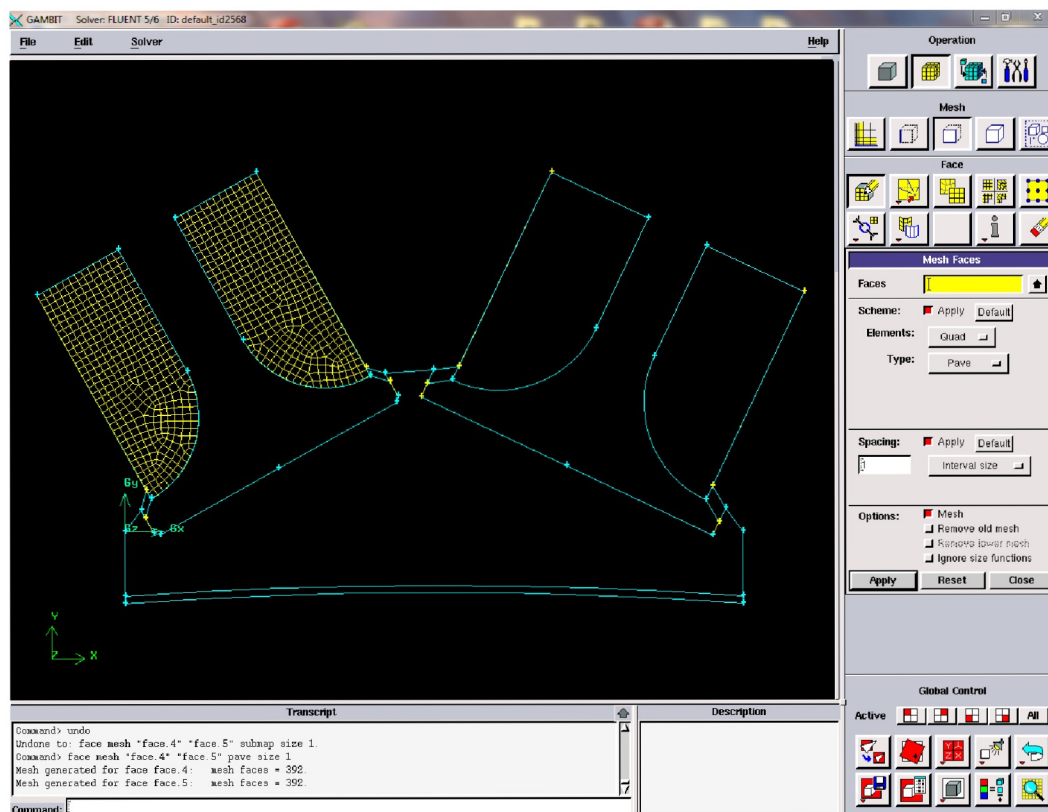


Рисунок 1.14 – Результат построения сетки на поверхности выпускного коллектора

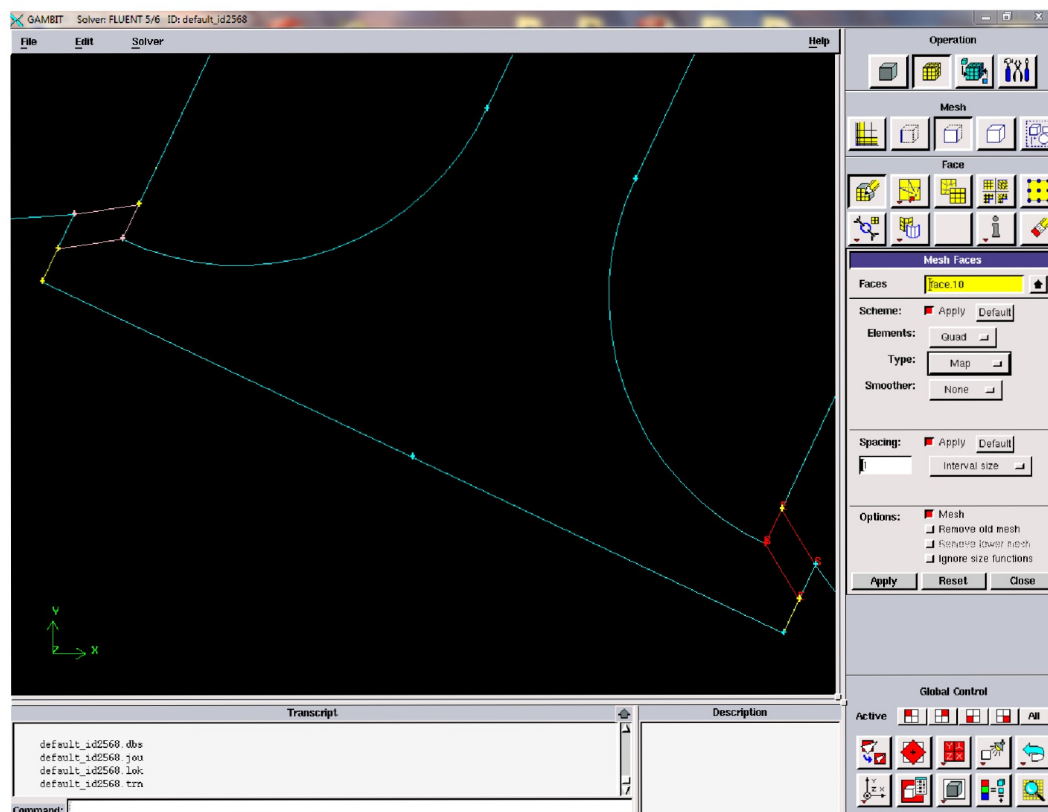


Рисунок 1.15 – Построение сетки на поверхности щели выпускного клапана

Щель клапана так же разбивается сеткой из четырехугольных элементов с размером конечного элемента равным 1, но тип разбиения выбирается *Map* (рисунок 1.15).

Результаты построения четырехугольной сетки на поверхности щели выпускного клапана представлены на рисунке 1.16.

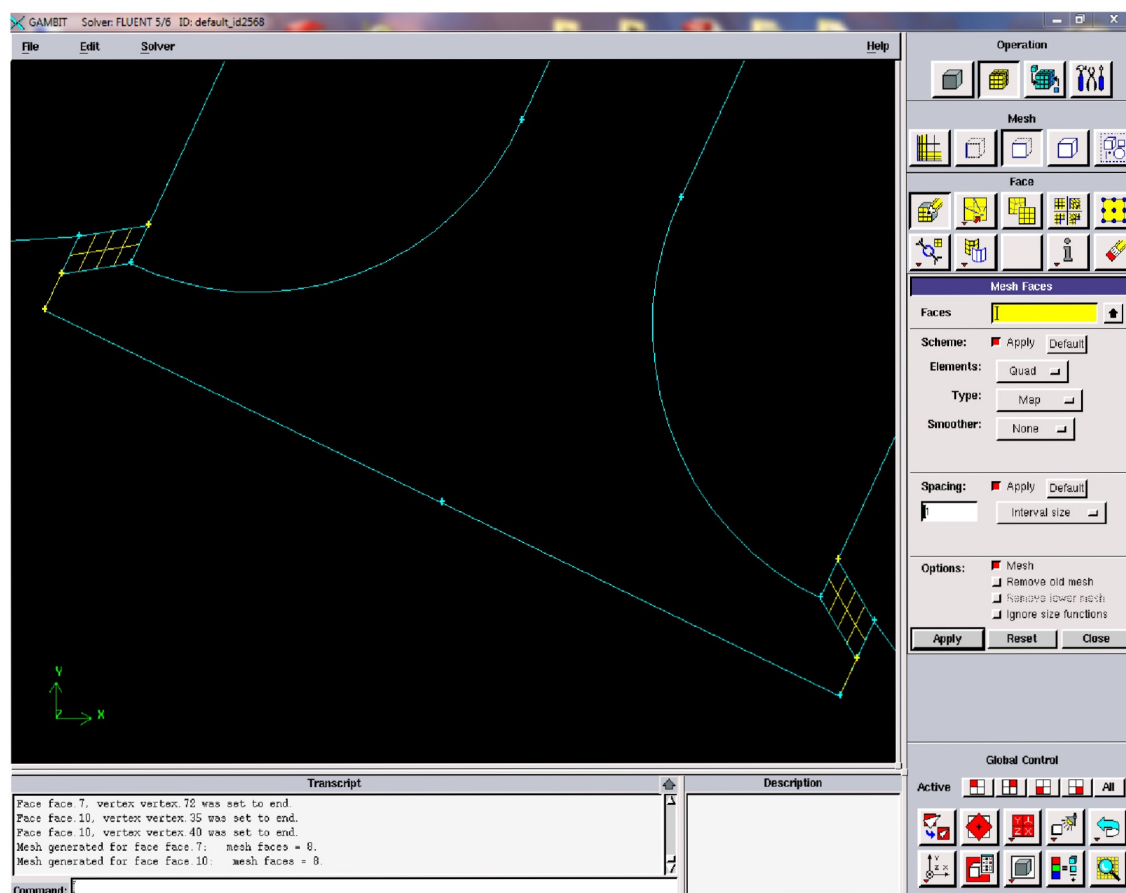


Рисунок 1.16 – Результат построения сетки на поверхности щели выпускного клапана

Разбиение поверхности впускного коллектора и поверхность щели впускного клапана осуществляется аналогично.

Камера сгорания разбивается сеткой из треугольных элементов (*Tri*) тип разбиения *Pave* с размером конечного элемента равным 1. Поверхность над поршнем разбивается сеткой из четырехугольных элементов тип разбиения *Map* с размером конечного элемента равным 1 (рисунок 1.17).

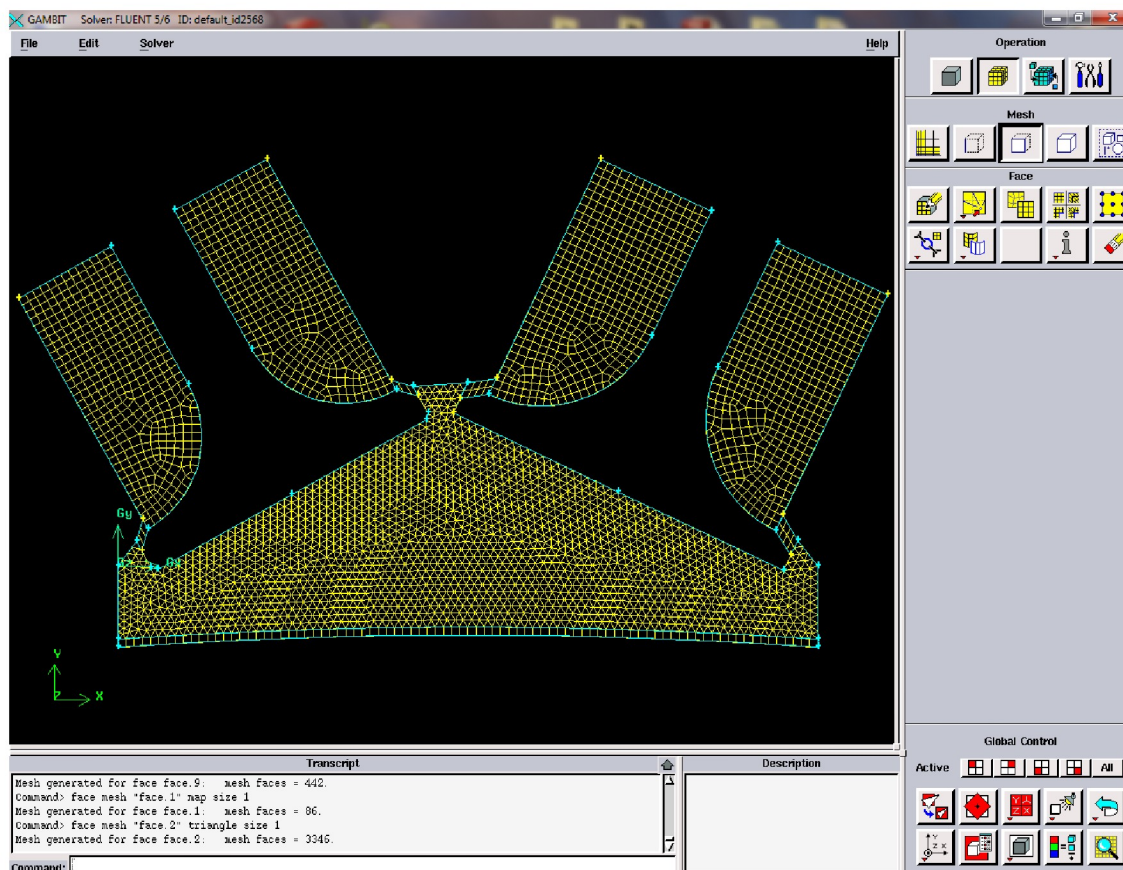


Рисунок 1.17 – Результат построения сетки на всей поверхности модели

1.4. Назначение граничных условий

Для входа в меню задания граничных условий следует нажать следующие кнопки в главном меню:

Zones

(Зоны)



Specify Boundary Types

(Задать тип граничных условий)



В появившемся меню необходимо поставить курсор в окно *Edges* и с помощью мыши выбирать соответствующие отрезки в выпускном коллекторе. В окне *Name* вводится название *Pressure_outlet*. Во вкладке *Type* необходимо выбрать *PRESSURE_OUTLET*. Для применения граничного условия необходимо нажать кнопку *Apply* (рисунок 1.18).

Другие граничные условия задаются аналогично. Названия и выбираемые отрезки представлены на рисунке 1.19, типы граничных условий представлены в таблице 1.1.

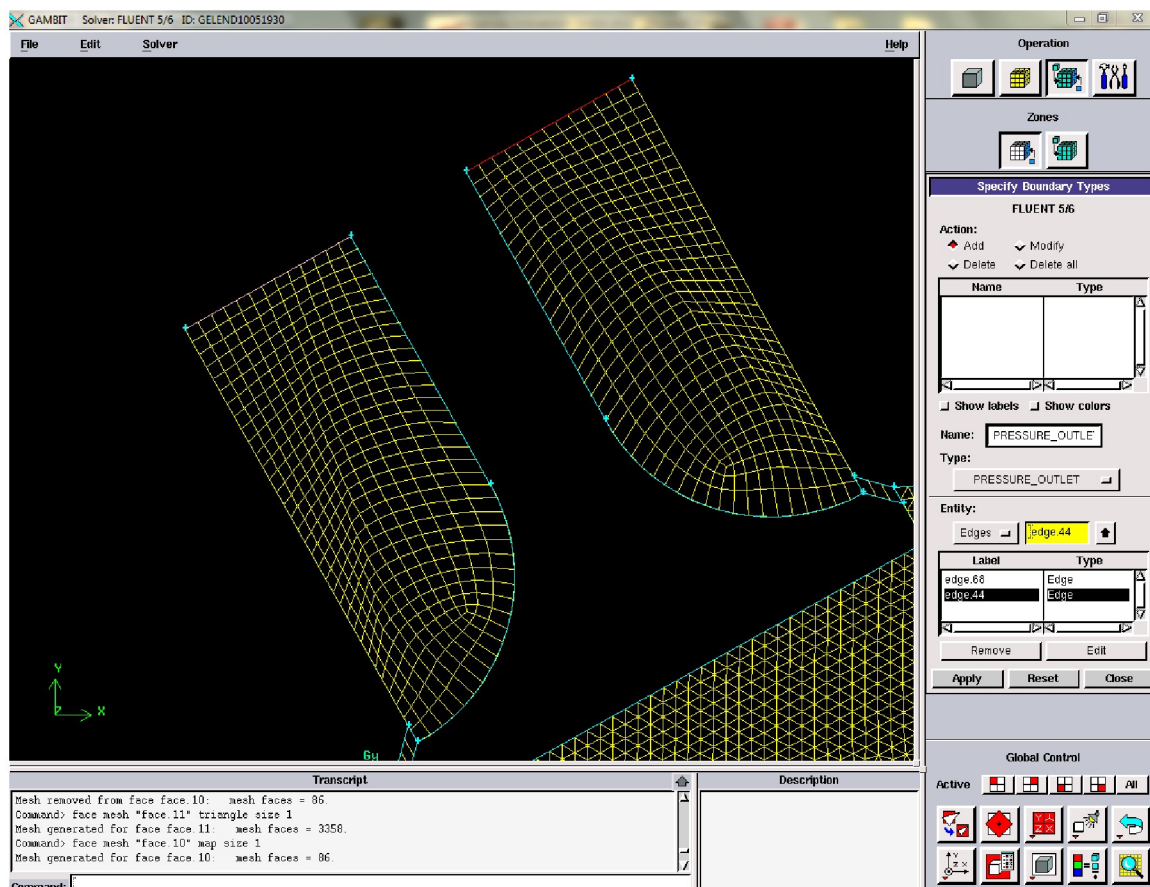


Рисунок 1.18 – Назначение граничных условий Pressure_outlet

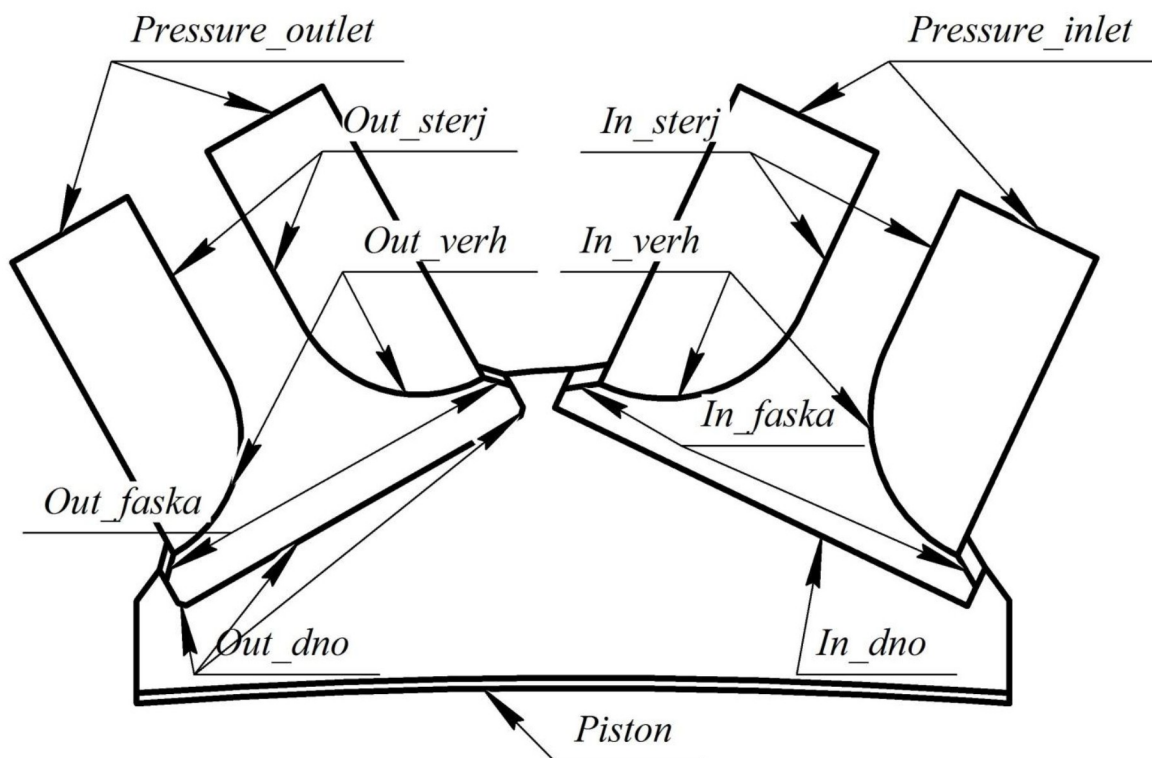


Рисунок 1.19 – Граничные условия для остальных контуров

Таблица 1.1 – Название и тип граничных условий для контуров

Названия	Тип
Pressure_outlet	PRESSURE_OUTLET
Pressure_intlet	PRESSURE_INTLET
Out_sterj	WALL
Out_verh	WALL
Out_faska	WALL
Out_dno	WALL
In_sterj	WALL
In_verh	WALL
In_faska	WALL
In_dno	WALL
Piston	WALL

Назначение граничных условий для наложенных друг на друга отрезков представлены в таблице 1.2.

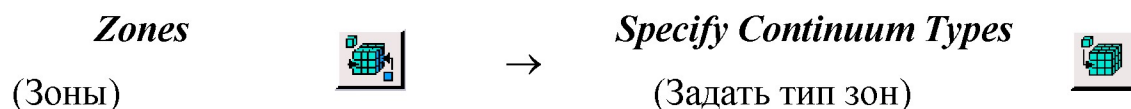
Таблица 1.2 – Название и тип граничных условий для указанных отрезков

Отрезки	Названия	Тип
Для впускного		
A_1C_1 и A_2C_2	Out_in_cyl	INTERFACE
B_1C_1 и B_2C_2	Out_in_sedlo_cyl	INTERFACE
D_1E_1 и D_2E_2	Out_in_sedlo_kan	INTERFACE
D_1F_1 и D_2F_2	Out_in_kan	INTERFACE
Для выпускного		
A_1C_1 и A_2C_2	In_in_cyl	INTERFACE
B_1C_1 и B_2C_2	In_in_sedlo_cyl	INTERFACE
D_1E_1 и D_2E_2	In_in_sedlo_kan	INTERFACE
D_1F_1 и D_2F_2	In_in_kan	INTERFACE

На остальных ограничивающих модель поверхностях, которые не были отмечены как граничные, по умолчанию будет установлено граничное условие стенки (*Wall*).

1.5. Назначение типа зон

Для входа в меню задания типа зон следует нажать следующие кнопки в главном меню:



В появившемся меню необходимо поставить курсор в окно *Edges* и с помощью мыши выбирать поверхность выпускном коллекторе. В окне *Name* вводится название *Vipysk*. Во вкладке *Type* необходимо выбрать *FLUID*. Для применения задания типа зоны необходимо нажать кнопку *Apply* (рисунок 1.20).

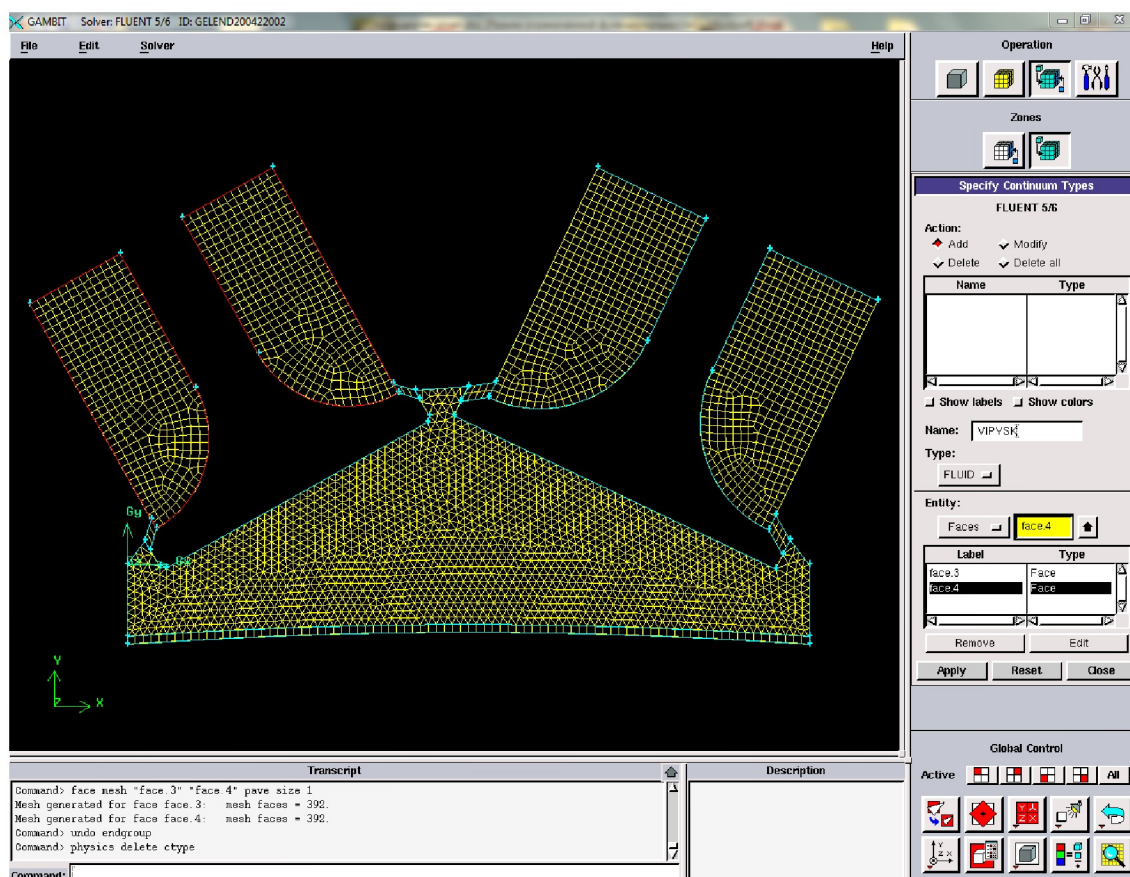


Рисунок 1.20 – Задание зоны *Vipysk*.

Другие зоны задаются аналогично. Зоны их названия и тип представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Зоны их название и тип

Зона	Название	Тип
Впускной коллектор	Vpysk	Fluid
Щель выпускного клапана	Vipysk_sedlo	Fluid
Щель впускного клапана	Vpysk_sedlo	Fluid
Камера сгорания	Ks	Fluid
Часть камеры сгорания над поршнем в 1 мм	Porsh	Fluid

1.6. Передача построенной расчетной модели в программу *Fluent*

Для экспорта созданной модели в верхнем меню нужно выбрать следующие пункты:

File → *Export* → *Mash*.

В появившемся окне нужно ввести имя файла обмена (Например, Cylinder.msh). По умолчанию оно совпадает с именем файла модели. С помощью кнопки *Browse* можно выбрать место, где файл необходимо сохранить. Поскольку расчетная модель двухмерная, то обязательно следует нажать кнопку *Export 2D (X-Y) Mash*. Запись файла обмена подтверждается нажатием кнопки *Accept*.

Если файл обмена был успешно записан, то в окне сообщений появится надпись *mash was successfully written to Cylinder.msh*.

В указанном месте появится файл *Cylinder.msh*.

2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЕ ДВС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ FLUENT

Вначале необходимо скопировать файл сетки *Cylinder.msh* и файл параметров профиля *valve.prof* в специальную рабочую папку. Данные файлы создаются соответственно в предпроцессоре *Gambit* и *WordPad*. Затем следует запустить программу *FLUENT 2D*.

2.1 Настройка параметров сетки

а) Откройте файл *Cylinder.msh*:

File → *Read* → *Mesh...*

Программа FLUENT читает файл и отображает в окне процесс запуска.

б) Процесс проверки сетки производится следующим образом:

Mesh → *Check*

Процедура проверки выявляет целостность разбиения. Убедитесь в том, что наименьший объем отображается со знаком «+».

в) Размеры расчетных моделей в программе Fluent должны быть обязательно заданы в метрах. Построение моделей обычно проводится в миллиметрах. Так, как рассматриваемая модель цилиндра была создана в миллиметрах, то поэтому построенную сетку нужно уменьшить в 1000 раз. Для этого в программе есть удобная команда масштабирования *Scale Mesh* (рисунок 2.1). Проверка масштабирования сетки осуществляется с помощью следующих манипуляций:

Mesh → *Scale...*

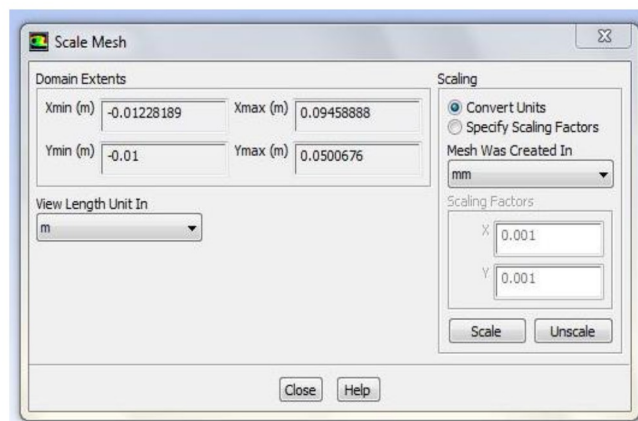


Рисунок 2.1 – Меню масштаба сетки (*Scale Mesh*)

Проверьте поле *Domain Extents*, чтобы убедиться в правильности выбора единиц измерения. Главное, чтобы масштаб сетки соответствовал проведенным построениям.

г) Просмотр конечно-элементной сетки.

Для того чтобы просмотреть конечно-элементную сетку загруженной модели (рисунок 2.2) необходимо с помощью команды совершить следующие действия:

Display → *Mesh...*

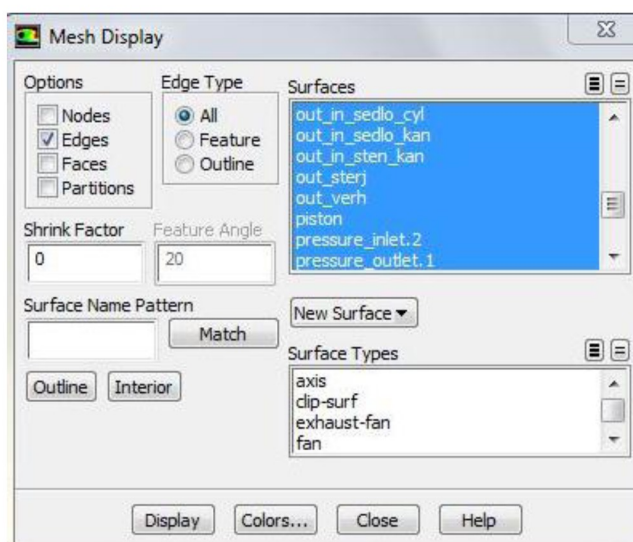


Рисунок 2.2 – Меню отображения сетки (*Display – Mesh*)

д) На следующем этапе необходимо для удобства работы установить разные цвета сетки для ее разных областей. Для этого следует использовать

команду *Colors*. При этом открывается окно *Mesh Colors* (цвет сетки), которое показано на рисунке 2.3.

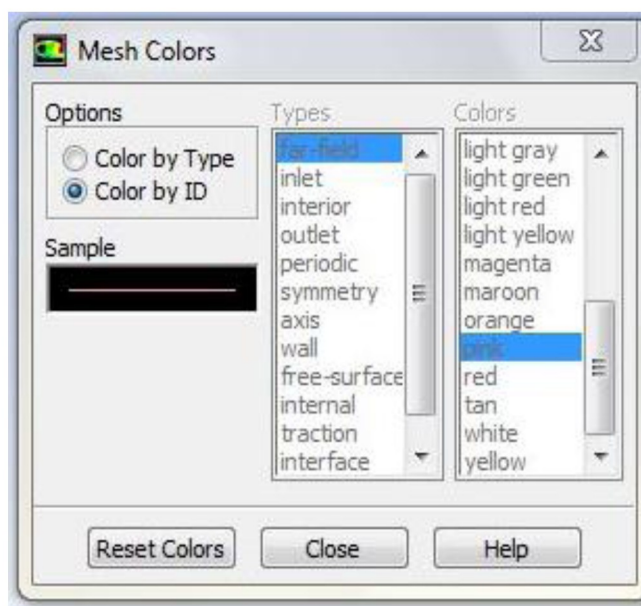


Рисунок 2.3 – Меню выбора цвета сетки (*Mesh Colors*).

В этом меню выполняют последовательно следующие операции:

- Необходимо выбрать *Color by ID* в списке опций *Options*.
 - Затем следует закрыть окно *Mesh Colors*.
- е) Затем необходимо использовать команду *Display* в окне *Mesh Display* и закрыть данное окно. На рисунке 2.4 можно увидеть, что элемент разделен на несколько областей с различной сеткой. Некоторые зоны состоят из элементов, имеющих форму квадрата, другие – из элементов, имеющих форму треугольника. Вид областей над клапанами имеет нестационарный характер. Такое разделение элемента на области и внутриобластное разделение подразумевает использование в полной мере метода разбиения элемента на слои посредством нестационарной деформируемой модели MDM.

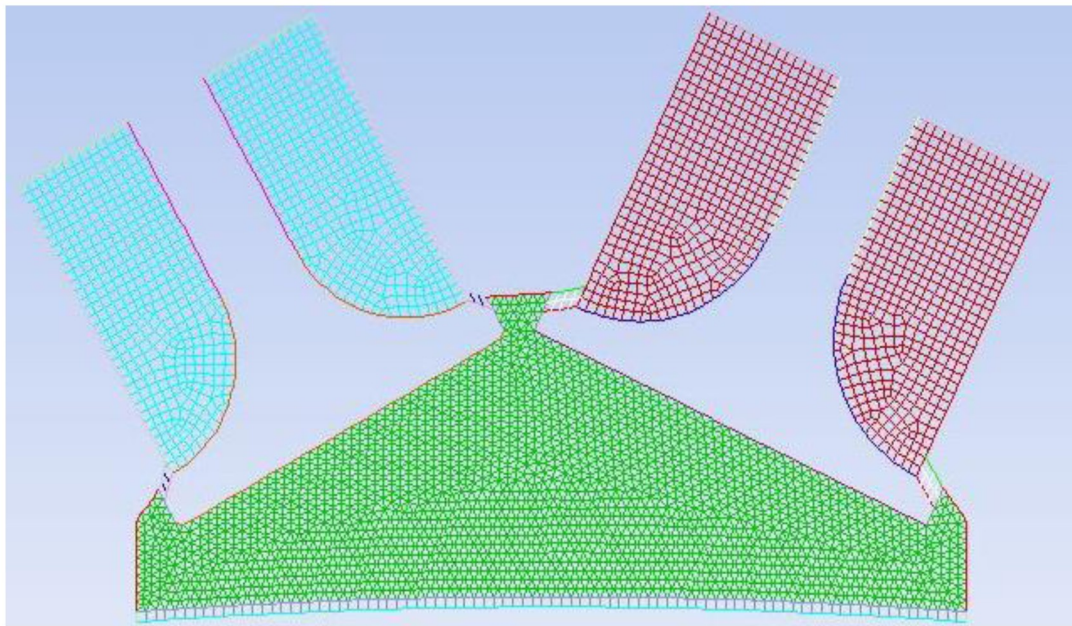


Рисунок 2.4 – Внешний вид расчетной модели

2.2. Настройка модели решателя

Для решения данной задачи выбирается нестационарный метод моделирования с учетом турбулентных течений (рисунок 2.5).

1. Выбирается тип задачи – нестационарный:

Define → *General* → *Solver...*

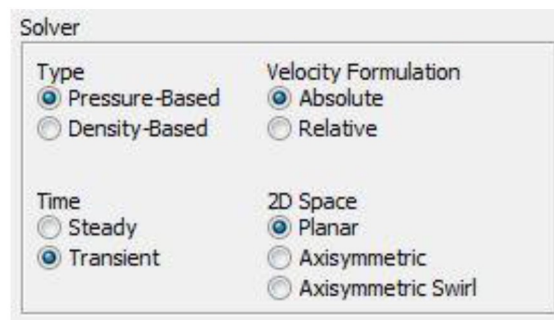


Рисунок 2.5 – Меню опций решателя (*Solver*)

- а) В списке возможных настроек *Time* выбирается *Transient*.
- б) Для решения данной задачи рекомендуется использовать настройку *Pressure Based* (в российской литературе его называют алгоритмом установления), которая является на сегодняшний день хорошо отработанной и эффективной для широкого ряда задач, в том числе и для задач подобного рода.

2. Для обеспечения высокой точности расчетов необходимо выбрать соответствующую для данной задачи модель турбулентности. Учитывая сложность задачи, рекомендуется использовать k - ε модель турбулентности (рисунок 2.6). Для этого настройка модели турбулентности вызывается следующим образом:

Define → *Models* → *Viscous...*

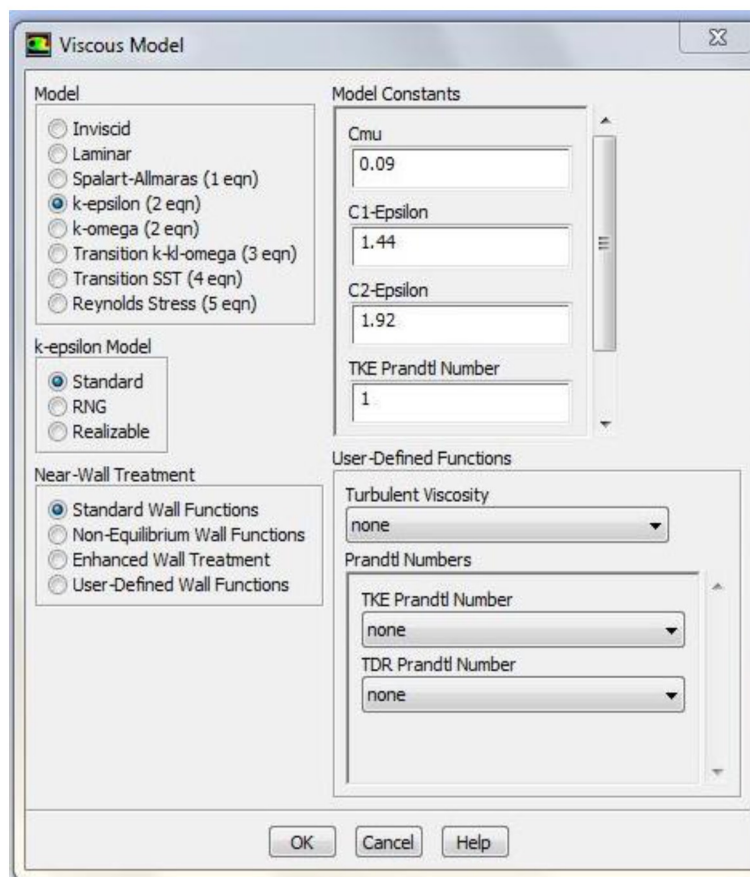


Рисунок 2.6 – Меню выбора модели турбулентности(*Viscous Model*)

В ней выполняются следующие действия:

- Выбирается модель турбулентности k - ε (2 eqn) в списке *Model*. Она является простой двухпараметрической моделью турбулентности, в которой решаются два уравнения переноса, определяющие турбулентную скорость и время диссипации вихря. Стандартная k - ε модель, представленная во FLUENT, получила широкое применение в решении практических инженерных задач. Устойчивость и разумная точность для широкого диапазона турбулентных потоков делает ее наиболее применимой

в промышленных задачах. Постоянные коэффициенты для этой модели турбулентности получены опытным путем и поэтому она является полуэмпирической.

При определении параметров турбулентности k и ε используются два дифференциальных уравнения в частных производных. Уравнение переноса турбулентной кинетической энергии имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho \cdot k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot u \cdot k)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v \cdot k)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot w \cdot k)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_T} \cdot \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_T} \cdot \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_T} \cdot \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \mu_T \cdot \Phi - \rho \cdot \varepsilon + \frac{C_4 \cdot \beta \cdot \mu_T}{\sigma_T} \left(X \frac{\partial T}{\partial x} + Y \frac{\partial T}{\partial y} + Z \frac{\partial T}{\partial z} \right).$$

Уравнение переноса скорости диссипации турбулентной кинетической энергии имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho \cdot \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot u \cdot \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v \cdot \varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot w \cdot \varepsilon)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + C_{1\varepsilon} \cdot \mu_T \cdot \frac{\varepsilon}{k} \cdot \Phi - C_2 \cdot \rho \cdot \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{C_\mu \cdot (1 - C_3) \cdot \beta \cdot \rho \cdot k}{\sigma_T} \times \left(X \frac{\partial T}{\partial x} + Y \frac{\partial T}{\partial y} + Z \frac{\partial T}{\partial z} \right).$$

- Для других параметров настройки сохраняются по умолчанию.
 - Затем нажимается кнопка *OK*, для того чтобы закрыть окно *Viscous Model*.
3. При решении данной задачи нужно обязательно учитывать теплообмен и теплопередачу. Для этого необходимо подключить к решению уравнение энергии с помощью команды:

Define → *Models* → *Energy*...

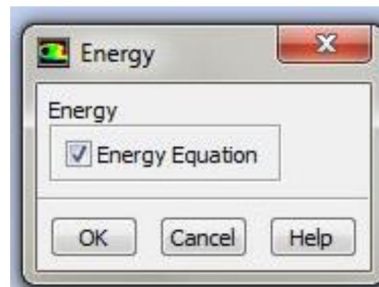


Рисунок 2.7 – Меню включения уравнения энергии (*Energy*)

В появившемся окне нужно поставить галочку в строке *Energy Equation* и нажать *OK* (рисунок 2.7).

2.3. Задание параметров модели смешения и свойств рабочего тела

1. На следующем этапе моделирования задаются параметры смешивания химических веществ (рисунок 2.8). Для этого выполняются следующие действия: *Define* → *Models* → *Species...*

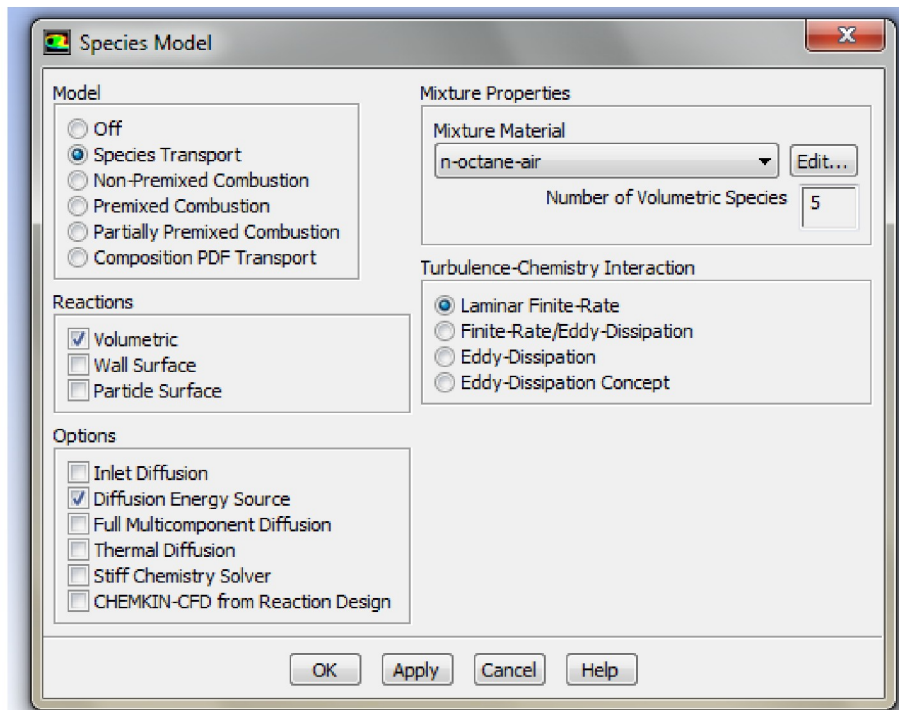


Рисунок 2.8 – Меню компонентов (*Species Model*)

- а) В первую очередь необходимо выбрать опцию *Species Transport* в перечне моделей *Model*.
- б) В списке реакций *Reactions* выбирается опция *Volumetric*.
- в) Выбирается *Diffusion Energy Source* в перечне опций *Options*.
- г) В свойствах смеси *Mixture Properties* выбирается *n-octane-air* в материалах смеси *Mixture Material*.
- д) Для того чтобы закрыть окно *Species Model*, следует нажать кнопку *OK*. При этом откроется информационное диалоговое окно *Information* с сообщением: «*Available material properties or methods have changed. Please conform the property values before continuing*» («Исходные свойства материалов или процессы были изменены. Пожалуйста, убедитесь в том, что все значения характеристик согласованы»). После выбора движения среды необходимо назначить состав смеси.

е) Нажатием кнопки *OK* закрывается информационное диалоговое окно *Information*.

2. Так как топливо, используемое в двигателе, является жидким то необходимо настроить параметры процесса испарения топлива(рисунок 2.9).

Define → Models → Discrete Phase...

а) В первую очередь определяется влияние границ раздела фаз:

- Выбирается опция *Interaction with Continuous Phase* в списке *Interaction*.

- В данном случае граница разделения фаз будет использоваться по умолчанию.

- Затем выбирается опция *Update DPM Sources Every Flow Iteration* в списке настроек *Interaction*.

б) На следующем этапе открывается раздел физических моделей *Physical Models*.

- Устанавливается настройка учета соударения капель *Droplet Collision* и дробления капель *Droplet Breakup* в разделе модели распыления *Spray Model*.

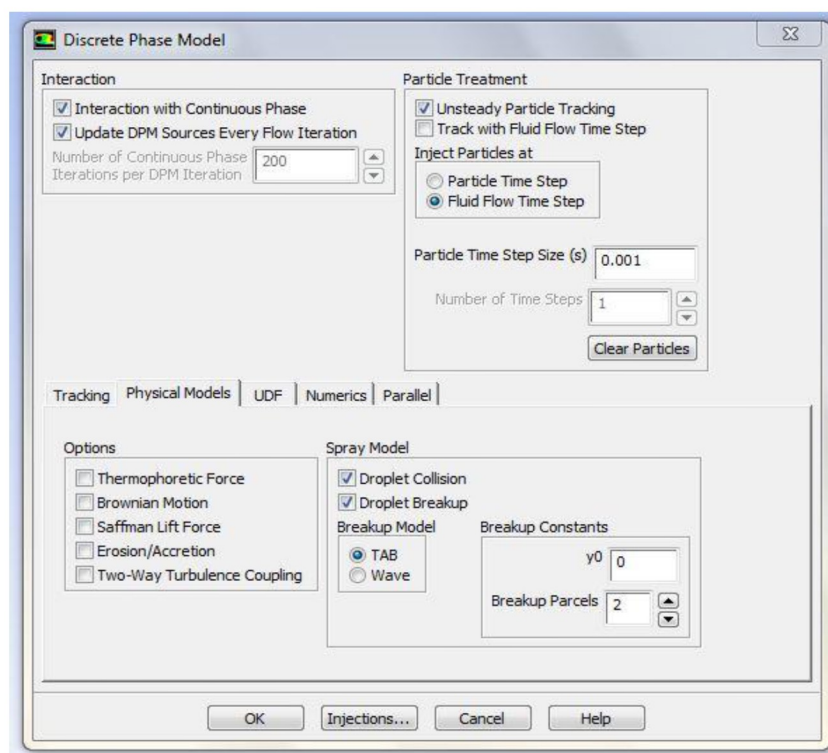


Рисунок 2.9 – Меню настройки параметров испарения (*Discrete Phase Model*)

- Выбирается *TAB* модель в разделе моделей дробления *Breakup Model*.
 - Сохраняется по умолчанию установленные параметры для функции $y_0=0$ в окне *Breakup Constants*. Выбранное безразмерное значение показывает деформацию капли в начальный момент времени $t=0$.
- в) Нажатием кнопки *OK* закрывается окно *Discrete Phase Model*.

3. Так как происходит реакция горения и была выбрана смесь *n-octane-air*, то отдельный воздух (*air*) не нужен и его необходимо удалить. Для этого необходимо открыть меню *Materials* представленное на рисунке 2.10 выполнив следующие действия:

Define → *Materials*

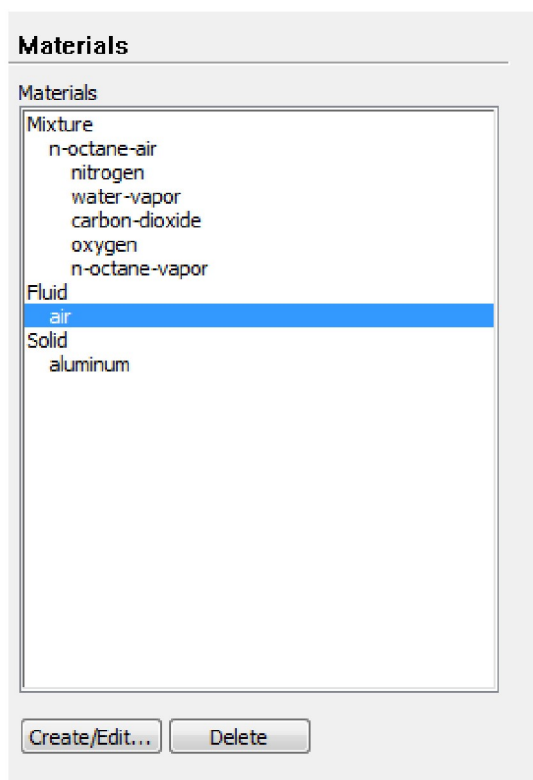


Рисунок 2.10 – Меню настройки веществ (*Materials*)

В открывшемся меню *Materials* необходимо выделить *air* (воздух) и удалить его, нажав *delete*.

2.4. Настройка граничных условий

Меню задания граничных условий (рисунок 2.11) вызывается командой:
Define → Boundary Conditions...

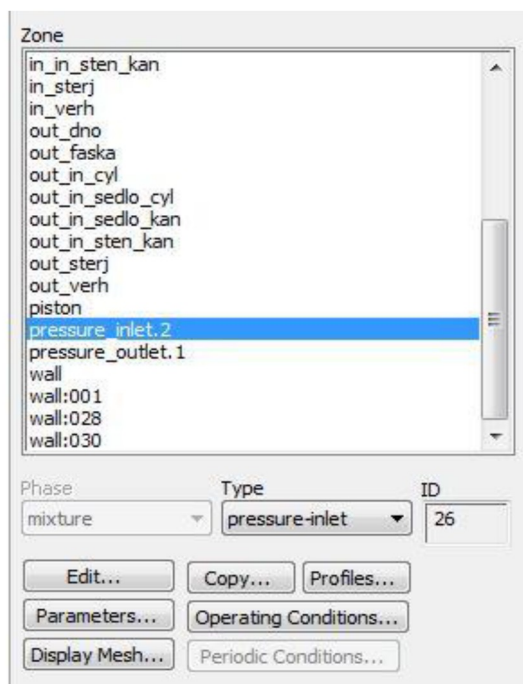


Рисунок 2.11 – Меню настройки граничных условий (*Boundary Conditions*)

1. В поле *Zone* находится список всех граничных условий, определенных в *Gambit*. Если выбрать имя одного из них, например *pressure_inlet.2*, то в окне *Type* будет указан тип граничного условия. В случае необходимости в этом окне тип граничных условий можно поменять.
 - а) Чтобы приступить к заданию граничных условий, необходимо в окне *Zone* выбрать нужное граничное условие *pressure_inlet*, убедиться, что в окне *Type* тип граничного условия указан верно.
 - б) Затем следует нажать клавишу *Edit*:

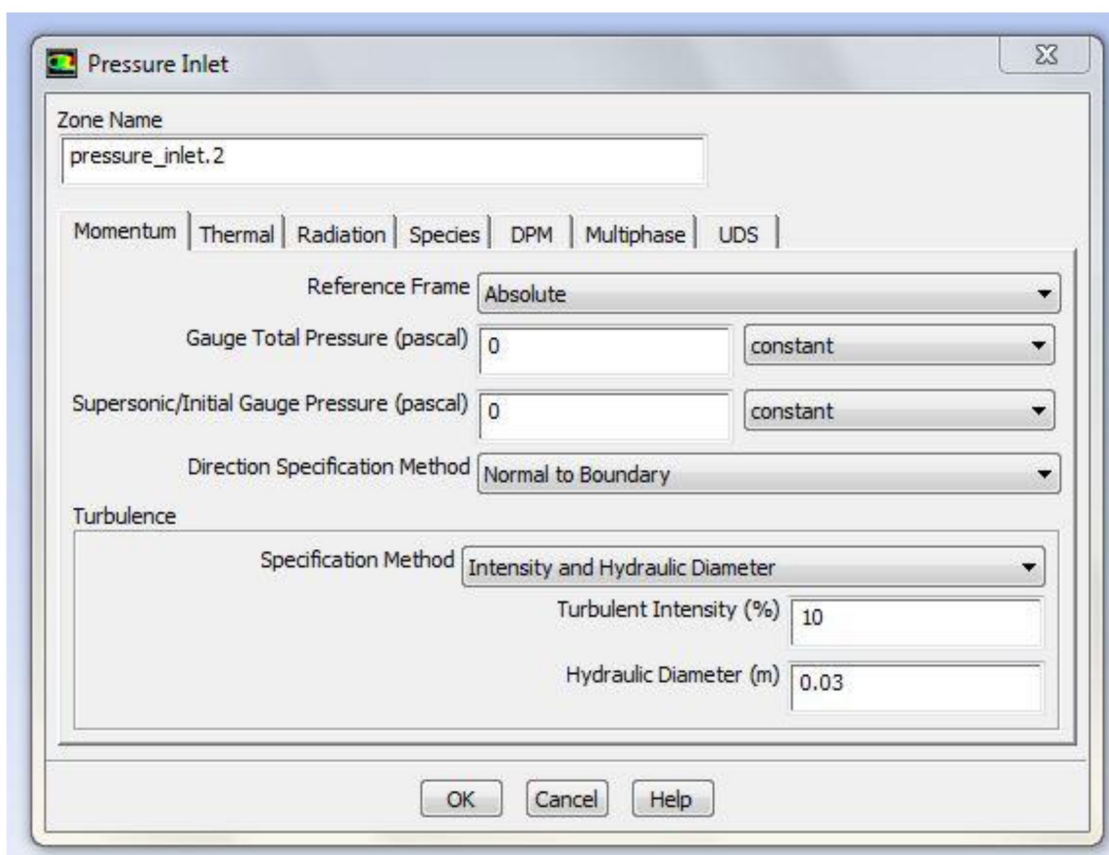


Рисунок 2.12 – Меню настройки давления на входе (*pressure_inlet*)

Значения избыточного давления на входе в строках *Gauge Total Pressure* и *Supersonic/Initial Gauge Pressure* оставьте неизменными (равными нулю) (рисунок 2.12). Это связано с тем, что рабочее давление (Опция *Operating Conditions*) оставлено без изменения. По умолчанию в этом поле оно равно нормальному атмосферному давлению 101325Па. Так как абсолютное давление на входе равно атмосферному, то избыточное давление в данной области равно 0.

- 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* введите значение 0,03м. Гидравлический диаметр рассчитывается по формуле:

$d_3 = 4F/P$, где $F = \pi(D_{\text{кан}}^2 - D_{\text{кл}}^2)/4$ – площадь кольцевого сечения канала, $P = \pi(D_{\text{кан}} - D_{\text{кл}})$ – периметр кольцевого сечения канала, $D_{\text{кан}}$ – диаметр впускного канала, $D_{\text{кл}}$ – диаметр стержня впускного клапана.

- Затем выбирается вкладка *Thermal*.
- В строке *Total Temperature* вводится значение 318 K .
- Нажмите *OK* и закройте окно параметров входного давления *Pressure Inlet*.

2. Для задания граничного условия на выходной границе в меню *Boundary Condition* нужно выбрать имя данной границы (*pressure_outlet.1*) и нажать кнопку *Set*. Это вызовет появление меню *Pressure Outlet* (рисунок 2.13).

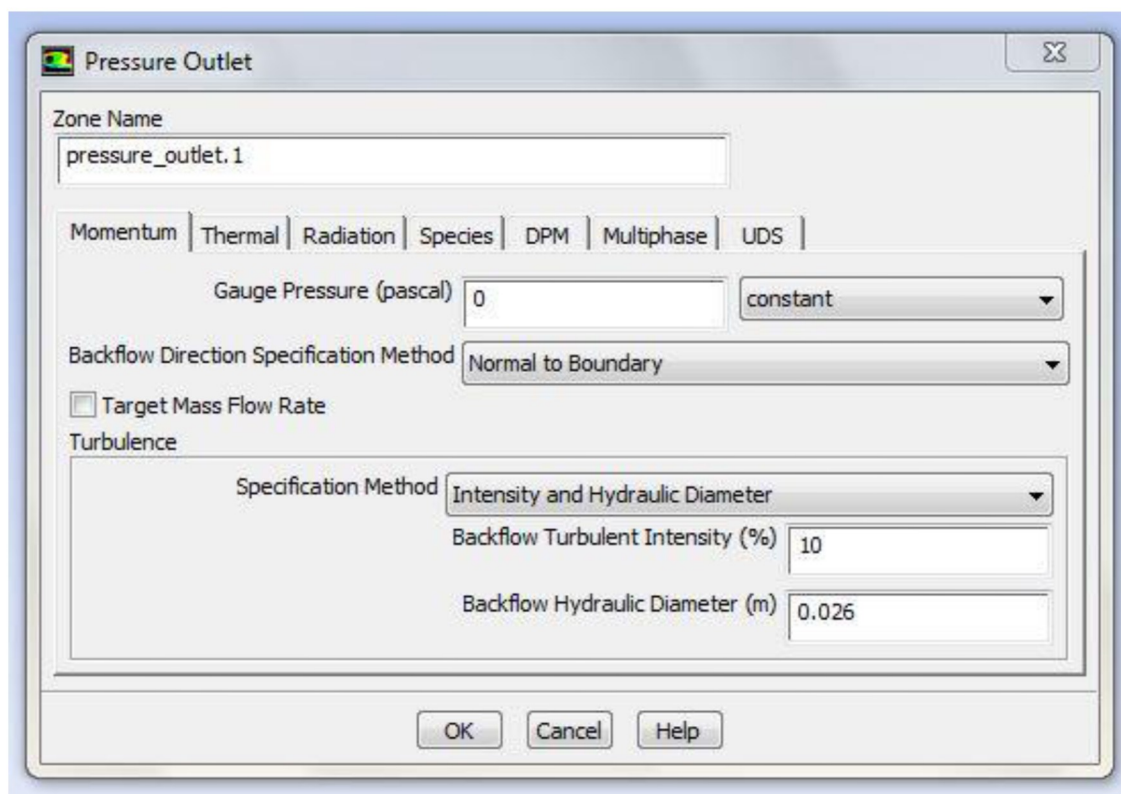


Рисунок 2.13 – Меню настройки давления на входе *pressure_outlet*

- Затем выбирается опция *Intensity and Hydraulic Diameter* в выпадающем списке *Specification Method*.
- В строке интенсивности турбулентности *Back flow turbulence Intensity* выбирается значение 10% .

- в) В строке гидравлического диаметра *Back flow Hydraulic Diameter* указывается значение $0,026\text{м}$. Гидравлический диаметр рассчитывается аналогично подобному расчету для впускного клапана (давление на входе).
- г) Затем следует выбрать вкладку *Thermal*.
- д) Затем в строке *Back flow Total Temperature* вводится значение температуры 318K .
- е) Для подтверждения всех введенных параметров необходимо нажать кнопку *OK* и закрыть окно параметров выходного давления *Pressure Outlet*.
3. На следующем этапе настройки граничных условий необходимо ввести граничные условия для стенки (*in_dno*) (рисунок 2.14).

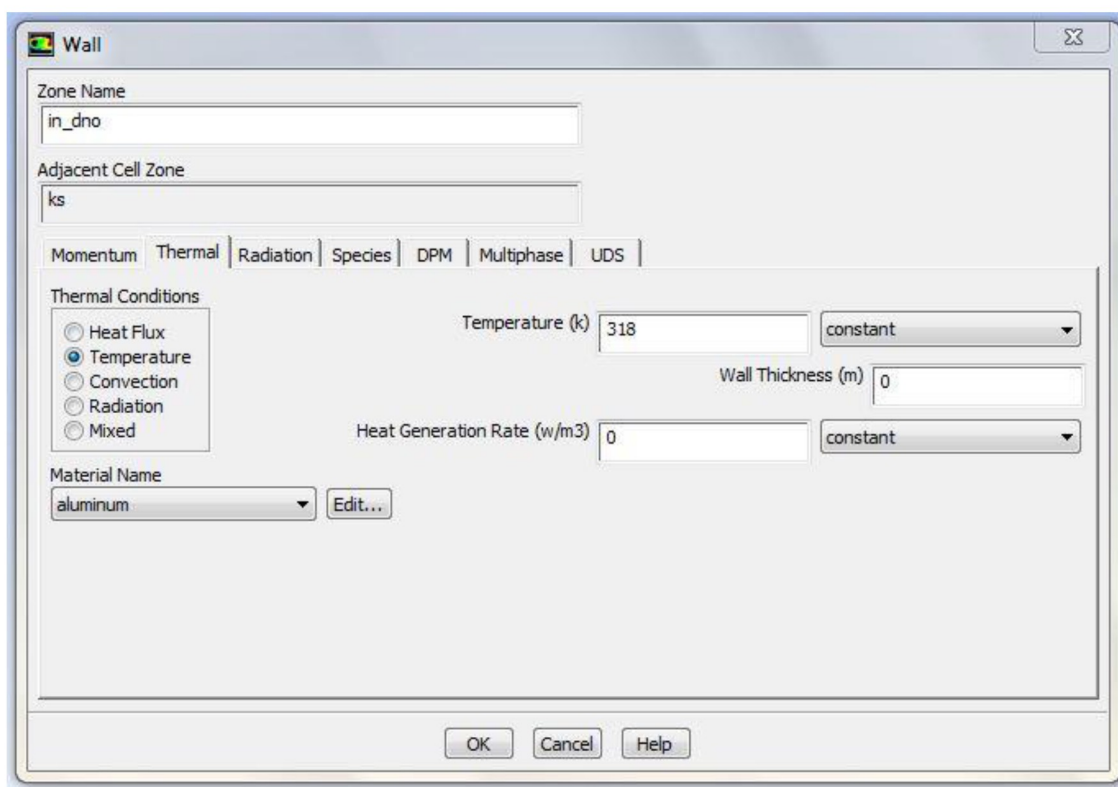


Рисунок 2.14 – Меню настройки граничного условия – стенка (*wall*)

- а) Вначале необходимо выбрать вкладку *Thermal* для настройки температуры данной стенки.
- б) Затем выбирается опцию *Temperature* в разделе условий *Thermal Conditions*.
- в) В строке температуры необходимо указывается *Temperature* значение 318K .

г) Для подтверждения всех введенных параметров необходимо нажать *OK* и закрыть окно *Wall*.

4. Для упрощения настройки параметров всех граничных условий типа стена производится копирование граничных условий стенки *in_dno* для всех оставшихся стенок (рисунок 2.15). Для этого следует выполнить следующую последовательность действий:

а) Сначала необходимо нажать кнопку команды копирования *Copy...* на окне граничных условий *Boundary Conditions*.

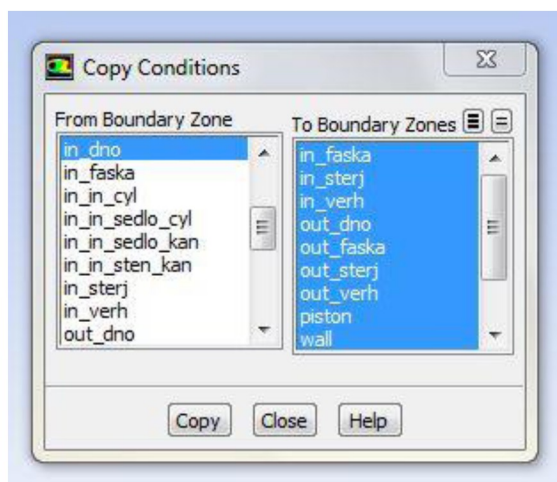


Рисунок 2.15 – Меню копирования граничных условий (*Copy Conditions*)

б) Сначала необходимо выбрать в списке *From Boundary Zone* стенку *in_dno*.

в) Затем в списке *To Boundary Zones* выбираются все остальные стены.

г) После этого необходимо выполнить команду копирования, нажав для этого кнопку *Copy*. Откроется окно предупреждения, нажмите кнопку *OK* для сохранения изменений.

д) Закройте окно копирования граничных условий *Copy Conditions*.

2.5. Настройка зон пересечения сетки

Данная настройка необходима для получения движущейся сетки и на этом этапе следует настроить проницаемость границ между расчетными зонами (рисунок 2.16).

Define → Mesh Interfaces → Create/Edit...

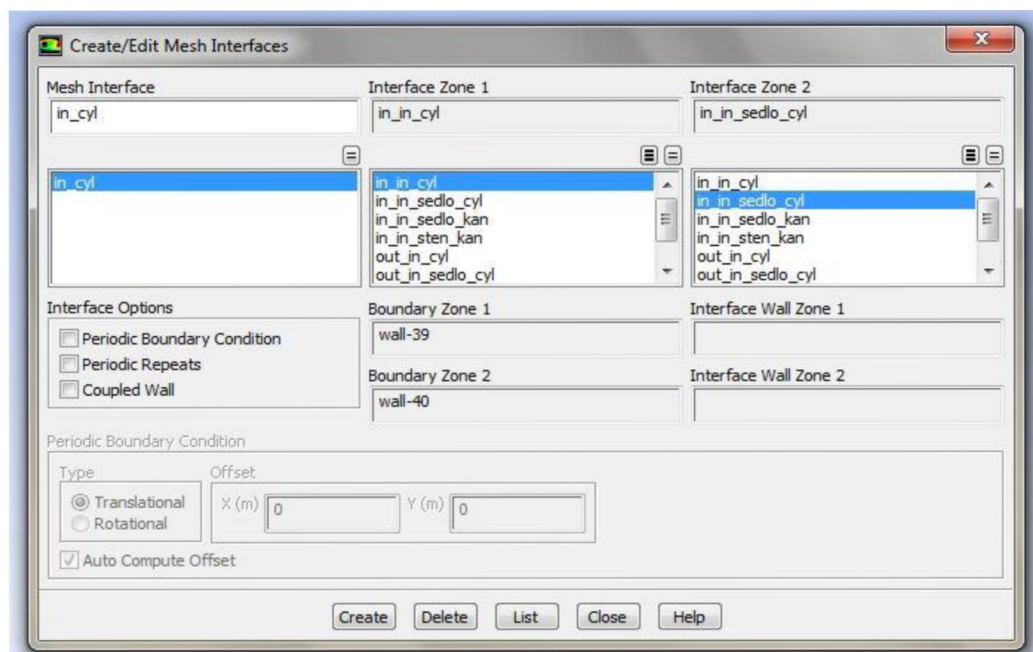


Рисунок 2.16 – Меню задания проницаемости между зонами (*Create/Edit Mesh Interfaces*)

Для этого в данном меню следует выполнить следующую последовательность действий:

1. В списке *Interface Zone 1* выбирается строка *in_in_cyl*.
2. В списке *Interface Zone 2* выбирается строка *in_in_sedlo_cyl*.
3. В строке *Mesh Interface* вводится *in_cyl*.
4. Затем следует нажать клавишу *Create*.
5. Аналогичным образом задается проницаемость между зонами, указанными в таблице:

<i>Interface Zone 1</i>	<i>Interface Zone 2</i>	<i>Mesh Interface</i>
<i>in_in_sedlo_kan</i>	<i>in_in_sten_kan</i>	<i>in_kan</i>
<i>out_in_cyl</i>	<i>out_in_sedlo_cyl</i>	<i>out_cyl</i>
<i>out_in_sedlo_kan</i>	<i>out_in_sten_kan</i>	<i>out_kan</i>

6. Закройте окно *Create/Edit Mesh Interfaces*.

2.6. Настройка параметров движения сетки

1. Задание динамической модели движения сетки и её основных параметров (Рисунки 2.17-2.18) осуществляется следующим образом:

Define → *Dynamic Mesh...*

При этом выполняется следующая последовательность действий:

- а) Устанавливается галочка перед *Dynamic Mesh*.
- б) Выбираются все возможные типы перестройки параметров сетки во время ее движения. Для этого устанавливаются галочки перед *Smoothing*, *Layering* и *Remeshing*.
- в) Активируется опция *In-Cylinder*.

Задание опции *In-Cylinder* позволяет использовать учет дополнительных условий, таких как движение поршня и клапанов.

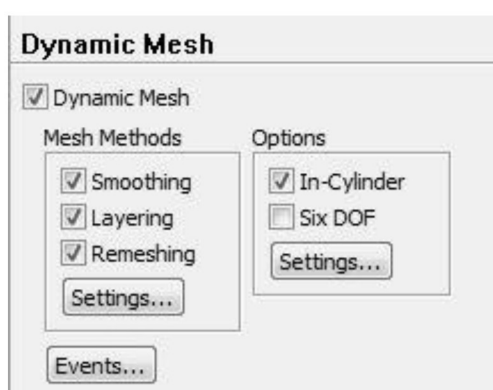


Рисунок 2.17 – Меню динамической сетки (*Dynamic Mesh*)

- г) После этого следует нажать опцию *Settings...* в разделе *Mesh Methods*.
- д) В данной опции указываются следующие параметры для схемы движения сетки *Smoothing*:

<i>Spring Constant Factor</i>	0.9
<i>Boundary Node Relaxation</i>	0.2

Оставьте неизменными значения в строках *Convergence Tolerance* и *Number of Iterations* соответственно равными 0.001 и 20.

- е) После этого выполняются настройки параметров для схемы движения расчетной сетки *Layering* в следующей последовательности действий:
 - Задаются следующие параметры:

<i>Split Factor</i>	0.4
<i>Collapse Factor</i>	0.4

ж) Аналогичным образом происходит настройка параметров для схемы движения сетки *Remeshing*. Для этого выполняются следующие действия:

- Установите галочку в *Remeshing Methods* перед *Region Fase*.
- Задайте следующие параметры:

<i>Minimum Length Scale (m)</i>	<i>0.0008</i>
<i>Maximum Length Scale (m)</i>	<i>0.0012</i>
<i>Maximum Cell Skewness</i>	<i>0.7</i>
<i>Size Remesh Interval</i>	<i>1</i>

Если элемент выходит за границы предельных значений *Minimum Length Scale* или *Maximum Length Scale limits*, то элемент назначается на переразбиение. Следовательно, необходимо решить задачу – задание необходимых параметров разбиения. В окне *Mesh Scale Info* показаны значения наименьшего, наибольшего размера разбиения и значение максимальной скошенности начального разбиения. Для задач *2D* моделирования рекомендуются значения максимальной скошенности *Maximum Cell Skewness* от 0.6 до 0.7. Меньшие значения максимальной скошенности приводят к улучшению качества сетки и увеличению точности результатов вычислений.

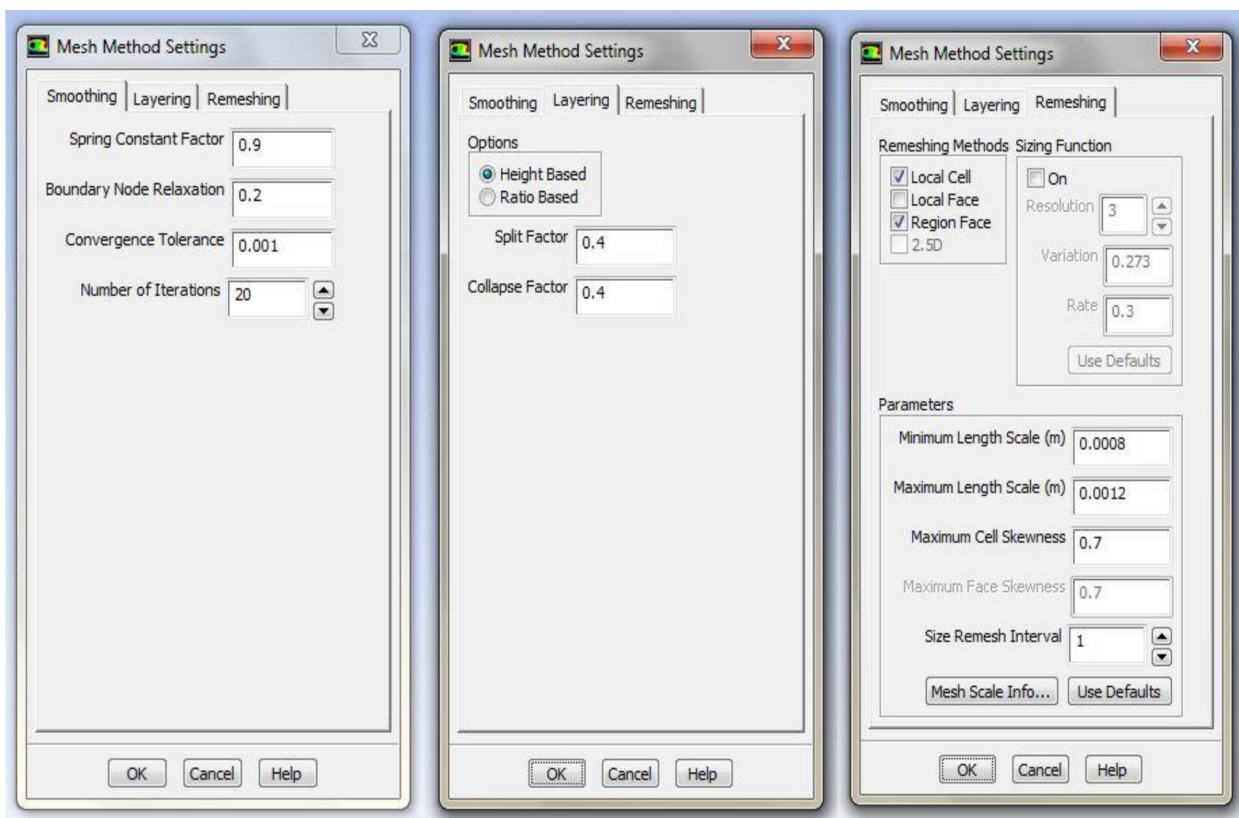


Рисунок 2.18 – Меню параметров настройки типов движения сетки (*Mesh Methods Settings*)

- з) Для подтверждения всех введенных параметров следует нажать кнопку *OK*.
- и) Активизируется опция *Settings...* в разделе *in-Cylinder*. В ней задаются параметры, указанные на рисунке 2.19 (или параметры моделируемого Вами цилиндра). Модель *In-Cylinder* обычно используется при моделировании процессов в ДВС. Это облегчает задачи моделирования движения поршня. Здесь *Crank Shaft Speed* – частота вращения коленчатого вала (об/мин.), *Starting Crank Angle* – начальный угол поворота коленчатого вала, *Crank Period* – время цикла в градусах (для двухтактного двигателя 360°), *Crank Angle Step Size*– угол поворота коленчатого вала за один шаг, *Piston Stroke*– ход поршня в метрах, *Connecting Rod Length* – длина шатуна в метрах.
- к) После установки всех параметров движения поршня в двигателе следует нажать кнопку *OK*.

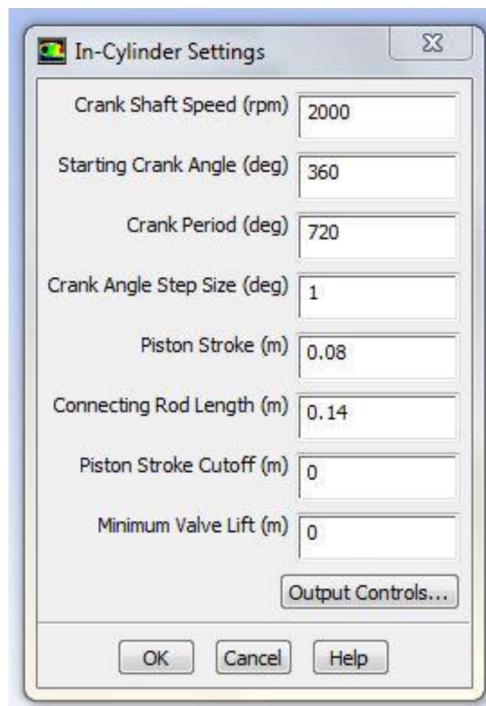


Рисунок 2.19 – Меню параметров настройки движения поршня (*In-Cylinder Settings*)

2. Следующим этапом моделирования является загрузка файла параметров для задания движения клапана (рисунок 2.20):

File → *Read* → *Profile...*

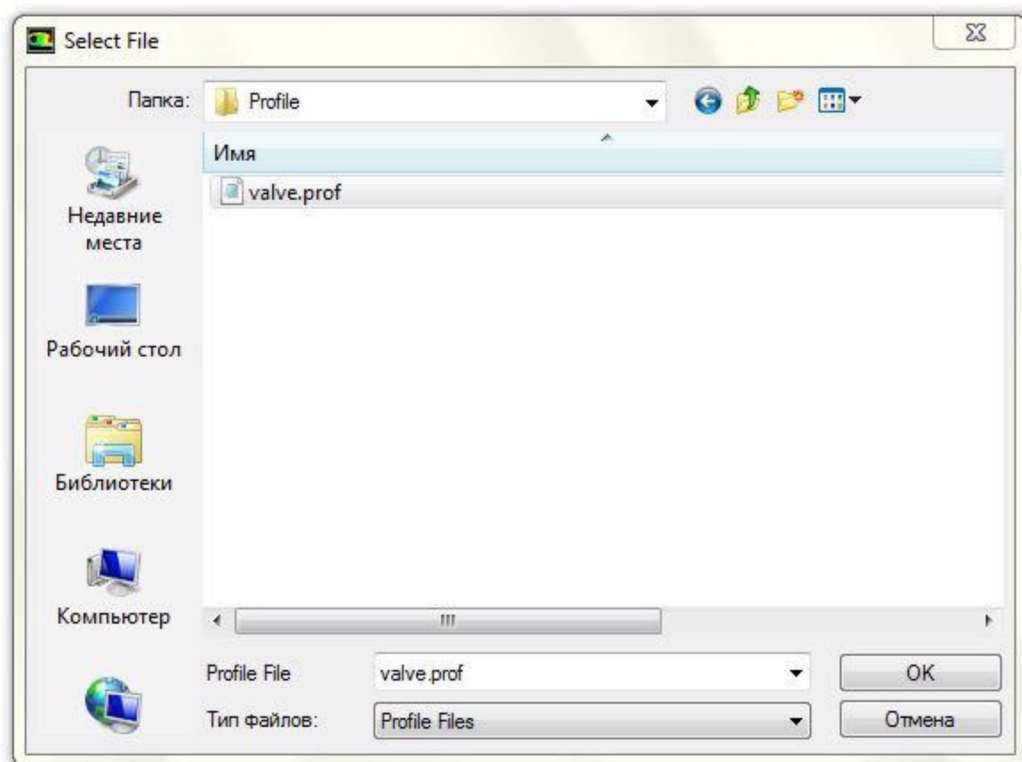


Рисунок 2.20 – Окно выбора файла профилей клапанов

а) Выбирается файл *valve.prof* и нажимается кнопка *OK*.

б) Визуализируется диаграмма движения клапанов, за счет использования следующих текстовых команд (рисунок 2.21):

```
> define/models/dynamic-mesh-controls
/define/models/dynamic-mesh-controls> icp
/define/models/dynamic-mesh-controls/in-cylinder-parameter> ppl
#f
Lift Profile:(1) [()] in-valve
Lift Profile:(2) [()] ex-valve
Lift Profile:(3) [()] <Enter>

Start: [360] <Enter>
End: [1080] <Enter>
Increment: [10] <Enter>
Plot lift? [yes] <Enter>
/define/models/dynamic-mesh-controls/in-cylinder-parameter>
```

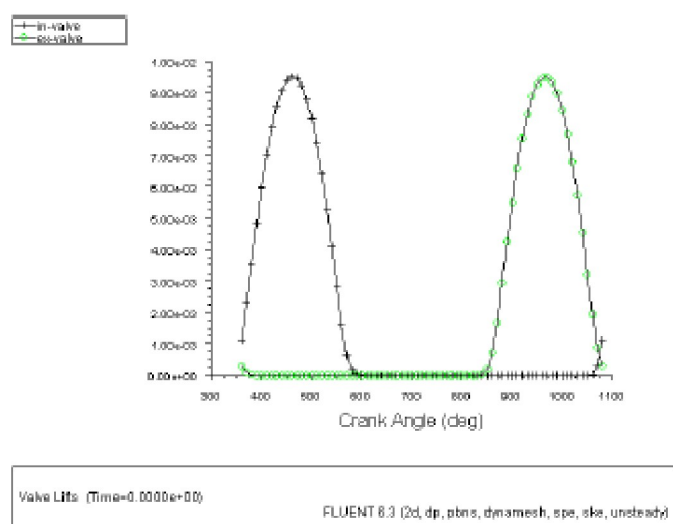


Рисунок 2.21 –График движения клапана

3. После этого вводятся параметры движения поршня, клапанов и других подвижных элементов моделируемого двигателя. Для этого выполняется следующая последовательность действий:

Define → *Dynamic Mesh...*

а) Активизируется опция *Create/Edit...* нажатием соответствующей кнопки под окном *Dynamic Mesh Zones*.

б) Осуществляется задание параметров области *ks* (рисунок 2.22):

- Сначала выбирается область *ks* в выпадающем списке *Zone Names*.
- Выбирается опция *Deforming* в списке *Type*.

- Затем необходимо войти в раздел *Meshing Options*, в котором выполняются следующие манипуляции:

- Выбираются схемы движения расчетной сетки *Smoothing* и *Remeshing* в списке *Methods*.

- Вводятся следующие значения в разделе *Zone Parameters*:

<i>Minimum Length Scale</i>	<i>0,0009 м</i>
<i>Maximum Length Scale</i>	<i>0,0011 м</i>
<i>Maximum Cell Skewness</i>	<i>0,6</i>

- Для подтверждения всех введенных параметров необходимо нажать клавишу *Create*.

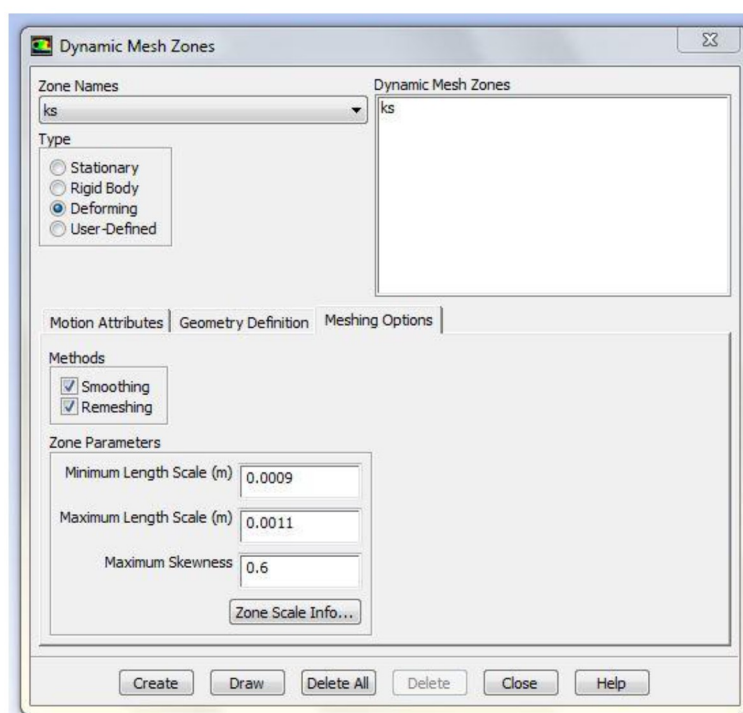


Рисунок 2.22 – Меню задания параметров зоны сетки *ks*

в) Задание параметров области сетки *in_in_cyl* (рисунки 2.23-2.24) выполняется следующим образом:

- Выбирается *in_in_cyl* в выпадающем списке *Zone Names*.
- В списке типов зон сетки *Type* выбирается *Deforming*.
- Затем активизируется раздел *Geometry Definition*, в котором выполняются следующие настройки:

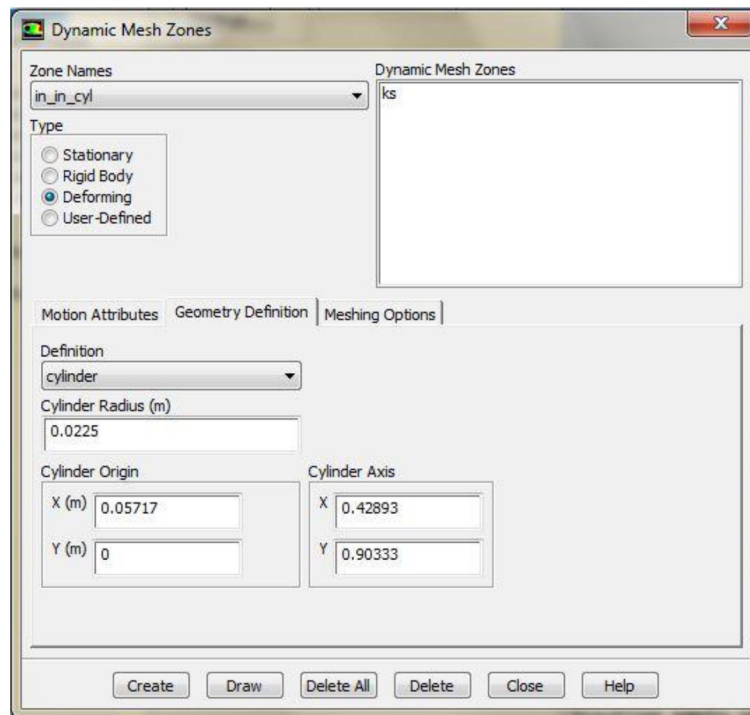


Рисунок 2.23 – Меню задания параметров зоны сетки *in_in_cyl* (*Geometry Definition*)

- Выбирается *cylinder* в выпадающем списке *Definition*.
- Устанавливается значение радиуса тарелки впускного клапана 0,0225м в строке *Cylinder Radius* (оно может быть другим в зависимости от проектируемого ДВС).
- Устанавливаются значения для *Cylinder Origin*:

$X(m)$	0,05717 м
$Y(m)$	0 м

$X(m)$ и $Y(m)$ – координаты любой точки на оси клапана.

- Выбирается значения для *Cylinder Axis*:

X	0,42893
Y	0,90333

$X=\cos\alpha$ и $Y=\sin\alpha$, где α – угол между осью клапана и осью абсцисс.

- После этого выполняются настройки в разделе *Meshing Options* (рисунок 2.24), которые осуществляются следующим образом:
 - Выбираются схемы движения расчетной сетки *Smoothing* и *Remeshing* в списке *Methods*.

- В опции настройки схемы движения расчетной сетки *Smoothing* (*Smoothing Methods*) устанавливается *Spring*.
- В опции настройки схемы движения расчетной сетки *Remeshing* (*Remeshing Methods*) устанавливается *Region*.
- Затем вводятся следующие значения в разделе *Zone Parameters*:

<i>Maximum Cell Skewness</i>	<i>0,0005 м</i>
<i>MaximumLength Scale</i>	<i>0,0009 м</i>
<i>Maximum Cell Skewness</i>	<i>0,6</i>

- Для подтверждения всех введенных параметров следует нажать клавишу *Create*.

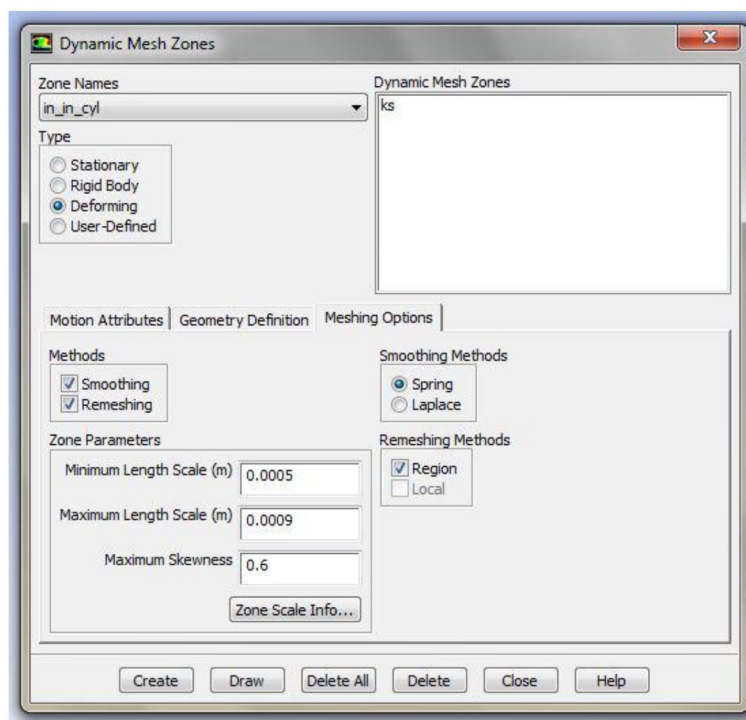


Рисунок 2.24 – Меню задания параметров зоны сетки *in_in_cyl* (*Meshing Options*)

г) Задание параметров области расчетной сетки *out_in_cyl* происходит в следующей последовательности:

- Выбирается *out_in_cyl* в выпадающем списке *Zone Names*.
- В списке типов зон сетки *Type* выбирается соответственно *Deforming*.
- Затем следует зайти в раздел *Geometry Definition*, в котором выполняются следующие манипуляции:

- Выбирается *cylinder* в выпадающем списке *Definition*.
- Устанавливается значение радиуса тарелки выпускного клапана 0,0195м в строке *Cylinder Radius*.
- Вводятся значения для параметров *Cylinder Origin*:

$X(m)$	0,02627м
$Y(m)$	0 м

$X(m)$ и $Y(m)$ – координаты любой точки на оси клапана.

- Вводятся параметры для *Cylinder Axis*:

X	-0,48887
Y	0,87235

$X=\cos\alpha$ и $Y=\sin\alpha$, где α – угол между осью клапана и осью абсцисс.

- На следующем этапе следует провести настройку параметров в разделе *Meshing Options*.

- Аналогично предыдущим подобным настройкам выбираются схемы движения расчетной сетки *Smoothing* и *Remeshing* в списке *Methods*
- Активизируется настройка *Spring* в разделе *Smoothing Methods*.
- Активизируется настройка *Region* в разделе *Remeshing Methods*.
- Затем вводятся следующие значения в разделе *Zone Parameters*:

<i>Maximum Cell Skewness</i>	0,0005 м
<i>MaximumLength Scale</i>	0,0009 м
<i>Maximum Cell Skewness</i>	0,6

- После выполнения данных действий необходимо нажать клавишу *Create*.

4. Задание параметров зон расчетной сетки в области твердых тел *Rigid Body*.

- а) Прежде всего, задается движение в области поршня, которое выполняется следующим образом (рисунок 2.25):

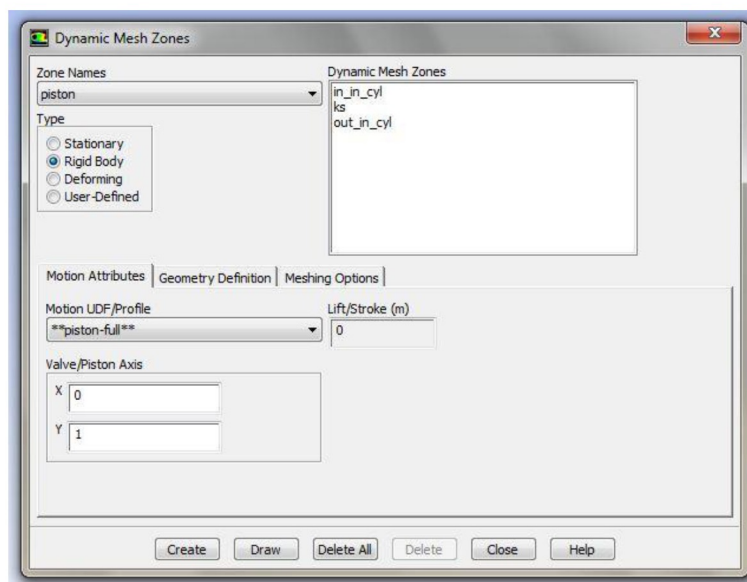


Рисунок 2.25 – Меню задания параметров зоны сетки *piston*

- Выбирается *piston* в выпадающем списке *Zone Names*.
- В списке типов зон сетки *Type* выбирается соответственно *Rigid Body*.
- Затем следует выполнить настройки в разделе опции движения данной области сетки *Motion Attributes*:

- Выбирается ***piston-full*** в выпадающем списке *Motion UDF/Profile*.
- Вводятся следующие значения в разделе *Valve/Piston Axis*:

X	0
Y	1

$X = \cos \alpha$ и $Y = \sin \alpha$, где α – угол между осью цилиндра и осью абсцисс, в нашем случае ось цилиндра перпендикулярна оси абсцисс, следовательно, $X = 0$, $Y = 1$.

- В опции *Meshing Options* необходимо ввести значение 0,001 м в разделе *Cell Height*.
- Для подтверждения всех введенных параметров следует нажать клавишу *Create*.

б) Аналогичным образом создаются остальные *Rigid Body* области:

Zone Names	Type	Motion Attributes			Meshing op- tions (m)
		Motion UDF/Profile	Valve/Piston Axis		
			X	Y	
<i>in_dno</i>	<i>Rigid Body</i>	<i>in-valve</i>	<i>0,42893</i>	<i>0,90333</i>	<i>0,001</i>
<i>in_faska</i>	<i>Rigid Body</i>	<i>in-valve</i>	<i>0,42893</i>	<i>0,90333</i>	<i>0,001</i>
<i>vpysk</i>	<i>Rigid Body</i>	<i>in-valve</i>	<i>0,42893</i>	<i>0,90333</i>	-
<i>out_dno</i>	<i>Rigid Body</i>	<i>ex-valve</i>	<i>-0,48887</i>	<i>0,87235</i>	<i>0,001</i>
<i>out_faska</i>	<i>Rigid Body</i>	<i>ex-valve</i>	<i>-0,48887</i>	<i>0,87235</i>	<i>0,001</i>
<i>vipysk</i>	<i>Rigid Body</i>	<i>ex-valve</i>	<i>-0,48887</i>	<i>0,87235</i>	-

$X=\cos\alpha$ и $Y=\sin\alpha$, где α – угол между осью клапана и осью абсцисс.

5. Для настройки параметров в неподвижных областях сетки следует выполнить следующие действия:

а) Настройка параметров сетки в области *pressure_inlet*:

- Выбирается *pressure_inlet* в выпадающем списке *Zone Names*.
- В списке типов зон сетки (*Type*) выбирается *Stationary* в списке *Type*.
- После этого производится настройка параметров в разделе *Meshing Options*.

- Вводятся значения 0,001м в строке *Cell Height*.

- Подтверждается ввод параметров нажатием клавиши *Create*.

б) Настройка параметров в области *pressure_outlet*

- Выбирается *pressure_outlet* в выпадающем списке *Zone Names*.
- В списке типов зон сетки (*Type*) выбирается *Stationary* в списке *Type*.
- Затем выполняется настройка параметров в разделе *Meshing Options*:
 - В строке *Cell Height* вводится значение 0,001 м.
 - Нажимается клавиша *Create*.

6. После всех выполненных операций необходимо закрыть окно *Dynamic Mesh Zones* (рисунок 2.26).

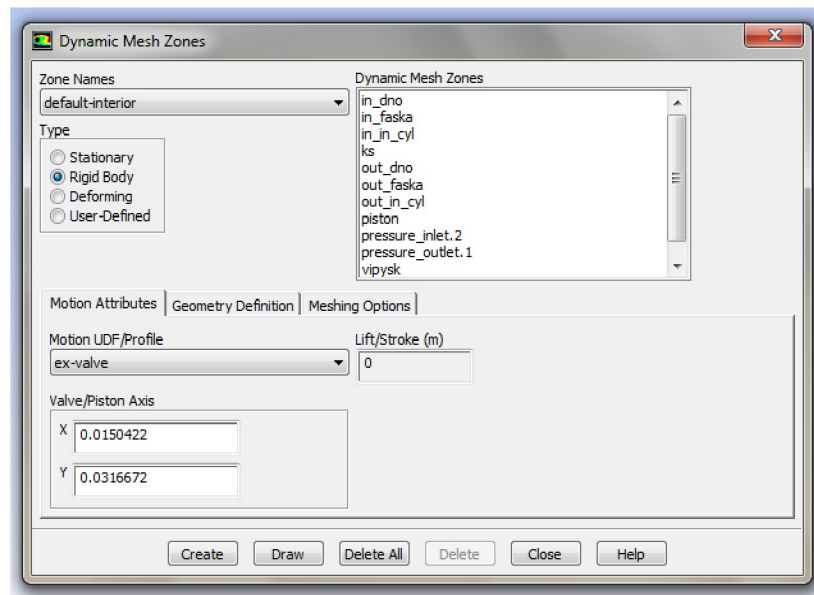


Рисунок 2.26 – Меню задания подвижных зон

7. Выполненные прежде настройки позволяют установить время, в которое будут происходить то или иное динамическое событие, имеющее место в цилиндре ДВС, такое как открытие и закрытие клапана. Это осуществляется следующим образом (рисунок 2.27):

Define → Dynamic Mesh → Events...

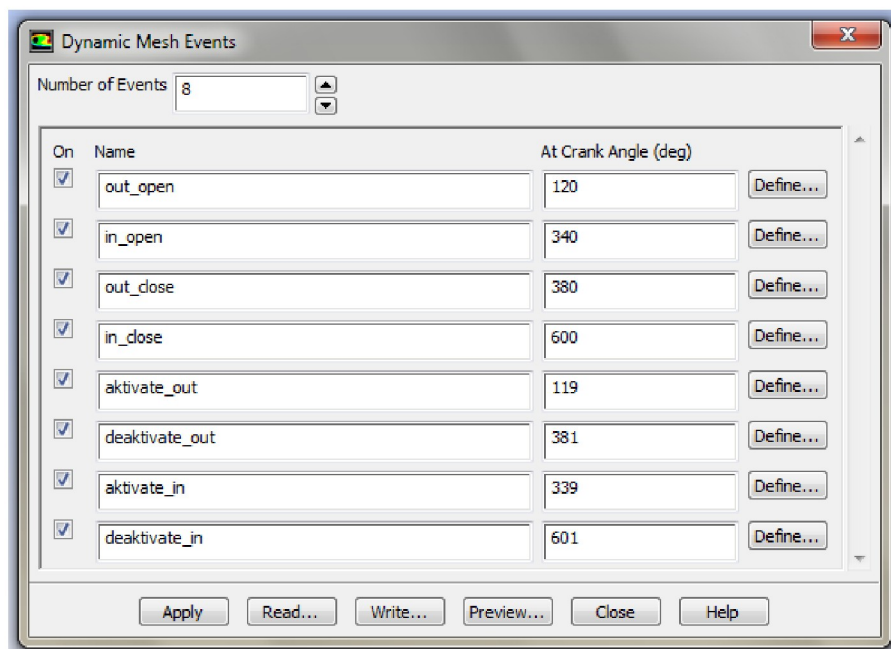


Рисунок 2.27 – Меню задания динамических событий (*Events*)

- а) Вводится количество событий *Number of Events*, имеющих место за четыре такта работы моделируемого ДВС. В данном случае оно равно 8.
- б) В первой строке списка названий событий (*Name*) вводится – *out_open*.
- в) Затем следует отметить галочкой поле *ON* напротив события *out_open*.
- г) В разделе *At Crank Angle* вводится для *out_open* значение равное 120 (градус поворота коленчатого вала ДВС).
- д) После этого следует нажать клавишу *Define* для открытия окна *Define Event* (рисунок 2.28).

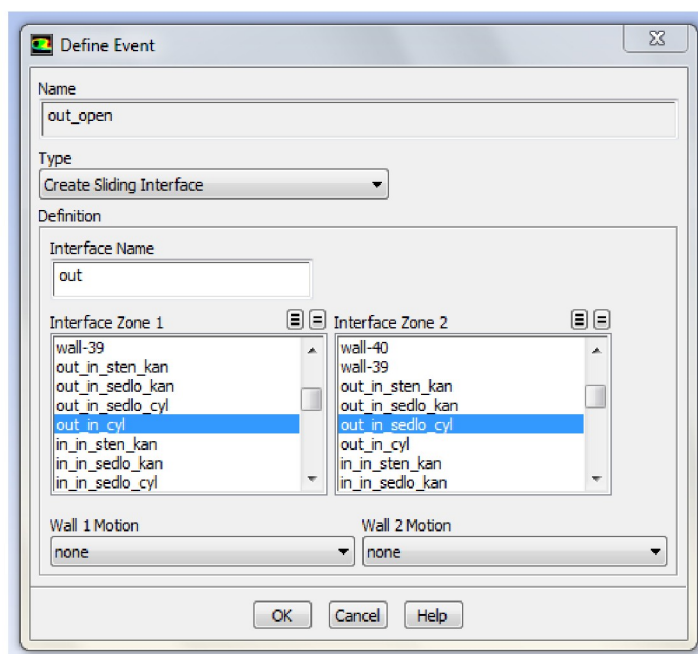


Рисунок 2.28 – Меню определения событий (*Define Event*)

В данном окне производятся следующая последовательность действий:

- Выбирается следующая опция *Create Sliding Interface* в выплывающем списке *Type*.
- Вводится *out* в строке указания имени пересечений зон сеток *Interface Name* в разделе *Definition*.
- Выбирается *out_in_cyl* в *Interface Zone 1*.
- Выбирается *out_in_sedlo_cyl* в *Interface Zone 2*.
- Настройки, заданные по умолчанию в строках *Wall 1 Motion* и *Wall 2 Motion* остаются неизменными.
- Затем нажимается кнопку *OK*. При этом закрывается окно *Define Event*.

е) Подобным образом задайте следующие характеристики *Dynamic Events*:

Название	Угол поворота КВ	Описание процесса установки
<i>in_open</i>	340°	• Выбирается <i>Create Sliding Interface</i> в выплывающем списке <i>Type</i>. • Вводится <i>in</i> в строке <i>Interface Name</i> в разделе <i>Definition</i>. • Выбирается <i>in_in_cyl</i> в <i>Interface Zone 1</i>. • Выбирается <i>in_in_sedlo_cyl</i> в <i>Interface Zone 2</i>. • После этого следует нажать кнопку <i>OK</i>.
<i>out_close</i>	380°	• Выбирается <i>Delete Sliding Interface</i> в выплывающем списке <i>Type</i>. • Вводится <i>out</i> в строке <i>Interface Name</i> в разделе <i>Definition</i>. • После этого следует нажать кнопку <i>OK</i>.
<i>in_close</i>	600°	• Выбирается <i>Delete Sliding Interface</i> в выплывающем списке <i>Type</i>. • Вводится <i>in</i> в строке <i>Interface Name</i> в разделе <i>Definition</i>. • Затем нажать кнопку <i>OK</i>.
<i>activate_out</i>	119°	• Выбирается <i>Activate Cell Zone</i> в выплывающем списке <i>Type</i>. • Вводится <i>vipysk</i> и <i>vipysk_sedlo</i> в строке <i>Interface Name</i> в разделе <i>Definition</i>. • Затем следует нажать кнопку <i>OK</i>.
<i>deactivate_out</i>	381°	• Выбирается <i>Deactivate Cell Zone</i> в выплывающем списке <i>Type</i>. • Вводится <i>vipysk</i> и <i>vipysk_sedlo</i> в строке <i>Interface Name</i> в разделе <i>Definition</i>. • Затем следует нажать кнопку <i>OK</i>.
<i>activate_in</i>	339°	• Выбирается <i>Activate Cell Zone</i> в выплывающем списке <i>Type</i>. • Вводится <i>vpysk</i> и <i>vpysk_sedlo</i> в строке <i>Interface Name</i> в разделе <i>Definition</i>. • Затем следует нажать кнопку <i>OK</i>.
<i>deactivate_in</i>	601°	• Выбирается <i>Deactivate Cell Zone</i> в выплывающем списке <i>Type</i>. • Вводится <i>vpysk</i> и <i>vpysk_sedlo</i> в строке <i>Interface Name</i> в разделе <i>Definition</i>. • Затем следует нажать кнопку <i>OK</i>.

- ж) Для того чтобы сохранить произведенные настройки следует нажать клавишу *Apply*.
- з) После этого следует закрыть окно *Dynamic Mesh Events*.

2.7. Настройка параметров процесса впрыска

Настройка параметров и характеристик процесса впрыска топлива выполняется следующим образом:

Define → *Injections...*

1. В окне *Injections* выбирается команда создать (*Create*). При этом открывается окно свойств процесса впрыска топлива *Set Injection Properties* (рисунок 2.29).

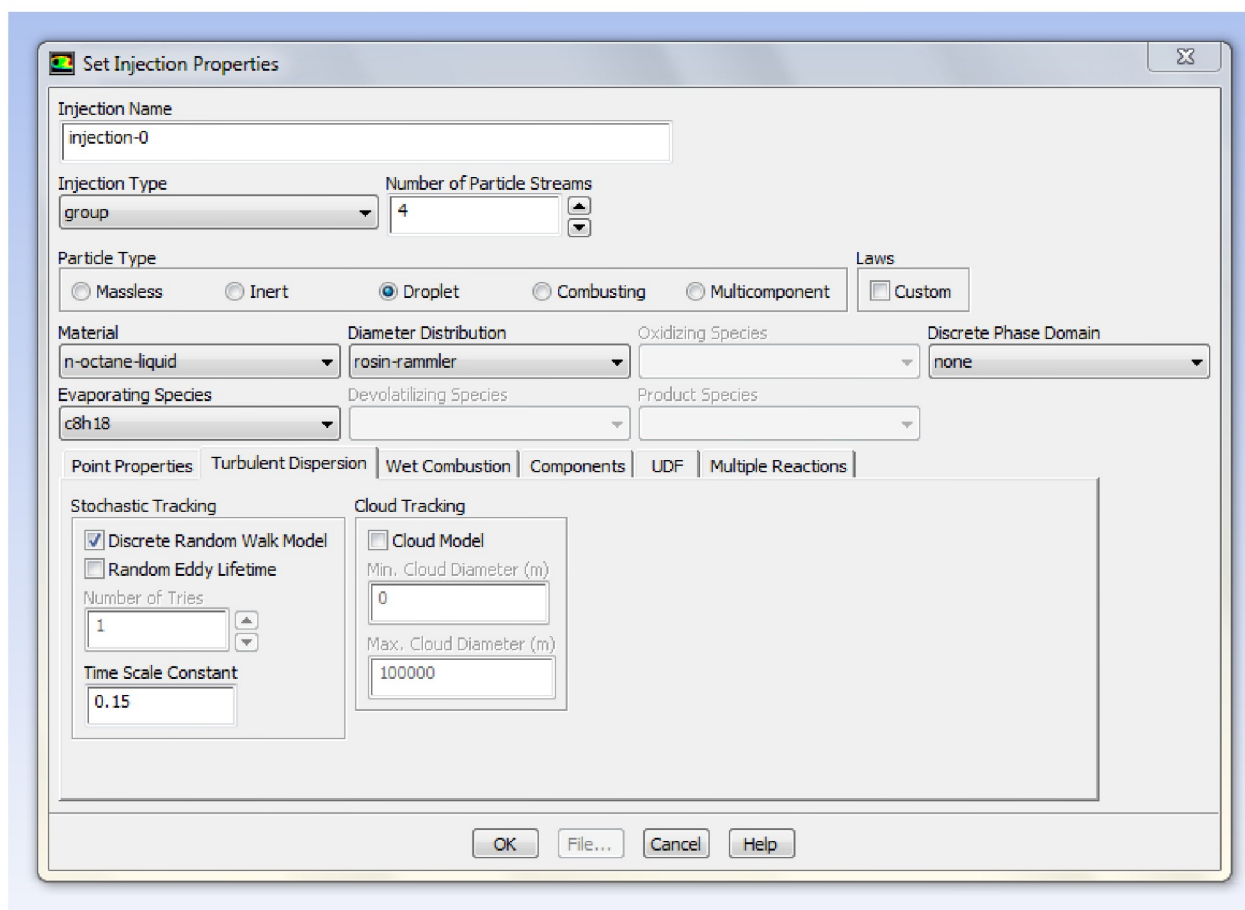


Рисунок 2.29 – Меню свойств впрыска топлива (*Set Injection Properties*)

В нем выполняется следующая последовательность действий:

- а) В строке типа впрыска топлива *Injection Type* выбирается *group*.

- б) В строке *Number of Particle Streams* следует установить значение 4. Данный параметр показывает, какое количество струй вводится в цилиндр двигателя в каждый раз, когда происходит впрыск топлива.
- в) В списке *Particle Type* следует выбрать капельный распыл *Droplet*.
- г) В строке *Material* следует выбрать *n-octane-liquid*.
- д) В строке распределения диаметров капель *Diameter Distribution* следует выбрать *rosin-rammler*.
- е) Для процесса впрыска необходимо открыть вкладку точечные свойства *Point Properties* и для каждого из свойств установить следующие характеристики:

Parameter	Value of First Point	Value of Last Point
X-Position (m)	0.059	0.061
Y-Position (m)	0.048	0.048
X-Velocity (m/s)	0.5	2
Y-Velocity (m/s)	-20	-20
Temperature (k)	310	310
Start Crank Angle (deg)	420	-
Stop Crank Angle (deg)	495	-
Total Flow Rate (kg/s)	0.001958	-
Min. Diameter (m)	2e-5	-
Max. Diameter (m)	5e-5	-
Mean Diameter (m)	4e-5	-
Spread Parameter	4.5	-

В данном случае *X-Position*(м) и *Y-Position*(м) – координаты места впрыска, *X-Velocity*(м/с) и *Y-Velocity*(м/с) – составляющие скорости струи топлива, разложенной по осям координат, *Temperature* (К) – температура топлива, *Start Crank Angle* (deg) и *Stop Crank Angle* (deg) – углы начала и конца процесса впрыска топлива, *Total Flow Rate* (кг/с) – массовый расход

топлива, *Min. Diameter(m)*, *Max. Diameter(m)* и *Mean Diameter(m)* – соответственно максимальный и минимальный диаметры капель, *Spread Parameter* – параметр распределения капель.

з) Затем следует выбрать вкладку турбулентной дисперсии *Turbulent Dispersion*. В нижней половине окна откроется строка модели турбулентной дисперсии. Эти модели будут рассчитываться для турбулентной дисперсии капель.

- Выбирается строка *Discrete Random Walk Model*.
- Оставляется неизменным значение в строке *Time Scale Constant*.
- Для подтверждения всех введенных параметров настройки процесса впрыска следует нажать *OK* и закрыть окно параметров впрыска *Set Injection Parameters*.

и) После этого следует закрыть окно настройки параметров впрыска *Injections*.

2.8. Предварительный просмотр движения сетки

1. Для выполнения дальнейших действий необходимо сохранить файл (*Cylinder.cas*).

File → *Write* → *Case...*

При этом следует убедиться, что сохранены все изменения до вывода сетки на экран.

2. Затем необходимо вывести сетку на экран с помощью следующих действий:

Display → *Mesh...*

- а) Выбираются все поверхности из списка *Surfaces*.
- б) Затем нажимается клавиша *Display*.
- в) После этого следует закрыть окно *Mesh Display*.

3. Для настройки параметров предварительного просмотра сетки (рисунок 2.30) выполняются следующие действия:

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

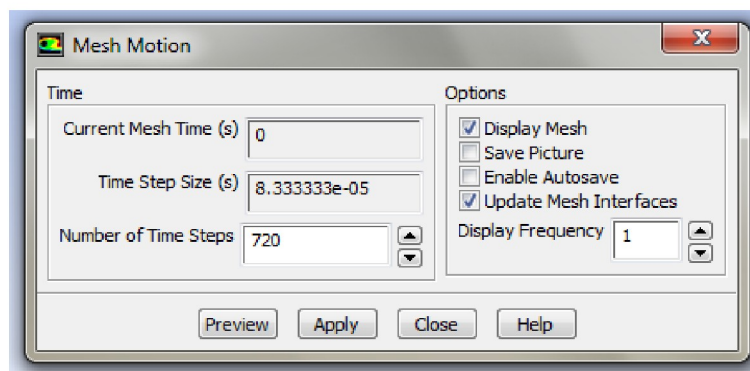


Рисунок 2.30 – Меню предварительного просмотра движения сетки (*Mesh Motion*)

а) В строке *Number of Time Steps* следует ввести число 720. Данное значение обеспечит два полных поворота коленчатого вала.

После этого выполняется предварительный просмотр движения сетки. Для этого нажимается кнопка *Preview*. Во время, когда происходит обновление сетки программой Fluent, в дополнительном окне появляется сообщение, показывающее процесс его выполнения.

в) После этого следует закрыть окно *Mesh Motion*.

2.9. Настройка начальных параметров модели

1. Для выполнения данной настройки процесса моделирования следует открыть файл *Cylinder.cas*

File → Read → Case...

При этом откроется информационное диалоговое окно: «Имеющиеся характеристики материалов и методы должны быть сохранены. Чтобы продолжить убедитесь в правильности имеющихся значений» (Available material properties or methods have changed. Please confirm the property values before continuing).

Необходимо нажать кнопку *OK*, для того чтобы закрыть это окно.

2. Затем следует установить параметры начальных условий для области потока с помощью процесса инициализации процесса решения (рисунок 2.31):

Solve → Initialization...

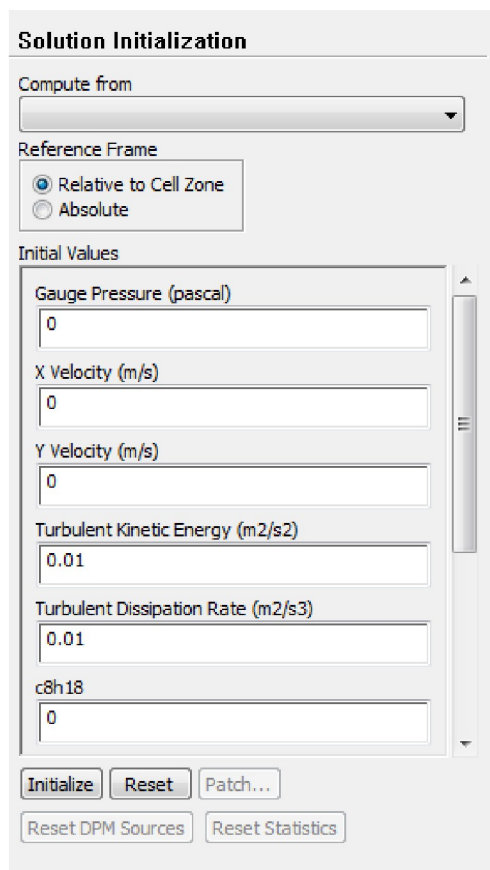


Рисунок 2.31 – Меню инициализации решателя

При этом выполняются следующие действия:

- а) В строке *Gauge Pressure* вводится значение «0».
- б) В строке *X Velocity* вводится значение «0».
- в) В строке *Y Velocity* вводится значение «0».
- г) В строке *Turbulent Kinetic Energy* вводится значение «0,01».
- д) В строке *Turbulent Dissipation Rate* вводится значение «0,01».
- е) В строке *c8h18* вводится значение «0».
- ж) В строке *Temperature* вводится значение «318».
- з) Затем следует нажать клавишу *Initialize*.

2.10. Настройка процесса создания анимации

1. После этого следует произвести настройку процесса создания анимации. Данный процесс осуществляется следующим образом (рисунок 2.32): *Solve* → *Calculation Activities...*

- а) Сначала следует нажать кнопку *Create/Edit...* в окне *Solution Animations*.
- б) В данном окне в опцию *Animation Sequences* следует ввести количество анимации, которое будет создано в процессе решения. В данном случае оно будет равно числу 5.

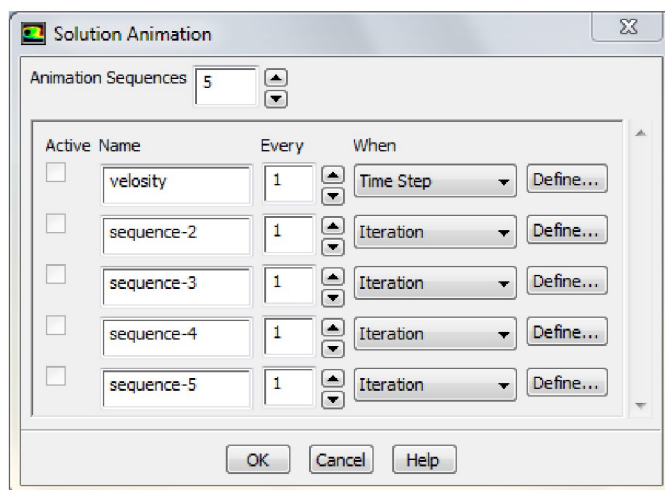


Рисунок 2.32 – Меню задания анимации (*Solution Animations*)

- в) В первой строчке вводится имя *Velocity*.
- Во вкладке *When* устанавливается параметр *Time Step*.
 - Затем нажимается кнопка *Define...*
 - В появившемся окне (рисунок 2.33) необходимо ввести 2 в число окон (*Window*) и нажать клавишу *Set*.
 - В опции типа отображений расчетных данных *Display Type* следует выбрать их векторную форму *Vectors*. Затем следует нажать для последующей настройки клавишу *Edit*.

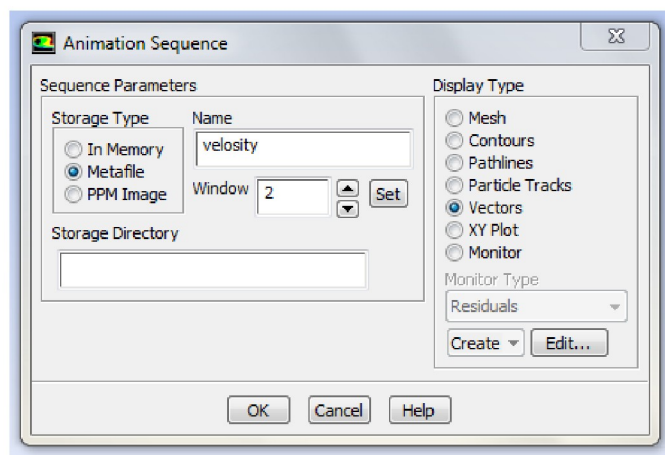


Рисунок 2.33 – Меню параметров анимации (*Animation Sequences*)

- В появившемся окне (рисунок 2.34) необходимо установить 5 в опциях качества отражения векторов *Scale* и в *Skip*.

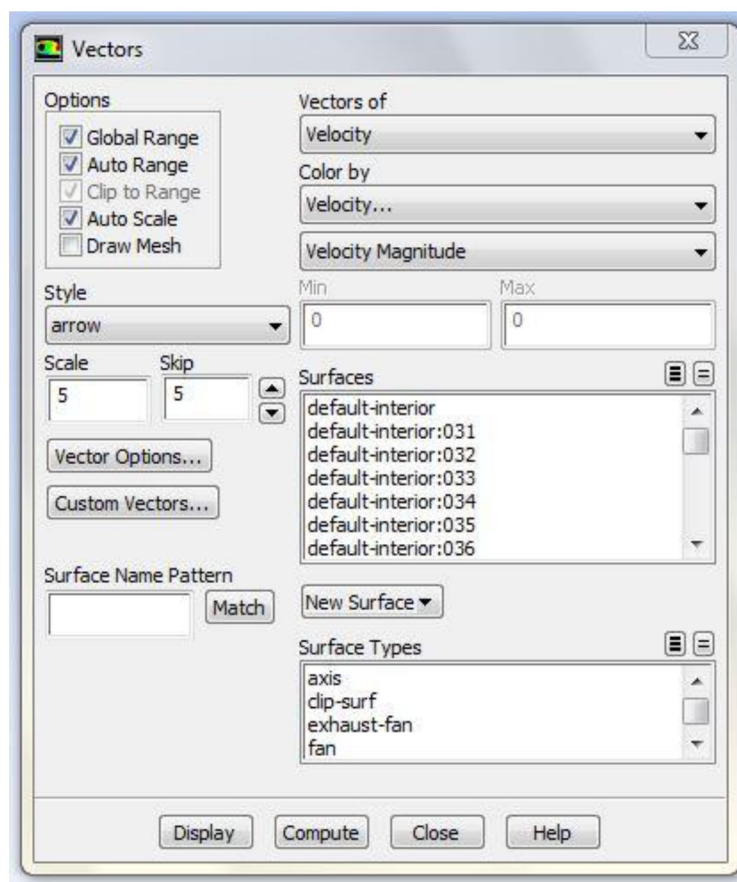


Рисунок 2.34 – Меню настройки векторов скорости(*Vectors*)

- Затем следует нажать кнопку *Display* и закрыть окно настройки, нажав для этого клавишу *Close*.
 - После этого следует нажать клавишу *OK* в окне *Animation Sequence*.
- г) Затем во второй строчке в окне *Solution Animations* вводится имя следующей анимации *Pressure*.
- Во вкладке *When* устанавливается тип записи *Time Step*.
 - После этого следует нажать кнопку *Define...*
 - В появившемся окне ввести число 3 в опцию *Window*. В окно №3 будет происходить запись анимации изменения давления в цилиндре ДВС. После выполнения данного действия следует нажать кнопку *Set*.

- В опции вида отображения расчетных данных *Display Type* следует выбрать *Contours* (рисунок 2.35). После этого следует нажать для последующей настройки клавишу *Edit*.

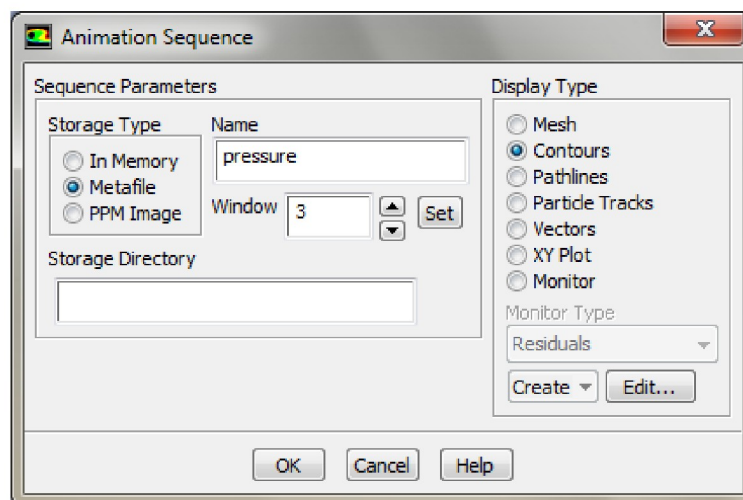


Рисунок 2.35 – Меню параметров анимации

- В появившемся окне (рисунок 2.36) во вкладке *Contours of* следует выбрать *Pressure...* и *Absolute Pressure*.

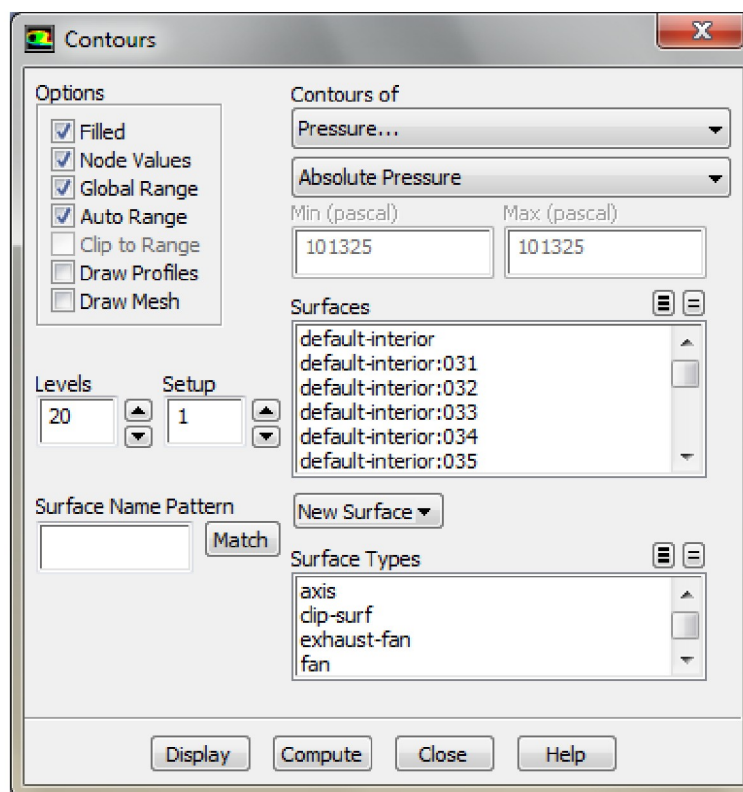


Рисунок 2.36 – Меню настройки полей распределения давления

- Затем следует нажать кнопку *Display* и закрыть данное окно, нажав кнопку *Close*.
 - Для подтверждения всех введенных значений и настроек следует нажать кнопку *OK* в окне *Animation Sequence*.
- д) Затем вводится в окне *Solution Animations* в третьей строчке имя следующей анимации - *Temperature*.
- Во вкладке *When* следует установить *Time Step*.
 - Затем нажимается кнопка *Define...*
 - В появившемся окне ввести число 4 в опцию *Window*. В окно №4 будет происходить запись анимации изменения температуры в цилиндре ДВС. Затем нажимается кнопка *Set..*
 - В опции вида отображения расчетных данных *Display Type* следует выбрать *Contours* . После этого для последующей настройки следует нажать клавишу *Edit*.
 - В появившемся окне во вкладке *Contours of* выбирается соответственно *Temperature...* и *Total Temperature*.
 - После этого следует нажать *Display* и закрыть окно, нажав кнопку *Close*.
 - Для подтверждения всех введенных значений и настроек нажимается кнопка *OK* в окне *Animation Sequence*.
- е) В четвертой строчке в окне *Solution Animations* вводится имя *c8h18*.
- Во вкладке *When* устанавливается *Time Step*.
 - Затем нажимается кнопка *Define...*
 - В появившемся окне вводится число 5 в опцию *Window* и нажимается кнопка настройки *Set*.
 - В опции *Display Type* выбирается *Contours*.
 - В появившемся окне во вкладке *Contours of* выбирается соответственно *Species...* и *Mass fraction of c8h18*.

- Затем следует нажать кнопку *Display* и закрыть окно с помощью нажатия кнопки *Close*.
 - После этого нажимается кнопка *OK* в окне *Animation Sequence*.
- ж) В окне *Solution Animations* (рисунок 2.37) в пятой строчке вводится имя *mesh*.
- Во вкладке *When* устанавливается *Time Step*.

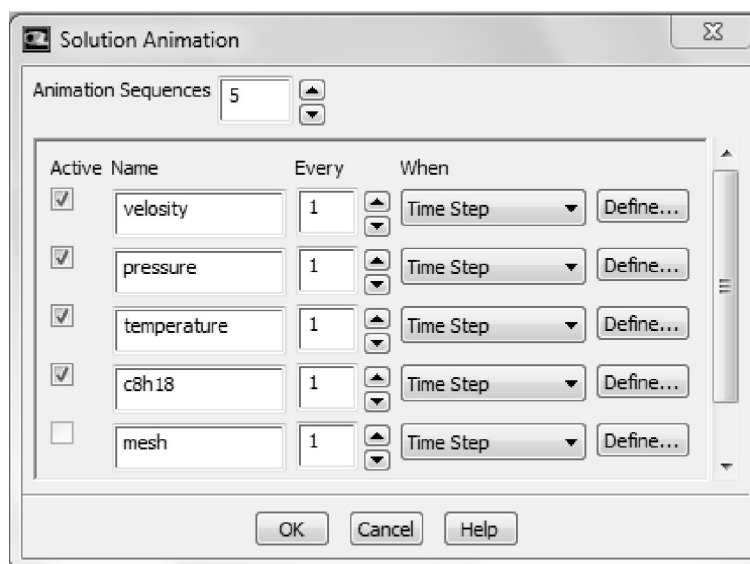


Рисунок 2.37 – Меню задания анимации

- После этого нажимается кнопка *Define...*
- В появившемся окне (рисунок 2.38) вводится число *6* в опцию *Window* и нажимается кнопка настройки *Set*.
- В открывшемся окне в опции *Display Type* выбирается *Mesh*.

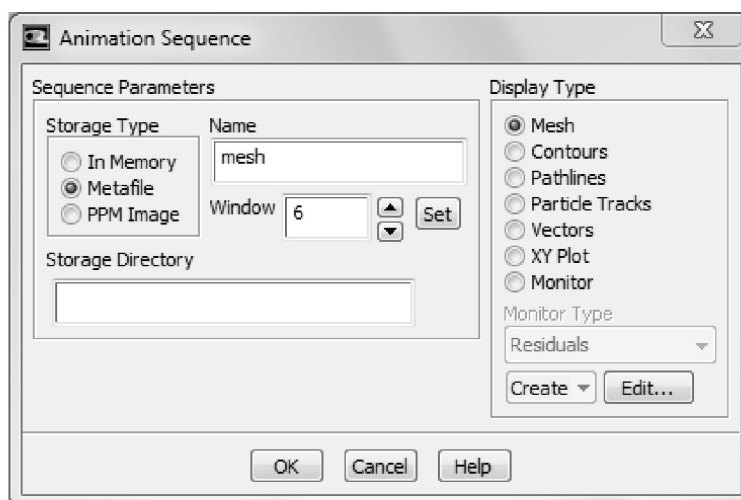


Рисунок 2.38 – Меню параметров записи анимации движущейся сетки

- В появившемся окне во вкладке *Mesh Display* выделяются все поверхности *surfaces* (рисунок 2.39).

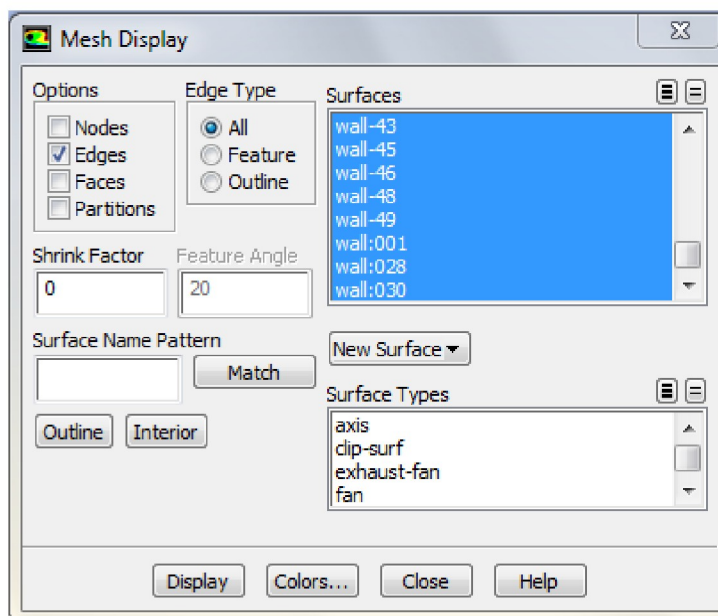


Рисунок 2.39 – Меню настройки отображения сетки

- После этого следует нажать кнопку *Display* и закрыть окно, нажав кнопку *Close*.

- Затем для подтверждения всех введенных параметров необходимо нажать кнопку *OK* в окне *Animation Sequence*.

3) Для завершения настроек процесса записи анимации необходимо закрыть окно *Solution Animation*, нажав клавишу *OK*. Аналогично можно настроить запись анимации полей распределений и векторов других параметров.

2. Для того чтобы вывести на экран результаты вычислений, следует выполнить следующие действия:

Solve → *Monitors* → *Residual...*

При этом в данном окне последовательно выполняются следующие настройки (рисунок 2.40):

- а) В поле *Option* необходимо поставить галочки напротив слов *Plot* и *Print*. Это приведет к тому, что невязки по всем уравнениям будут печататься

в окне сообщения (*Print*) и отображаться в виде графиков в графическом окне (*Plot*).

б) Вводится значение 500 в строке *Iterations to Plot*.

в) После этого нажимается клавиша *OK* и закрывается окно *Residual Monitors*.

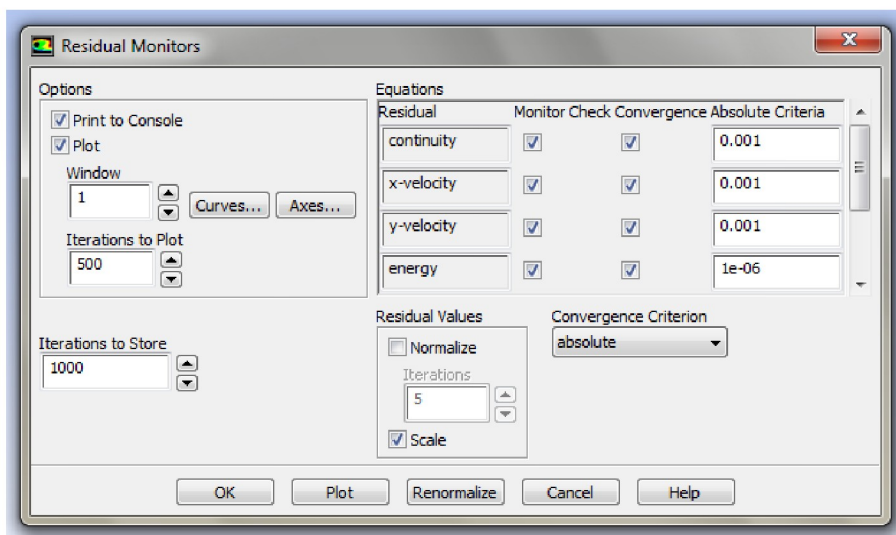


Рисунок 2.40 – Меню настройки результатов вычисления (*Residual Monitors*)

3. Для получения более подробной картины процессов, происходящих в цилиндре ДВС, рекомендуется установить автосохранение файлов при повороте коленчатого вала на каждые 180 градусов (рисунок 2.41). Настройка процесса автосохранения осуществляется следующим образом:
File → *Write* → *Autosave...*

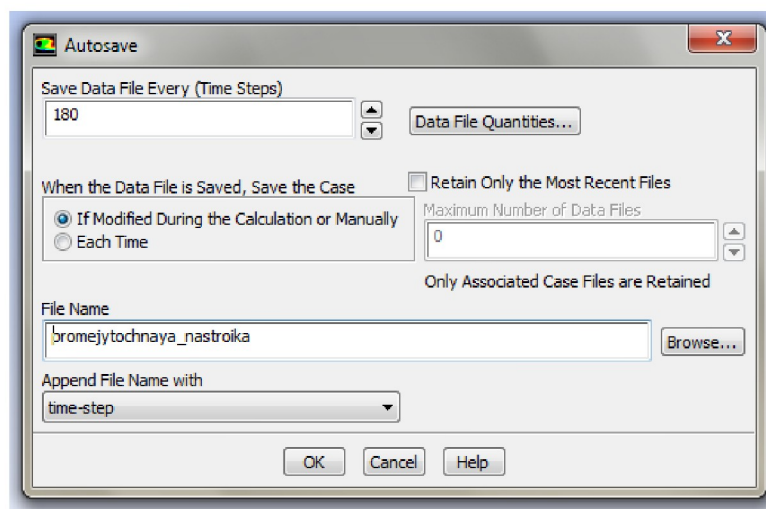


Рисунок 2.41 – Меню настройки автосохранения (*Autosave*)

а) Вводится число *180* в строку периода сохранения файлов *Save Data File Every*.

б) После этого нажимается клавиша *OK*.

При сохранении файлов программой *Fluent* к названию файла (*Cylinder*) добавляется временной интервал сохранения. Также присоединяется стандартное расширение файлов (*.cas* and *.dat*).

4. Сохранение файла базы данных и текущего файла (*Cylinder.cas*) осуществляется за счет вызова следующей команды:

File → Write → Case&Data...

После ее вызова следует нажать кнопку *ОК* для перезаписи первичного файла.

2.11. Запуск решения задачи

1. Для запуска решения задачи следует выбрать следующую команду:

Solve → Run Calculation...

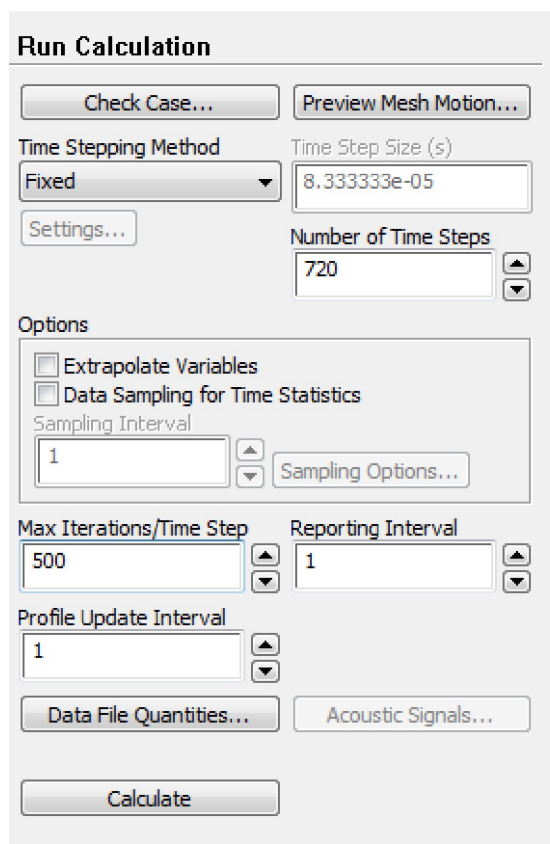


Рисунок 2.42 – Меню задания процесса решения(*Run Calculation*)

В меню *Run Calculation* рисунок 2.42 выполняются следующие действия:

- а) В строке *Number of Time Steps* выбирается количество шагов расчета, равное 720.
- б) В строку *Max Iterations per Time Step* вводится максимальное количество итераций на один шаг расчета. В данном случае рекомендуется ввести число 500 для данного параметра.
- в) После этого нажатием клавиши *Calculate* запускается расчета процессов внутри камеры сгорания ДВС.

2.12. Сохранение анимации

Данная процедура выполняется в следующей последовательности:

Display → *Graphics and Animations...*

- а) В окне *Animations* выбирается опция *Solution Animation Playback* и нажимается *Set Up...*
- б) В появившемся окне (рисунок 2.43) выбирается какой-либо термодинамический параметр, который предварительно описан в пункте 2.9, например *Velocity*.
- в) В опции *Write/Record Format* выбирается тип файла *MPEG*.

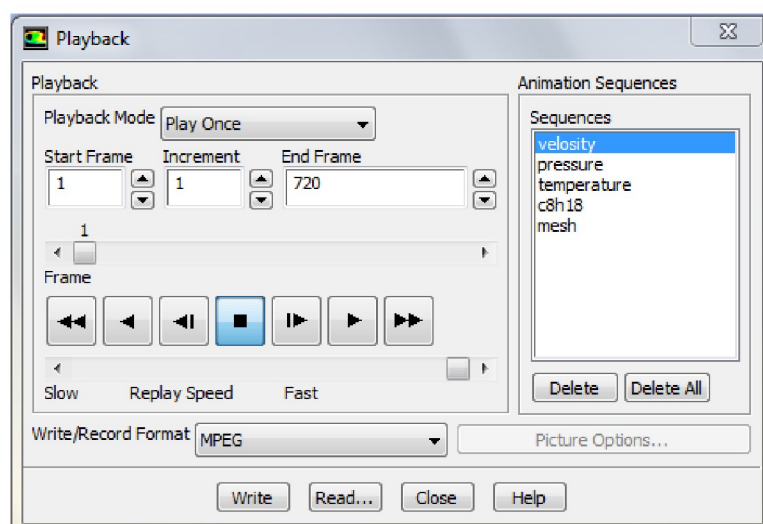
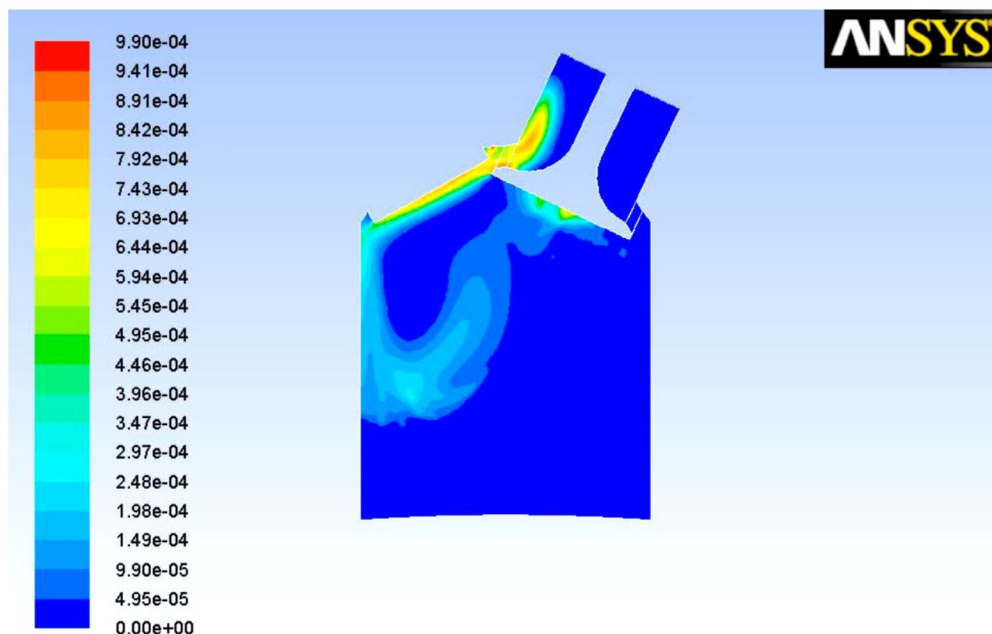


Рисунок 2.43 – Меню работы с анимацией

- г) Для того чтобы запустить процесс сохранения следует нажать кнопку *Write*.
- д) Затем следует закрыть данное окно, нажав кнопку *Close*.

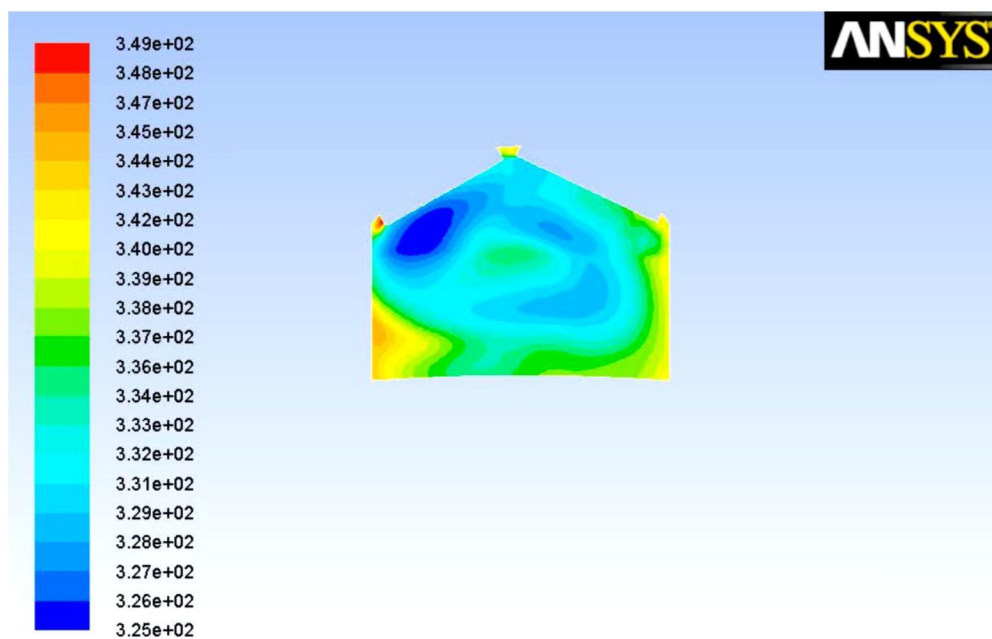
2.13. Просмотр результатов расчета

Для просмотра результатов расчет необходимо возвести видеопроигрывателем сохраненные анимации соответствующих термодинамических параметров (рисунки 2.44 - 2.47)



Contours of Mass fraction of c8h18 (Time=1.3333e-02) Nov 14, 2010
Crank Angle=520.00(deg) ANSYS FLUENT 12.1 (2d, pbns, dynamesh, spe, ske, transient)

Рисунок 2.44 – Поле распределения массовых долей топлива, подаваемого в цилиндр.



Contours of Total Temperature (k) (Time=2.3750e-02) Nov 14, 2010
Crank Angle=645.00(deg) ANSYS FLUENT 12.1 (2d, pbns, dynamesh, spe, ske, transient)

Рисунок 2.45 – Поле распределения температур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Применение CAD/CAE – технологий для моделирования полей температур в цилиндре двигателя внутреннего сгорания позволяет снизить сроки проектирования ДВС за счет ускорения процесса расчета.
2. Высокая информативность результатов численного моделирования способствует более глубокому анализу рабочего процесса ДВС.
3. Моделирование газодинамической структуры потока при обоснованном выборе модели турбулентности позволяет с достаточной для практики точностью получить распределения основных термодинамических параметров внутри цилиндра двигателя.
4. Использование программы Fluent позволяет проводить моделирование процесса впрыска топлива с учетом не стационарности данного процесса и движения отдельных узлов цилиндропоршневой группы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Орлин А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. - М.: Машиностроение, 1990, с. 253
2. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей./ Колчин А.И., Демидов В.П. - М.: Высшая школа, 2008. - 496 с.
3. 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.
4. 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.

Учебное издание

*Бирюк Владимир Васильевич,
Горшкалев Алексей Александрович,
Орлов Михаил Юрьевич,
Угланов Дмитрий Александрович*

**РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ
СГОРАНИЯ ДВС С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ «FLUENT»**

Учебное пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 26.12.2011. Формат 60х84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 4,5.

Тираж 25 экз. Заказ .

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

