

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)**

**Исследование теплопроводности неметаллов
на основе численного и физического
эксперимента**

САМАРА 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

(Самарский университет)

Исследование теплопроводности неметаллов на основе численного и физического эксперимента

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» в качестве методических указаний

С А М А Р А

Издательство Самарского университета

2017

Составители: Угланов Д. А., Сармин Д. В., Заика С. С.,
Шиманов А. А.

Рецензент: д.т.н., доцент Иголкин А.А.

Исследование теплопроводности неметаллов на основе численного и физического эксперимента: метод.указания / сост. Угланов Д. А., Сармин Д. В., Заика С. С., Шиманов А. А.– Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 32 с.: ил.

Представлен экспериментальный метод определения коэффициента теплопроводности, а также методические указания для построения расчётной модели в пакете GAMBIT, моделирования процесса теплопроводности и определения коэффициента теплоотдачи с помощью программного комплекса FLUENT.

Пособие (Методические указания) предназначено для студентов, обучающихся по следующим направлениям подготовки бакалавра: 13.03.03 – Энергетическое машиностроение, 15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств. 15.03.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 24.03.05 – Двигатели летательных аппаратов; по специальности 24.05.02 – Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок, по направлению подготовки магистров 24.04.05 - Двигатели летательных аппаратов, а также может быть полезно слушателям курсов, аспирантам и специалистам. Разработано на кафедре теплотехники и тепловых двигателей.

Учебное издание

Определение коэффициента теплопроводности

Методические указания

Составители: Угланов Д. А., Сармин Д. В., Заика С. С., Шиманов А. А.

Редактор
Доверстка

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л..
Тираж экз. Заказ . Арт. - /2017.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.....	7
2 ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛА	8
4 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ FLUENT.....	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32

ВВЕДЕНИЕ

Коэффициент теплопроводности всех известных веществ является функцией большого числа параметров: температуры, структуры или состояния вещества, внешних воздействий, таких как излучение, магнитное поле, влажность для пористых материалов и др. Поэтому точное определение коэффициента теплопроводности расчетным путем установить очень сложно, и в подавляющем большинстве случаев эти значения определяются экспериментально. Нужно отметить при этом, что и экспериментальное определение теплопроводности (так в дальнейшем в соответствии с общепринятой формулировкой будем называть коэффициент теплопроводности) является достаточно сложной процедурой. Погрешности при ее определении в твердых телах составляют несколько процентов, а в ряде методов достигают 10-20%.

Все это приводит к такому положению, что теплопроводность одного и того же вещества определяется много раз различными методами с целью получения более точных значений. Необходимо учитывать также, что достаточно точные методы определения теплопроводности для различного диапазона температур, различной геометрии образцов и типа твердых тел (металлы или изоляторы, например) должны быть различны. А это все приводит к необходимости иметь в своем распоряжении для каждого данного вещества в каждом его состоянии полный набор экспериментальных значений теплопроводности.

Только при этом инженер, конструктор или исследователь может достаточно обоснованно и наиболее правильно выбрать необходимые для его задачи значения теплопроводности. Важно при этом иметь представления и о механизме передачи теплоты теплопроводностью, который для различных веществ определяется протеканием специфических, только ему присущих процессов.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

В основе определения теплопроводности лежит метод динамического калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой. Для данной цели использовался измеритель теплопроводности ИТ- λ - 400.

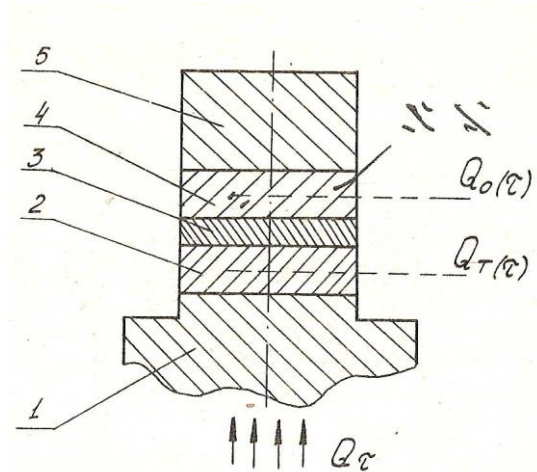


Рисунок 1 – Измеритель теплопроводности ИТ- λ - 400.

Образец из испытуемого материала 4 помещается между опорным стержнем 5 и медной контактной пластиной 3, обладающей высокой теплопроводностью, монотонно разогревается за счёт непрерывного, поступающего через тепломер теплового потока Q_{τ} . Тепловой поток, проходящий через среднее сечение пластины 2, частично поглощается ею и далее идёт на разогрев пластины 3, образца 4 и стержня 5. Размеры системы выбраны таким образом, чтобы потоки, аккумулируемые образцом и пластиной, были по крайней мере в 5-10 раз меньше поглощаемых стержнем 5.

T_{CP-X}, K										
---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Таблица 2 – Таблица измерений **при охлаждении** образцов

Интервал времени, секунды	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$L_2, мм$										
$L_1, мм$										
$t_1, °C$										
$t_2, °C$										
$t_5, °C$										
$T_{CP-ИЗВ.МАТЕР}, K$										
$\lambda_{ИЗВ.МАТЕР}, Вт / м \cdot K$										
$\lambda_X, Вт / м \cdot K$										
T_{CP-X}, K										
$t_{CP-X}, °C$										
$\lambda_{РЕАЛ}, Вт / м \cdot K$										

По формулам рассчитываются недостающие в таблице значения и определяется коэффициент теплопроводности неизвестного материала.

$$q_2 = \frac{\lambda_{HEPЖ}}{L_2} (t_1 - t_2)$$

$$q_1 = \frac{\lambda_X}{L_1} (t_5 - t_1)$$

$$q_1 = q_2$$

$$\lambda_X = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{(t_1 - t_2)}{(t_5 - t_1)}$$

$$t_{CP-HEPЖ} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$t_{CP-X} = \frac{t_1 + t_5}{2}$$

$$\lambda_{PEAJ} = \frac{\lambda_{HAIP} + \lambda_{OXI}}{2}$$

Полученное значение коэффициента в дальнейшем используется при моделировании процесса теплопроводности и определения коэффициента теплоотдачи.

3 СОЗДАНИЕ РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ

Для упрощения создания модели и ускорения расчёта будет построена двухмерная модель установки. Схема установки изображена на рисунке 3.

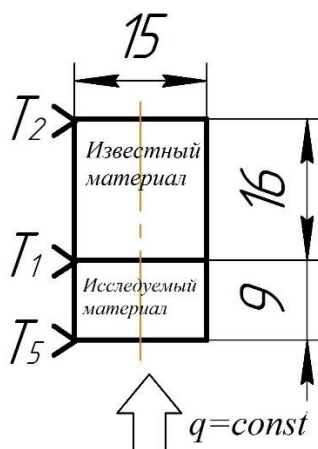


Рисунок 3 – Упрощённая Схема установки

3.1 Запуск программы Gambit и ее особенности

Построение расчетной модели производится в программе Gambit. Её запуск осуществляется нажатием на соответствующий ярлык на рабочем столе или из меню «Пуск» ОС «Windows»: *Пуск → Все программы → Fluent Inc Products → Gambit 2.4.6 → Gambit 2.4.6.*

В результате этого действия появится окно. В нем в поле Working Directory необходимо выбрать папку, в которой будут сохраняться модели в данной сессии. После этого следует нажать кнопку Run. Это приведет к появлению окна программы Gambit. Оно показано на рисунке 4:

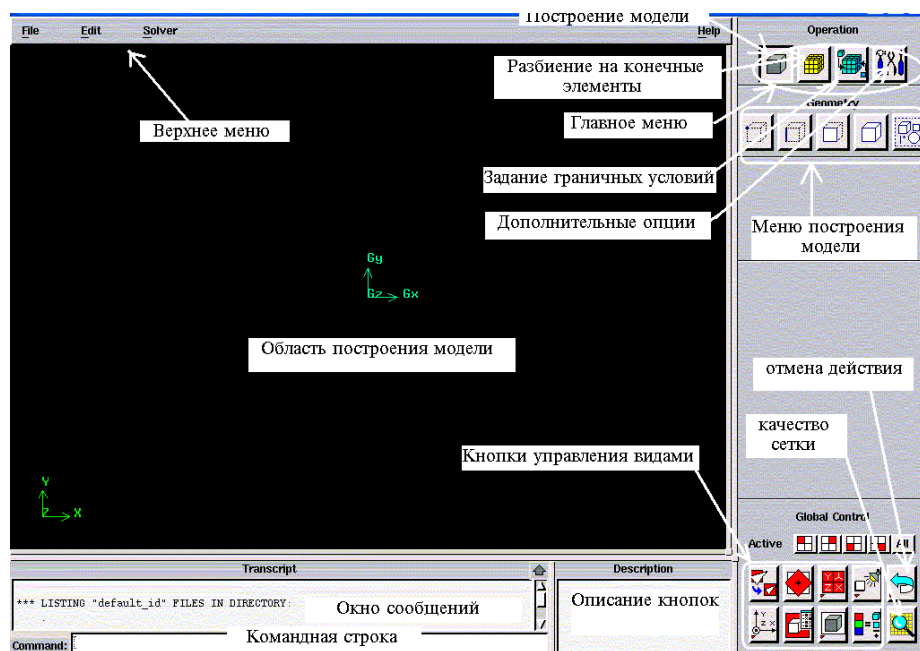


Рисунок 4 – Окно программы Gambit

3.2 Задание имени модели

Для определения имени модели в верхнем меню нужно выбрать следующие пункты:

BM: File → New

Появится диалоговое окно, изображенное на рисунке 5:

- в графе ID вводится имя модели;
- ввод имени подтверждается нажатием кнопки *Accept*.

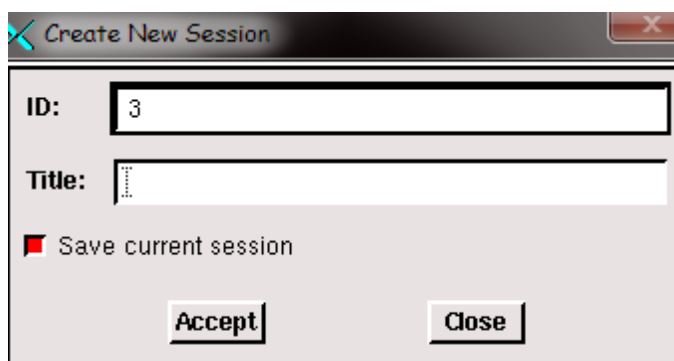


Рисунок 5 – Меню создания новой модели (*File → New*)

После этого действия появляется окно уточняющее, согласен ли пользователь сохранить предыдущую сессию. В нем следует нажать кнопку *Yes*. После этого в верхнем левом углу окна программы появится выбранное имя модели.

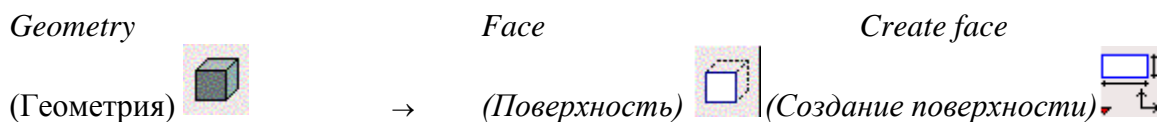
3.3 Назначение программы для решения рассматриваемой задачи

От выбора расчётной программы зависит набор доступных граничных условий. В данной лабораторной работе расчет характеристик будет происходить в программе *Ansys Fluent*. Поэтому в верхнем меню следует выбрать:

BM: Solver → *Fluent 5/6*.

2.4 Построение поверхности двумерной модели

Основой для построения конечно-элементной сетки двумерной модели является поверхность. Простые поверхности строятся с помощью меню построения поверхности, позволяющего создать поверхности прямоугольной и круглой формы, а также формы эллипса:



Для построения данной расчётной модели необходимо построить прямоугольные поверхности (рисунок 6).

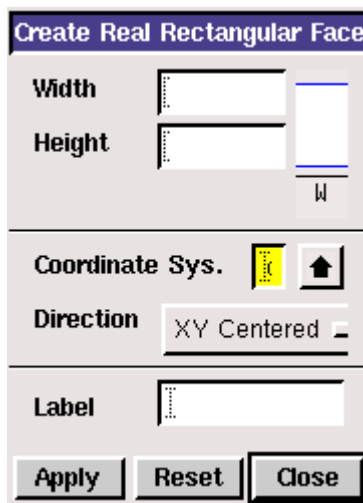


Рисунок 6 – Меню построения поверхности прямоугольной формы

В поле *Width* вводится значение диаметра 15 мм, а в поле *Height* – значение высоты (25 мм, 9 мм). Затем необходимо нажать кнопку *Apply*.

Создаём две поверхности с размерами 15x25 мм и две поверхности с размерами 15x9 мм, которые необходимо перенести вниз на 12,5 мм с помощью команды:

Move/ Copy Faces – (Перенести/скопировать поверхность) .

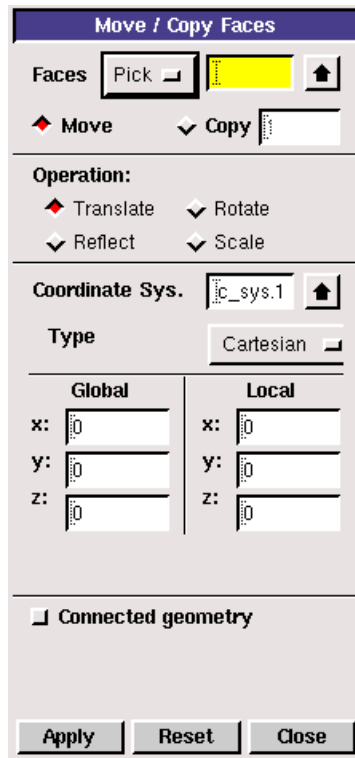


Рисунок 7 – Меню Перемещения/копирования модели

В поле *Pick* нажимаем на стрелку и выбираем поверхности, которые необходимо перенести, затем нажимаем *Close*. Перенос будет осуществляться вдоль оси *y*. В поле *y* вносим значение *-17*, затем кнопку *Apply*.

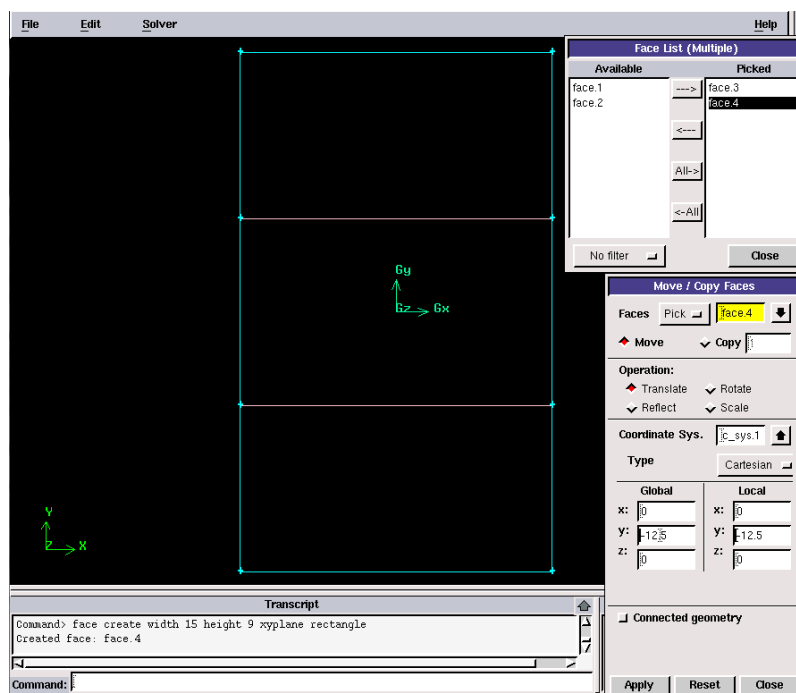


Рисунок 8 – Перемещение поверхности

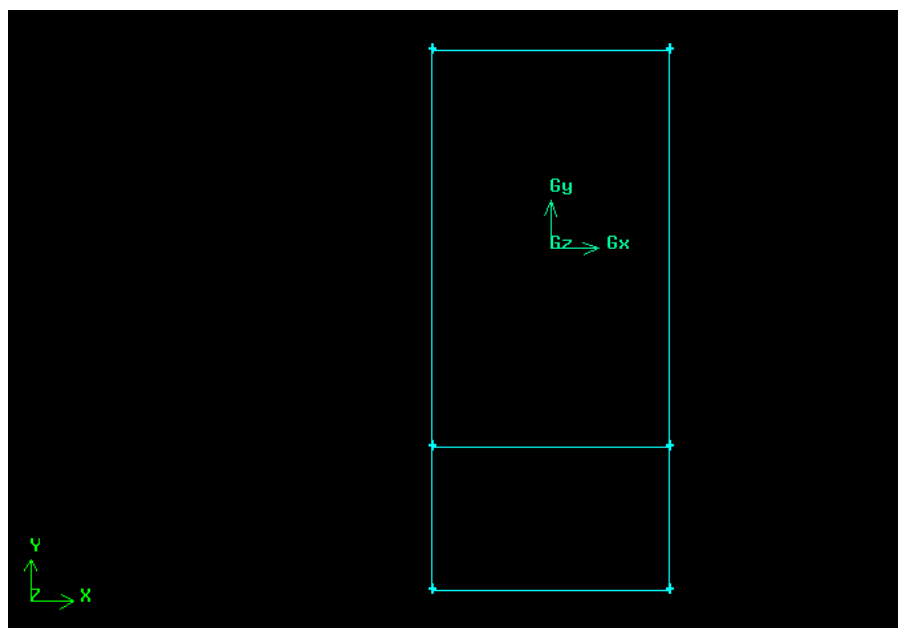




Рисунок 9 – Создание расчётной области модели

3.5 Указание граничных поверхностей

В программе *Gambit* осуществляется предварительное указание линий и поверхностей расчетной области, к которым будут приложены граничные условия. Численные значения граничных условий задаются в программе *Fluent*. Поверхности, которые не будут указаны как граничные, по умолчанию считаются стенками (*Wall*) и к ним применяется соответствующее граничное условие стенки. Указанный в программе *Gambit* тип граничного условия в случае ошибок или изменения стратегии решения может быть изменен во *Fluent*.

Для входа в меню задания граничных условий (рисунок 10) необходимо нажать следующие кнопки в главном меню:

Zones  *Specify Boundary Types* 
 (зоны) → (Задать тип граничных условий)

Для определения коэффициента теплоотдачи на созданных гранях поверхностей необходимо установить тип граничного условия *Interface*.

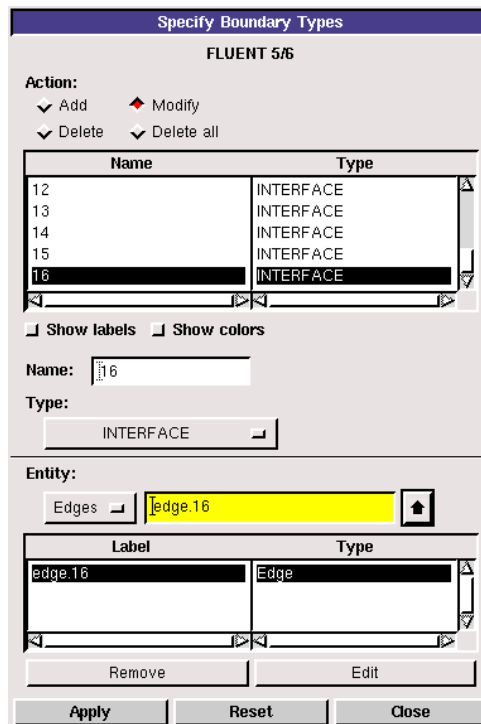


Рисунок 10 – Меню задания граничных условий

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

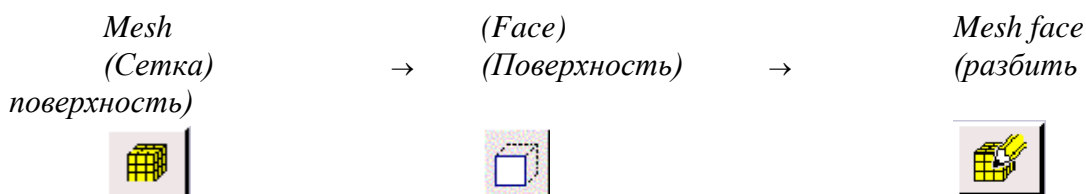
3.6 Построение конечно-элементной сетки

В программном комплексе *Fluent* есть возможность разбивать расчётную область как на четырехугольные, так и на треугольные элементы. Конечно-элементная сетка может быть структурированной или неструктурированной (сетка на базе треугольных элементов только неструктурированная). Структурированная сетка позволяет получать более точные решения, однако она сложнее в построении, особенно для моделей со сложной пространственной формой. Время построения такой сетки может достигать 80% времени работы над задачей. Неструктурированное разбиение проводится легко, однако за это приходится платить ухудшением точности расчета.

Решение рассматриваемой задачи в первом приближении целесообразно провести на неструктурированной конечно-элементной сетке,

поскольку такое разбиение не составит большого труда и не займет много времени.

Разбиение поверхности осуществляется с помощью команды:



В результате появится меню, изображенное на рисунке 11.

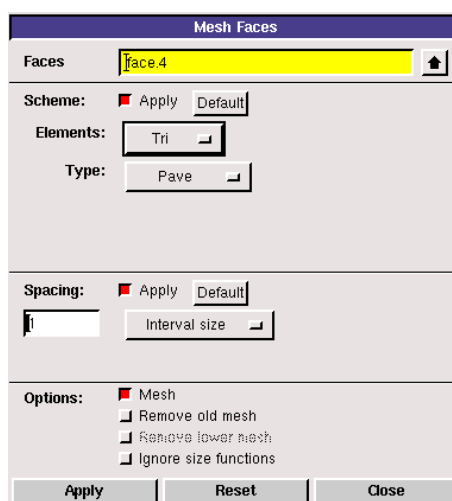


Рисунок 11 – Меню разбиения поверхности

В меню разбиения поверхности следует совершить следующие действия:

- в поле *Face* надо выбрать поверхности, которые будут разбиваться.
- в поле *Elements* выбирается тип конечного элемента *Quad* (четырёхугольный), *Tri* (треугольный) или *Quad/Tri* (смешанный).
- в поле *Type* выбирается схема, по которой производится разбиение. Схемы *Submap*, *Map* используются для структурированной сетки, схема *Pave* – для неструктурированной. При решении рассматриваемой задачи следует выбрать схему *Pave*.
- в поле *Spacing* вводится требуемый размер конечного элемента (например, *1 мм*).

Для построения конечно-элементной сетки с выбранными параметрами нужно нажать кнопку *Apply*.

Результат построения сетки приведён на рисунке 12.

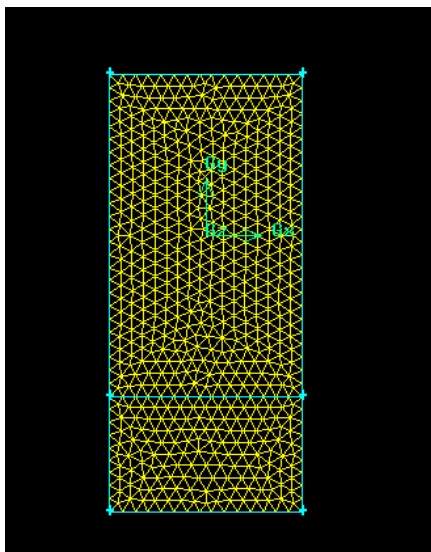


Рисунок 12 – Результат построения треугольной конечно-элементной сетки

3.7 Задание свойств поверхности

Задание свойств поверхности осуществляется с помощью команды:

Zones



(зоны)

→

Specify Continuum Types



(указание свойств поверхности)

В результате появится меню, изображенное на рисунке 13.

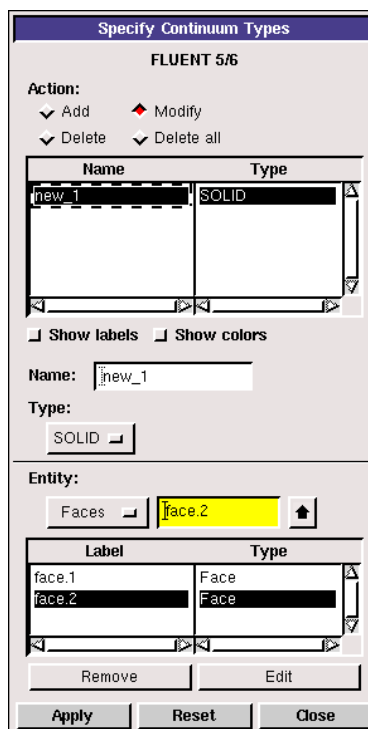


Рисунок 13 – Меню задания свойств поверхности

В нем следует выполнить следующие действия. Сначала в окне *Type* необходимо выбрать тип *Solid*, а в окне *Entity* выбрать поверхность образца из известного материала. Для подтверждения команды задания свойств поверхности необходимо нажать кнопку *Apply*.

Аналогично задаются свойства для поверхности образца исследуемого материала, для этого в окне *Entity* выбираются *Face 3* и *Face 4*.

3.8 Передача построенной расчетной модели во *Fluent*

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

BM: File → Export → Mesh.

В появившемся окне нужно ввести имя файла обмена. По умолчанию оно совпадает с именем файла модели (например, *Tepl.msh*). С помощью кнопки *Browse* можно выбрать место, где файл необходимо сохранить. Поскольку расчетная модель двухмерная, то обязательно следует нажать кнопку *Export 2D (X-Y) Mesh*. Запись файла обмена подтверждается нажатием кнопки *Accept*. Если файл обмена был успешно записан, то в окне сообщений появится надпись *Mesh was successfully written to <имя файла>.msh*.

В указанном месте появится файл *<имя файла>.msh*.

3.9 Сохранение модели *Gambit*

Сохранение модели *Gambit* для редактирования или каких-либо других действий производится с помощью команды:

BM: File → Save.

3.10 Закрытие программы *Gambit*

Закрытие программы *Gambit* осуществляется командой:

BM: File → Exit.

Перед закрытием программы появится окно, предлагающее сохранить модель. Для того чтобы это сделать, нужно нажать *Yes*. В противном случае нужно нажать *No*.

4 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ FLUENT

Дальнейшие действия с расчетной моделью: задание граничных условий, настройка параметров решателя, решение и обработка результатов производится в программе *Fluent*.

Запуск программы осуществляется нажатием на соответствующий ярлык на рабочем столе или из меню «Пуск» ОС «Windows»:

Пуск → *Все программы* → *ANSYS 13.0* → *Fluid Dynamics* → *Fluent*.

Перед открытием рабочего окна программы появится меню (рисунок 18), предлагающее выбрать тип решаемой задачи из двух предложенных вариантов:

2D– двумерная;

3D – трехмерная;

В рассматриваемом случае задача является двумерной. После выбора нужно нажать кнопку *OK*. Это действие вызовет появление рабочего окна программы *Fluent* (рисунок 14).

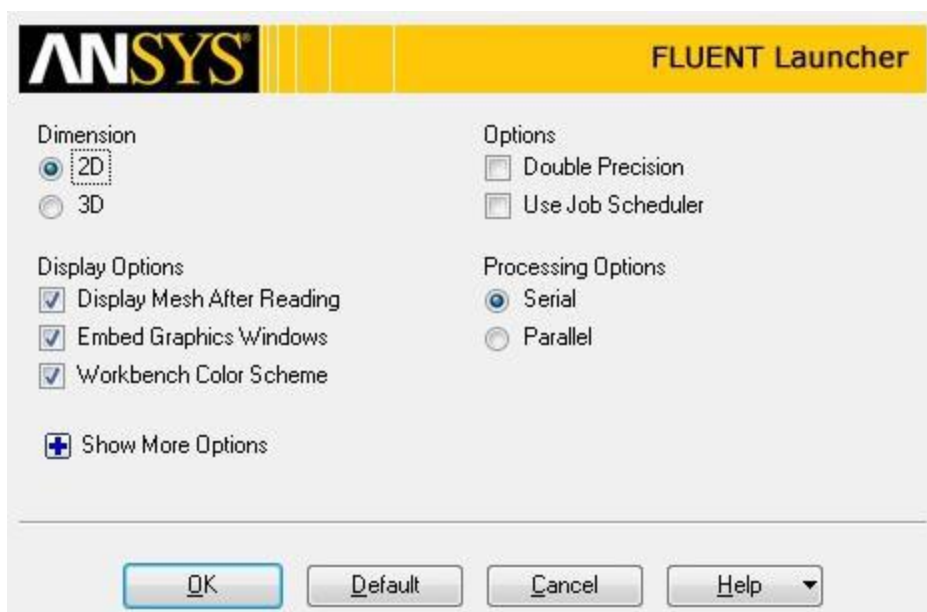


Рисунок 14 – Меню выбора размерности задачи

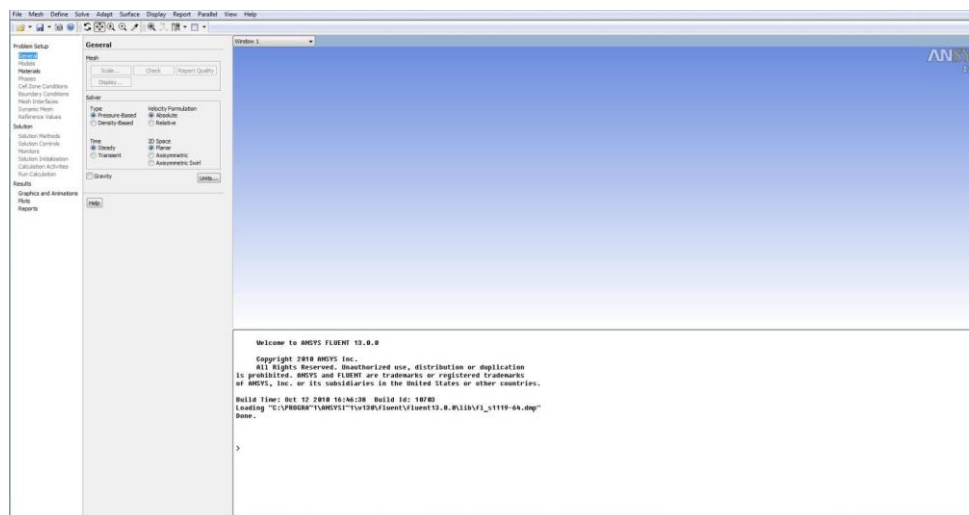


Рисунок 15 – Окно программы *Fluent*

Окно программы достаточно простое и состоит из трех основных элементов:

- *главного меню*, через которое осуществляется доступ ко всем командам и меню программы;
- *окна сообщений*, где находится командная строка, и отображаются результаты выполнения команд;
- *графических окон*, в которых отображаются результаты расчета и построений.

4.1 Загрузка расчетной модели, созданной в программе Gambit

Чтобы прочитать созданную расчетную модель, необходимо в главном меню выбрать:

ГМ: File → Read → Mesh.

В появившемся стандартном окне проводника ОС «Windows» нужно найти место, где был сохранен файл обмена, выбрать его и подтвердить выбор кнопкой *OK*.

При чтении файла в окне сообщений *Fluent* появятся полные сведения о модели, содержащейся в читаемом файле: размеры, количество и тип конечных элементов и т.п.

4.2 Масштабирование конечно-элементной сетки

Размеры расчетных моделей в программе *Fluent* должны быть обязательно заданы в метрах. Построение же моделей удобнее проводить в

миллиметрах. Так как рассматриваемая модель была создана в миллиметрах, то построенную сетку нужно уменьшить в *1000* раз. Для этого в программе есть удобная команда масштабирования *Scale Mesh* (рисунок 16). Она вызывается из главного меню командой:

ГМ: Mesh → Scale.

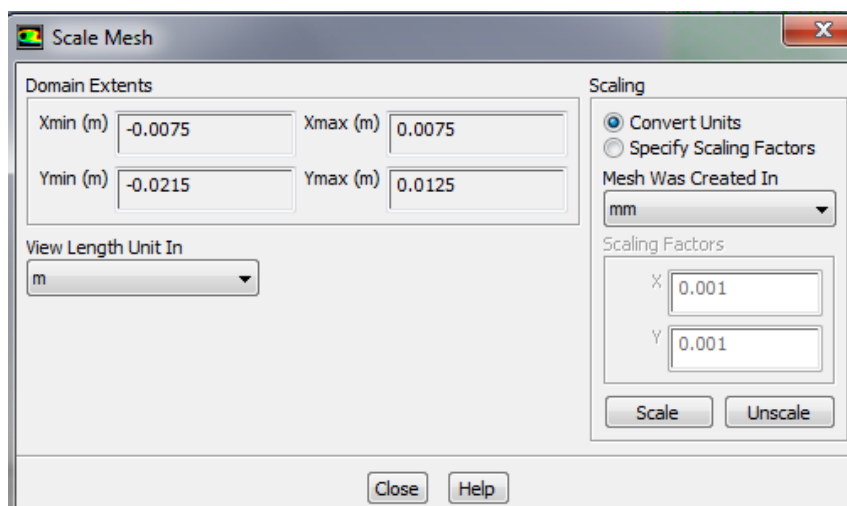


Рисунок 16 – Меню *Scale Mesh*

В меню *Scale Mesh* в поле *Mesh Was Created In* (сетка была создана в ..) нужно выбрать миллиметры *mm* (или другую единицу измерения, в которой была создана расчетная модель), а затем нажать кнопку *Scale*. Модель будет автоматически отмасштабирована. Следует обратить внимание на то, что в поле *Domain Extents* размеры модели примут правильные значения. Отменить масштабирование в случае ошибки можно с помощью кнопки *Unscale*. После завершения операции меню необходимо закрыть с помощью кнопки *Close*.

4.3 Настройка проницаемости разных сеток

Доступ к меню настройки проницаемости разных сеток осуществляется с помощью команды:

ГМ: Define → Mesh Interfaces

В результате появиться пустое окно. Внизу окна необходимо нажать кнопку *Create/edit...*, в результате появится окно *Create/Edit Mesh Interfaces* представленное на рисунке 17.

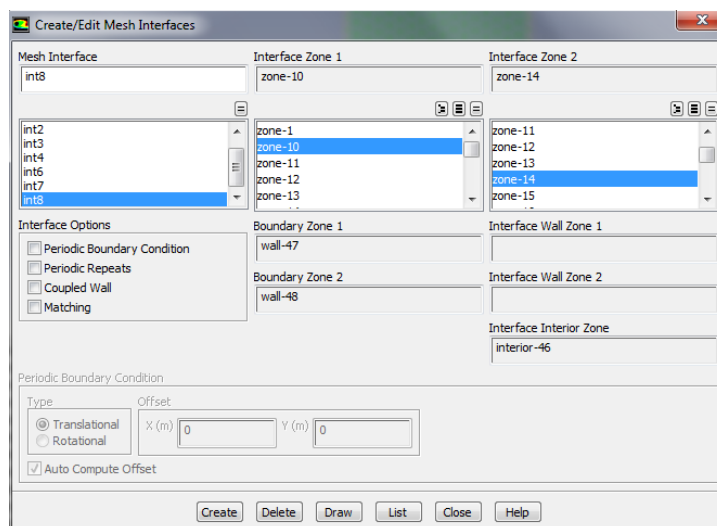


Рисунок 17 – Меню *Create/Edit Mash Interfaces*

В окне *Mesh Interface* вводится любое имя, например, *int1*. В окне *Interface Zone 1* выбирается один проницаемый отрезок, в *Interface Zone 2* выбирается второй проницаемый отрезок. Для завершения задания проницаемости необходимо нажать *Create*.

4.4 Задание опций решателя

В качестве первого действия при описании расчетной модели следует выбрать решатель, с помощью которого будет проводиться решение, а также определить стационарность или нестационарность задачи. Этот выбор осуществляется с помощью команды *General: Define* → *General*.

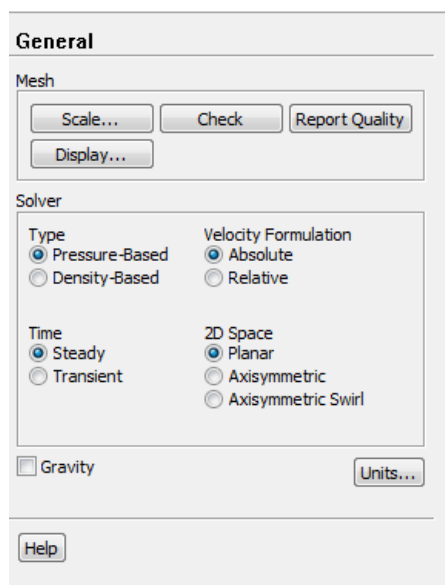


Рисунок 18 – Меню *General*

В меню *General* (рисунок 18) нужно обратить внимание на следующие пункты.

В поле *Solver* следует выбрать алгоритм решения. Программа *Fluent* позволяет использовать два алгоритма: *Pressure Based* (в российской литературе его называют алгоритмом установления) или *Density Based* (в российской литературе – алгоритм расщепления). Для решения рассматриваемой задачи целесообразно выбрать *Pressure-Based*.

В поле *2D Space* выбирается тип задачи:

Planar - плоская;

Axisymmetric – осесимметричная;

Axisymmetric Swirl – осесимметричная с вращением.

В поле *Time* описывается, будет ли решение стационарным *Steady* или нестационарным *Transient*. То есть, будут ли параметры потока зависеть от времени или нет.

Рассматриваемая задача является плоской (*Planar*) стационарной (*Steady*).

4.5 Учет в расчете уравнения энергии

При решении данной задачи нужно учитывать изменение температуры потока и тепловые явления (теплообмен и теплопередачу). Для этого необходимо включить в решение уравнение энергии с помощью команды:

ГМ: Define → Models → Energy.

В появившемся окне нужно поставить галочку в строке *Energy Equation* и нажать *ОК*.

4.6 Задание свойств рабочего тела

Задание свойств рабочего тела осуществляется в меню *Materials* (рисунок 19), которое вызывается командой:

ГМ: Define → Materials.

В рассматриваемой задаче образцы сделаны из нержавеющей стали и титана. Чтобы добавить данные материалы необходимо нажать на кнопку *Create/Edit*. Выбрать *Material Type – Solid* и найти нужный материал во

Fluent Database. Затем нажать *Copy* (рисунок 19). Для того что бы закрыть окно необходимо нажать *Close*.

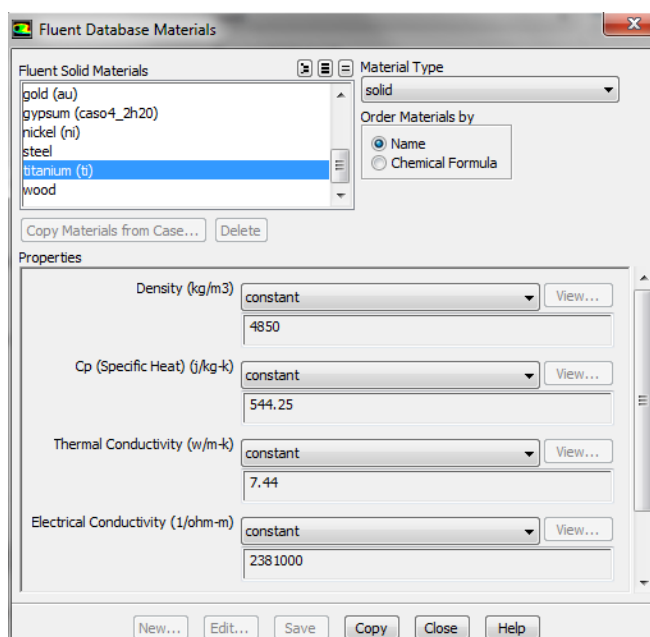


Рисунок 19 – Меню *Materials*

Далее в окне *Create/Edit Materials* в окне *Fluent Solid Materials* необходимо выбрать титан (*titanium*), после чего нажать *Change/Create* и потом *Close*.

4.7 Задание справочного давления

Особенность программы *Fluent* состоит в том, что давление, получаемое и задаваемое в расчете, является избыточным. То есть для того, чтобы получить истинное значение давления необходимо прибавить к нему так называемое «справочное давление». По умолчанию в его качестве используется атмосферное давление в САУ – 101325Па . Если в качестве «справочного давления» принять 0, то результаты расчета и исходные данные будут задаваться в абсолютных значениях. Изменить значение «справочного давления» можно в меню, которое появится в результате выполнения команды:

ГМ: Define → *Operating Condition*.

Для упрощения обработки результатов в решаемой задаче целесообразно принять «справочное давление», равное нулю, и ввести его значение в поле *Operating pressure*.

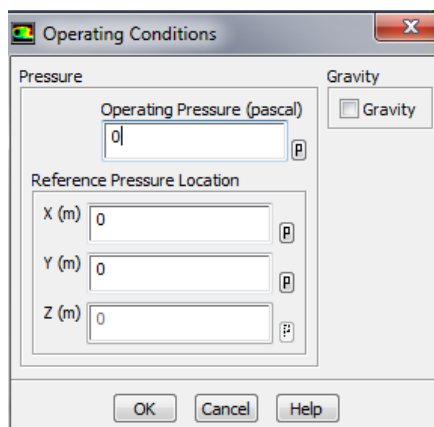


Рисунок 20 – Меню *Operating Condition*

4.8 Задание параметров зон

ГМ: Define → Cell Zone Conditions

В окне *Cell Zone Conditions* необходимо выбрать *solid* и нажать *Edit...* Появится окно представленное на рисунке 21. В списке *Material Name* необходимо выбрать *titanium* и нажать *OK*. Аналогично для второго образца.

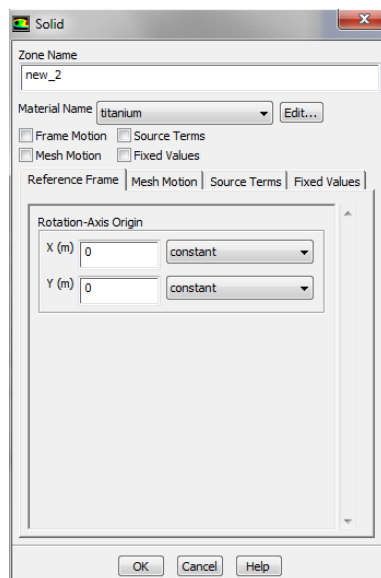


Рисунок 21 – Меню *Cell Zone Conditions (Solid)*

4.9 Задание граничных условий

Меню задания граничных условий вызывается командой:

ГМ: Define → Boundary Condition.

Чтобы приступить к заданию граничных условий, необходимо в окне *Zone* выбрать нужное граничное условие, убедиться, что в окне *Type* тип граничного условия указан верно, и нажать *Edit...* В рассматриваемой задаче будет задано следующее условие: Heat Flux – 135 881 Вт/м².

4.10 Установка начальных значений параметров

Меню установки начальных условий вызывается командой:

ГМ: Solve → Initialization.

В этом меню в поле *Compute From* необходимо выбрать входную границу. В результате рекомендуемые значения начальных параметров будут рассчитаны по входным граничным условиям. Для их принятия следует нажать *Initialize*.

4.11 Настройка отображения процесса решения

Для того, чтобы отображать невязки в процессе расчета, а также задать критерий останова решения, необходимо вызвать меню *Residual Monitors* (рисунок 22) с помощью команды:

ГМ: Solve → Monitors → Residual.

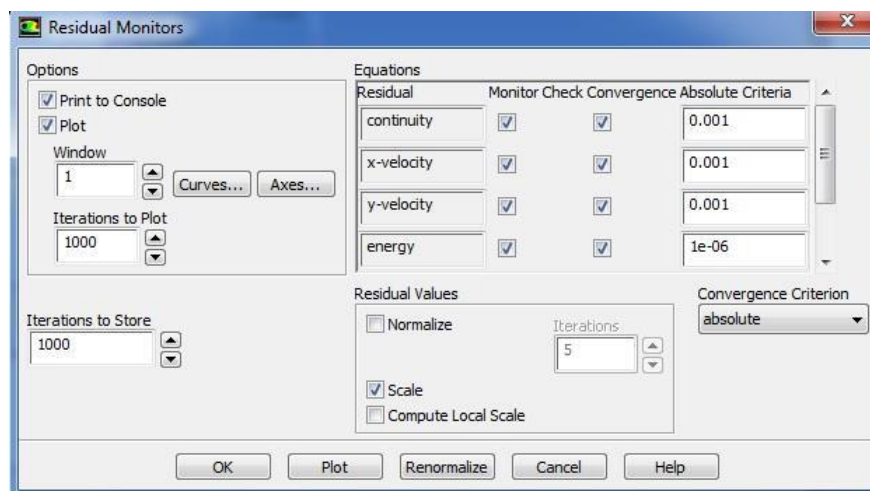


Рисунок 22 – Меню *Residual Monitors*

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*).

В полях *Residual* друг над другом перечислены все решаемые уравнения, а напротив каждого из них в столбце *Convergence Criterion* установлены предельные невязки. Задача считается решенной, когда невязки по всем уравнениям окажутся меньше заданных значений. В этом случае процесс вычисления будет автоматически остановлен. Считается, что для

получения точного решения достаточно достижения невязок 10^{-3} по всем уравнениям.

4.12 Настройка процесса создания анимации

Для того что бы создать анимацию необходимо вызвать команду:

ГМ: Solve → Calculation Activities.

Далее под окном *Solution Animations* необходимо нажать *Create/Edit...*, в результате чего появится меню, представленное на рисунке 23.

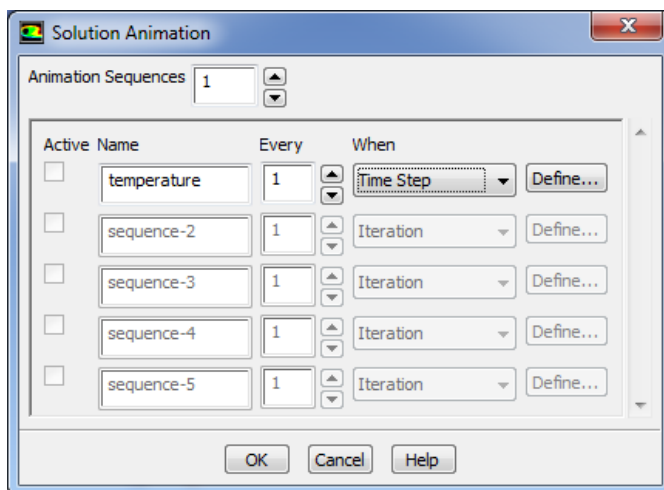


Рисунок 23 – Меню *Solution Animation*

В данном окне в опцию *Animation Sequences* следует ввести количество анимаций, которое будет создано в процессе решения. В данном случае оно будет равно числу 1. Затем в первой строчке вводится имя анимации – *Temperature*. Во вкладке *When* следует установить *Time Step*. Затем нажимается кнопка *Define...*

В появившемся окне ввести число 2 в опцию *Window* (рисунок 24). В окно №2 будет происходить запись анимации изменения температуры проточной части. Затем нажимается кнопка *Set*.

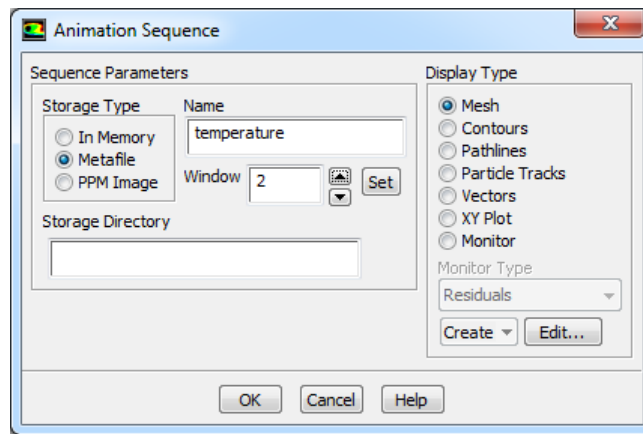


Рисунок 24 – Меню *Animation Sequence*

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

В появившемся окне (рисунок 25) 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*.

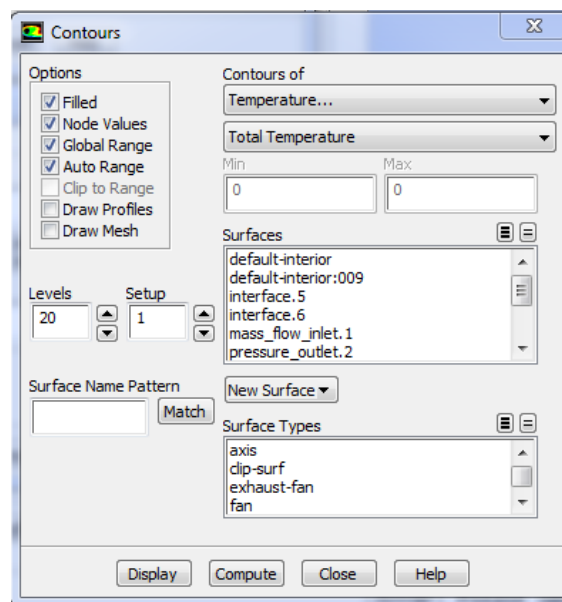


Рисунок 25 – Меню *Contours*

4.13 Сохранение расчетной модели

Для сохранения расчетной модели и всех сделанных настроек решателя необходимо вызвать команду:

ГМ: File → Write → Case & Data.

В появившемся окне проводника необходимо выбрать место, где будет сохранена модель и ее имя. После нажатия кнопки *OK* в указанном месте появятся два файла модели с расширением **.cas* и **.dat*.

4.14 Запуск решения задачи

1. Для запуска решения задачи следует выбрать следующую команду:

Solve → *Run Calculation...*

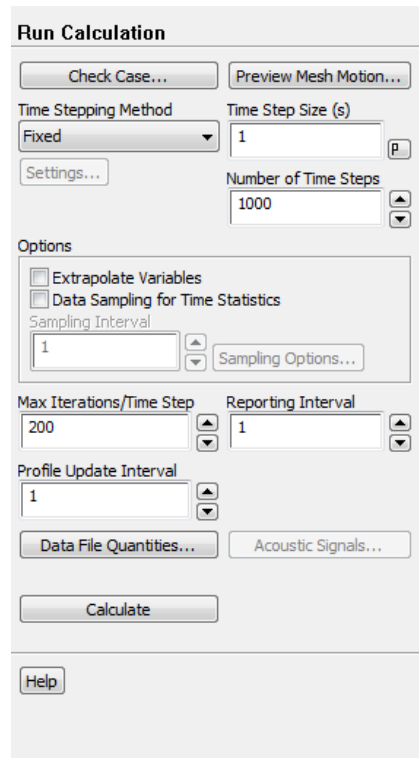


Рисунок 26 – Меню задания процесса решения (*Run Calculation*)

В меню *Run Calculation* рисунок 26 выполняются следующие действия:

- а) В строке *Number of Time Steps* выбирается количество шагов расчета, равное *1000*.
- б) В строке *Time Step Size* вводится время одного шага, равное *1* секунде.
- в) В строку *Max Iterations per Time Step* вводится максимальное количество итераций на один шаг расчета. В данном случае рекомендуется ввести число *200* для данного параметра.
- г) После этого нажатием клавиши *Calculate* запускается расчет.

Решение может быть остановлено в любой момент нажатием на кнопку *Cancel* и вновь запущено с места остановки нажатием кнопки *Calculate* в меню запуска решения. В время паузы могут быть просмотрены предварительные результаты решения, внесены изменения в граничные условия или настройки решателя.

4.15 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 27) выбирается какой-либо термодинамический параметр, который предварительно описан в пункте 4.12, например, *Temperature*.
- в) В опции *Write/Record Format* выбирается тип файла *MPEG*.

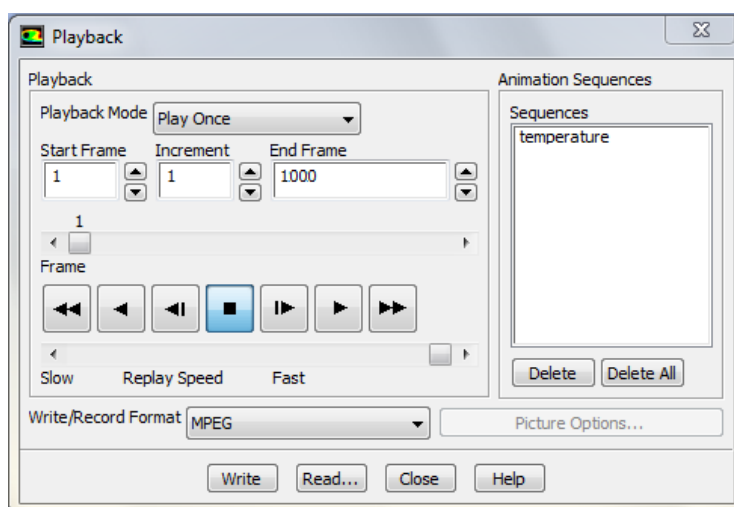


Рисунок 27 – Меню работы с анимацией

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В. А. Кириллин, А. Е. Шейндлин. Исследования термодинамических свойств веществ. М.-Л. Госэнергоиздат, 1963.
2. Температурные измерения. Под редакцией Геращенко О.А., Киев: Наукова думка. 1989.
3. Низкотемпературная калориметрия. Под ред. С.А.Улыбина, М. Мир, 1971.
4. Л. А. Резницкий Калориметрия твердого тела. М. Изд-во МГУ.1981.
5. Б. Н. Бойко Прикладная микрокалориметрия. Отечественные приборы и методы М. Наука. 2006. 119 с.