

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

**Моделирование течения двухфазного
потока в канале переменного сечен
я с помощью САЕ-системы Ansys Fluent.
Явление кавитации**

Электронные методические указания
к лабораторным работам

САМАРА
2014

Составители: **Бирюк Владимир Васильевич,**
Горшкалев Алексей Александрович,
Каюков Сергей Сергеевич

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. теории двигателей летательных аппаратов В.Н. Матвеев

Моделирование течения двухфазного потока в канале переменного сечения с помощью САЕ-системы Ansys Fluent. Явление кавитации [Электронный ресурс] : электрон. метод. указания к лаб. работам / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. В. В. Бирюк, А. А. Горшкалев, С. С. Каюков; - Электрон. текстовые и граф. дан. (6,30 Мбайт). - Самара, 2014. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM)

В данном методическом указании показаны особенности использования программного пакета «ANSYS Fluent» для моделирования течения двухфазного потока в канале переменного сечения и явления кавитации.

Методические указания предназначены для подготовки специалистов по специальности 140501.65 «Двигатели внутреннего сгорания», изучающих дисциплину «САЕ-системы в механике жидкости и газа» в 4 семестре, бакалавров по направлению 141100.62 «Энергетическое машиностроение», изучающих дисциплину «САЕ-системы в механике жидкости и газа» в 5 семестре.

Подготовлено на кафедре теплотехники и тепловых двигателей СГАУ.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Построение расчетной модели. Запуск программы ANSYS Gambit и ее особенности	5
1.1 Запуск программы ANSYS Gambit	5
1.2 Задание имени модели.....	9
1.3. Выполнение построения расчетной модели Построение базовых точек	10
1.4 Просмотр построенной модели в виде «твердого тела».....	14
1.5 Указание граничных поверхностей	14
1.6 Построение конечно-элементной сетки	17
2. Программа ANSYS FLUENT.....	21
2.1 Запуск ANSYS Fluent и загрузка модели	22
2.2 Представление результатов в виде эпюр.....	42
2.3 Изменение параметров вдоль оси трубки	43
2.4 Эпюры параметров потока по сечениям	47
3. Анализ результатов.....	54
Заключение	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	57

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе производится моделирование течения воды через трубку Вентури (аналогичную рабочему участку на гидростенде) при помощи компьютерной САЕ-системы ANSYS Fluent на платформе Windows. Программа позволяет проводить различные расчеты и инженерный анализ результатов, полученных в ходе имитации течения жидкости. В основе пакета лежит метод конечных элементов, применяемый совместно с известными законами физики и уравнениями МЖГ. На сегодняшний день этот метод является наиболее перспективным при решении сложных задач различных областей науки. Он позволяет с высокой степенью точности предсказать картину протекания процессов в газах и жидкостях, не проводя натурных экспериментов. На начальном этапе исследований данный метод делает возможным постановку экспериментов с использованием режимов, недопустимых для лабораторной установки, вследствие ее конструктивных и других ограничений.

Целью работы является получение первых сведений о среде моделирования ANSYS Fluent, а также необходимых для предварительной работы программ ANSYS GAMBIT. Предлагается самостоятельно построить чертеж трубки Вентури по размерам, согласно варианту задания, в программе ANSYS GAMBIT. В данном пакете происходит построение рабочей модели посредством наложения сетки конечных элементов и заданием граничных условий. После передачи модели в программу ANSYS Fluent студент вводит данные о материалах веществ, участвующих в опыте, и необходимые численные значения некоторых параметров. Итогом работы должны быть эпюры и картины распределения давления, скорости и энергетических характеристик потока по сечению рабочего участка (см. рис. 1) при известных начальных параметрах жидкости: давлениях жидкости на входе и на выходе, а также свойствах воды и водяного пара.

Построение трубки Вентури в программе ANSYS GAMBIT

В качестве примера рассмотрим трубку Вентури длиной 104 мм и диаметрами: 4,5 мм – минимальный, 26 мм – максимальный.

1. Построение расчетной модели. Запуск программы ANSYS Gambit и ее особенности

1.1 Запуск программы ANSYS Gambit

Как отмечалось выше, построение расчетной модели осуществляется в программе *ANSYS Gambit*. Ее запуск осуществляется нажатием на соответствующий ярлык на рабочем столе или из меню «Пуск» ОС «Windows»:

Пуск → *Все программы* → *ANSYS Fluent Inc Products* → *Gambit 2.4.6* → *Gambit 2.4.6*.

В результате этого действия появится окно, изображенное на рисунке 1.1.

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 *ANSYS Gambit*. Оно показано на рисунке 1.2.

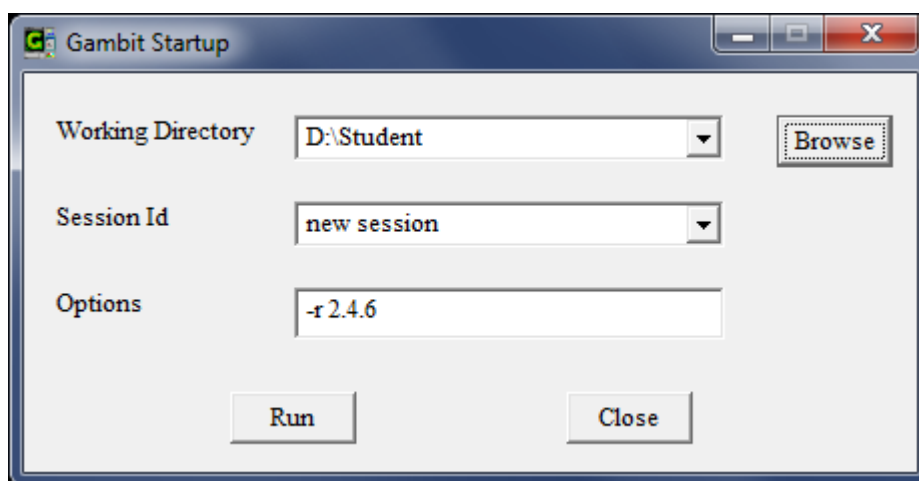


Рисунок 1.1 - Стартовое окно программы ANSYS Gambit

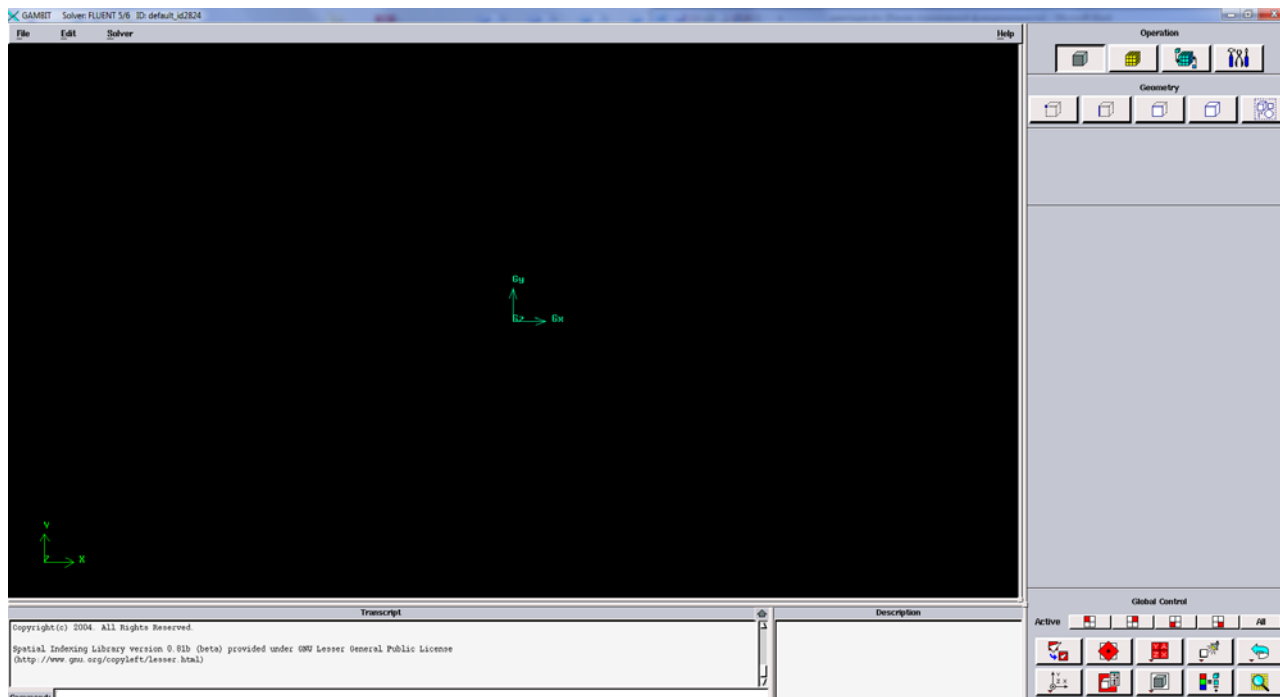


Рисунок 1.2 - Окно программы ANSYS Gambit

Вначале следует сказать несколько слов о программе *ANSYS Gambit*, ее структуре и работе в ней.

ANSYS Gambit — параметрическая программа. Все операции в ней записываются в текстовый файл, что позволяет пользователю легко отслеживать путь создания модели, исправлять ошибки, перестраивать модели и сетки.

ANSYS Gambit обладает мощным генератором сеток, позволяющим создавать разнообразные их типы: структурированную гексаидральную, неструктурированную гексаидральную и тетраидральную, пограничные слои с комбинированными сетками. Пользователь имеет возможность проверить качество полученного разбиения по разнообразным параметрам (скошенность элементов, соотношение сторон и т.п.).

ANSYS Gambit может импортировать геометрию из различных *CAD* пакетов в форматах: *PARASOLID*, *ACIS*, *STEP* или *IGES*. Программа имеет мощные возможности для создания двухмерных и трехмерных расчетных моделей, начиная от построения линий и кончая созданием твердотельных объектов.

Интерфейс программы состоит из следующих основных элементов (рисунок 1.2):





Область построения модели – место, где отображается активная модель.

Верхнее меню – меню, содержащее инструменты управления файлами (чтение, запись, импорт и т.п.) и некоторые настройки программы.

Окно сообщений – часть экрана, в котором в текстовом виде (на английском языке) показываются результаты всех действий, например, сообщаются координаты и параметры построенных элементов. В этом окне также выводятся сообщения об ошибках. Просмотреть информацию можно с помощью полосы прокрутки справа. Окно сообщений можно раскрыть на весь экран с помощью кнопки в виде стрелки в правом углу окна.

Если курсор подвести к какой-либо кнопке, то ее краткое описание (на английском языке) появится в окне «*Описание кнопок*».

В правом верхнем углу экрана находится *главное меню*, состоящее из четырех кнопок. При их нажатии осуществляется доступ к основным меню создания элементов расчетных моделей:

- построения геометрии модели ;
- создания конечно-элементной сетки ;
- задания граничных условий ;
- дополнительных опций  (к ним относятся изменение системы координат и т.п.).


В правом нижнем углу экрана находятся *кнопки управления видами*. С их помощью можно изменить направление взгляда на модель, вписать ее в экран




, показать модель в виде твердого тела или каркаса



, сделать невидимыми некоторые части или высветить имя элементов  и т.п. Рядом с ними

находится кнопка доступа к меню *качества сетки* , с помощью которого можно оценить корректность разбиения модели на конечные элементы.

Кнопка *отмены действий*  позволяет отменить последние операции, которые были выполнены после последнего сохранения модели. Щелчок правой

клавишей на этой кнопке откроет доступ к кнопке «*повтор*» .

Следует обратить внимание на то, что часть кнопок в программе имеет маленький красный треугольник внизу. Это говорит о том, что щелчок на них правой клавишей мыши открывает доступ к дополнительным командам сходного содержания (например, разным способам построения элементов).

При построении расчетной модели в программе *ANSYS Gambit* активно используется трехкнопочная мышь. Операции, выполняемые с помощью мыши, представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Операции, выполняемые с помощью мыши

Клавиша	левая	средняя	правая
Действие			
Движение с нажатой клавишей	Вращение модели	Сдвиг модели	Приближение, удаление + вращение вокруг оси z
Движение с нажатой клавишей Shift	Выделение	Следующий объект	Принять выбор
Двойной щелчок	-	Предыдущий вид	Сохранить вид в журнале
Движение с нажатой клавишей Ctrl	Увеличение с помощью рамки	Увеличение с помощью рамки	-

Обратите внимание! Выбор объекта мышью в программе *ANSYS Gambit* осуществляется только при нажатой клавише *Shift*.

При создании новой расчетной модели программа *ANSYS Gambit* создает несколько файлов:

с расширением **.dbs* – файл базы данных модели;

с расширением **.jou* – журнальный файл, в котором записаны все действия пользователя, на его основе можно параметризовать построение модели;

с расширением **.trn* – файл транскрипции;

с расширением *.loc – файл данных. Он создается только для модели, работа с которой ведется непосредственно в данный момент. **Внимание!** В ряде случаев программа *ANSYS Gambit* после некорректного окончания работы может не запускаться. Для того, чтобы она заработала, необходимо удалить все файлы с расширением .lok из рабочей папки.

1.2 Задание имени модели

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

BM: File → New.

Появится диалоговое окно, изображенное на рисунке 1.3.

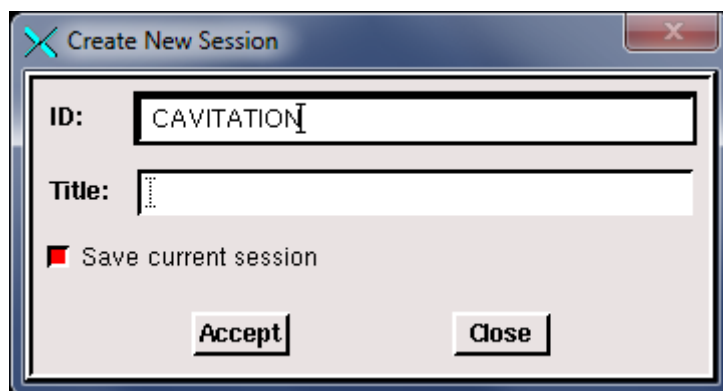


Рисунок 1.3 - Меню создания новых моделей (File → New)

- В графе *ID* набирается имя модели латинскими буквами (например, *CAVITATION*).
- Выбор имени подтверждается нажатием кнопки «*Accept*».

После этого действия появится окно, уточняющее согласен ли пользователь закрыть предыдущую сессию. В нем следует нажать кнопку «*Yes*»¹. После этого в верхнем левом углу окна программы появится выбранное имя модели.

¹ Если до создания новой модели производилась работа над другой моделью и ее необходимо сохранить перед закрытием, то следует нажать кнопку «*Save current session*» в этом же окне (рис. 1.3). В результате старая рабочая сессия будет сохранена. Работа параллельно с двумя моделями в *ANSYS Gambit* невозможна.

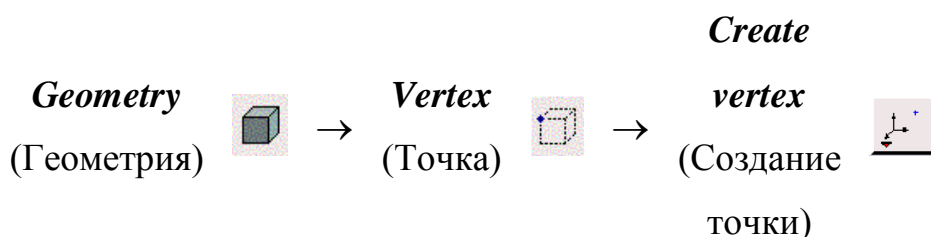
Назначение программы, в которой будет происходить решение рассматриваемой задачи.

От этого выбора 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 → ANSYS Fluent 5/6.

1.3. Выполнение построения расчетной модели Построение базовых точек

На первом этапе построения модели будут построены точки контура трубки. Затем на их базе будут получены границы расчетной области, отрезков, которые станут основой для создания поверхностей двумерной расчетной модели. Меню построения точек по координатам (рисунок 1.4) вызывается в главном меню с помощью команды:



В появившемся меню в поле *Global* (в глобальной системе координат) следует ввести координату требуемой точки, например $(0; 26; 0)$. Подтверждается построение точки нажатием кнопки «Apply». Аналогичным образом следует ввести все точки из таблицы координат профиля трубки.

В случае совершения ошибки действие можно отменить с помощью кнопки



(«отмена»). Увидеть все построенные точки можно с помощью кнопки



(«вписать в экран»).

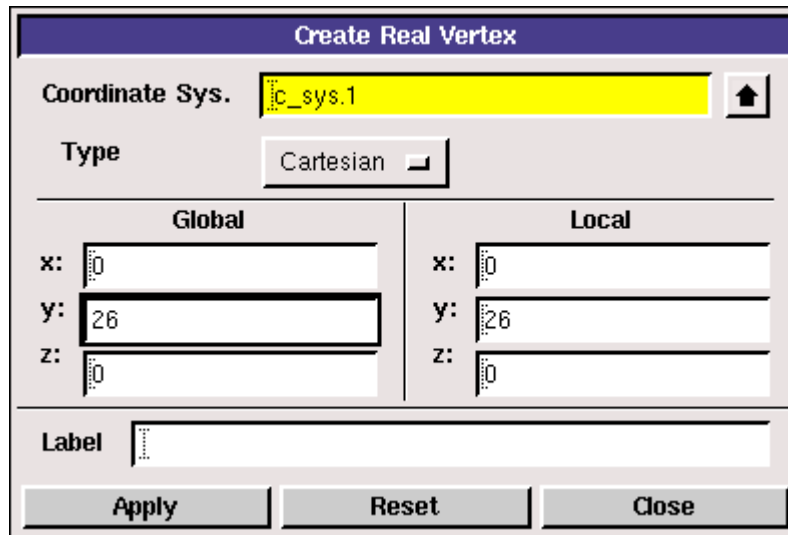


Рисунок 1.4 - Меню построения точек по координатам

Таблица 2.1 - Координаты профиля трубки

X_c , мм	Y_c , мм
0	0
0	26
52	26
52	0
60	10,75
60	15,25
156	26
156	0
208	26
208	0

Результат построения изображен на рисунке 1.5.

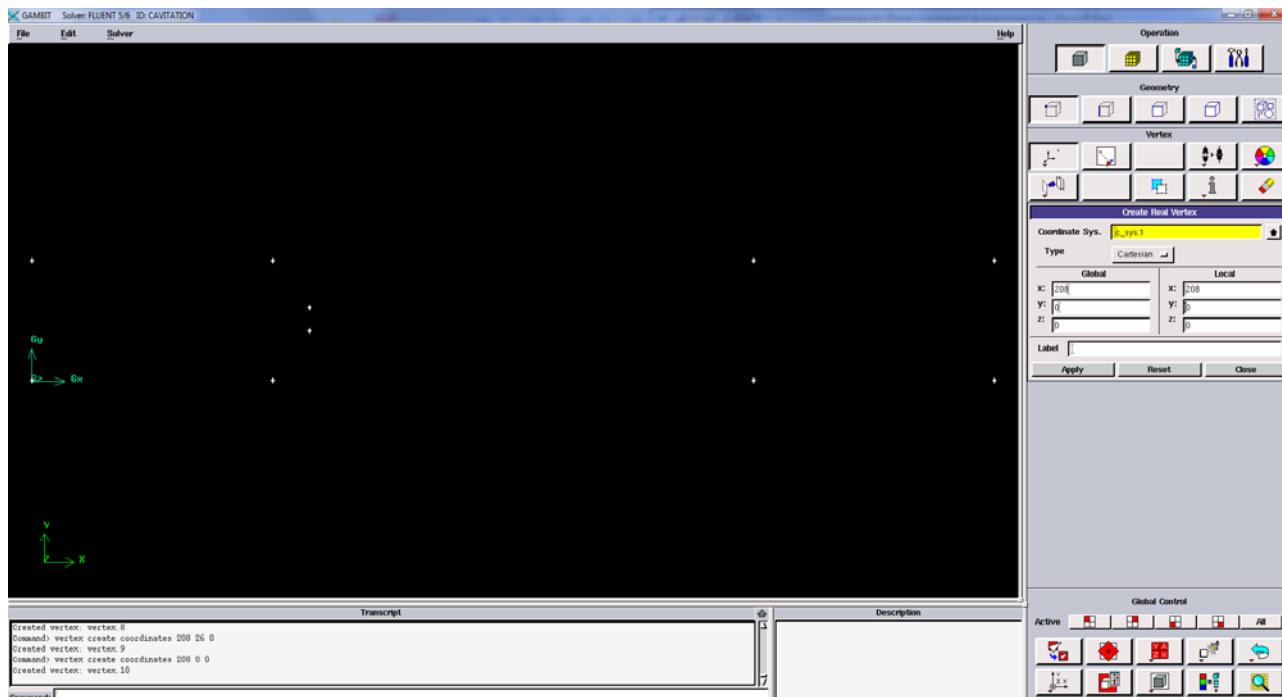
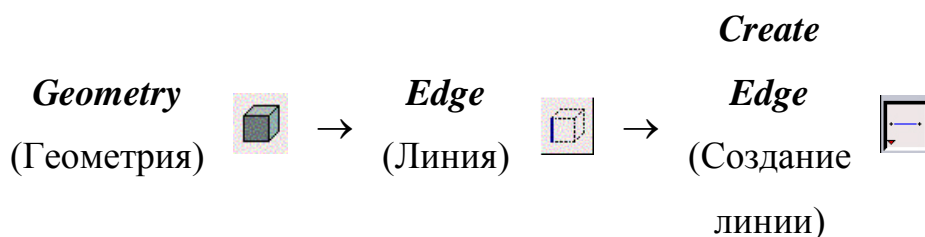



Рисунок 1.5 - Построенные базовые точки профиля

Построение контура трубки.

Профиль трубки образован прямыми линиями.

Для этого нужно вызвать соответствующее меню командой:



Примечание. По умолчанию кнопка  скрыта, получить доступ к ней, а также к другим кнопкам меню построения линий можно, щелкнув правой клавишей мыши на левой кнопке в верхнем ряду в подменю *Edge*.

Для построения контура необходимо с помощью мыши и нажатой клавиши *Shift* выбрать соответствующие точки в порядке следования. Для принятия действия нужно нажать кнопку «Apply». Результат действия показан на рисунке 1.6.

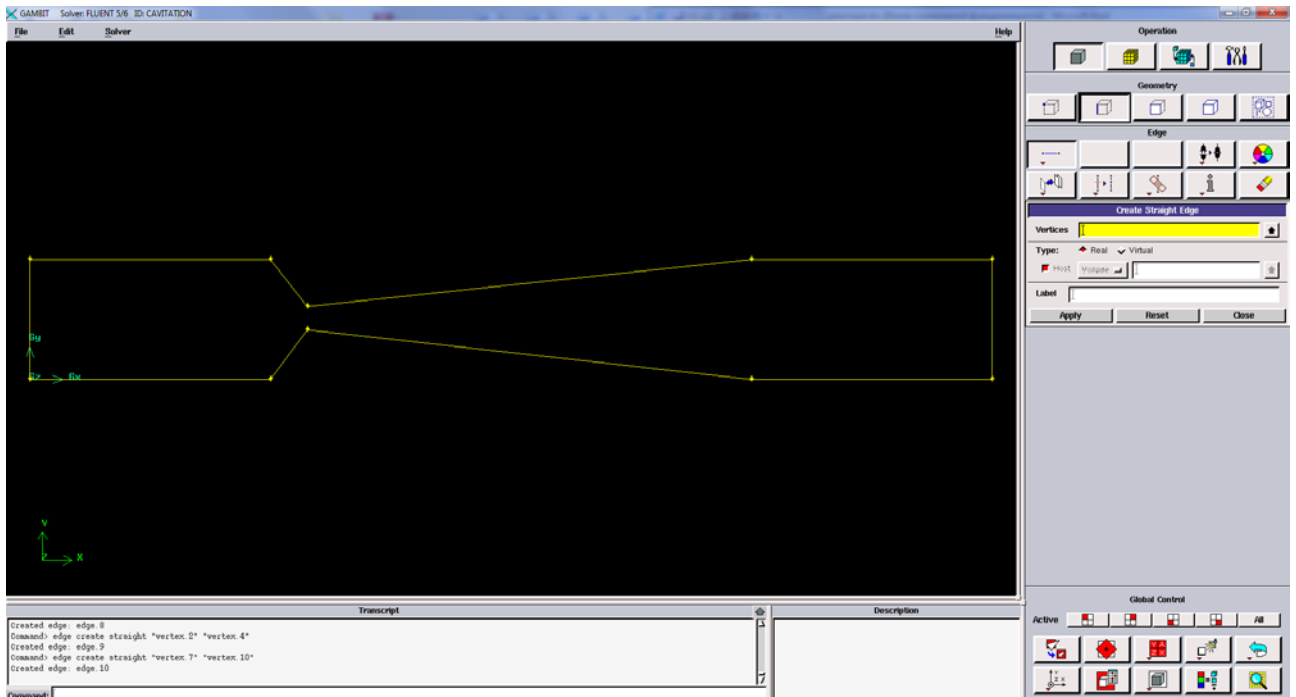


Рисунок 1.6 - Меню построения линий и результат построения контура

Основой для построения конечно-элементной сетки двухмерной модели является поверхность. Она строится с помощью меню построения поверхности:

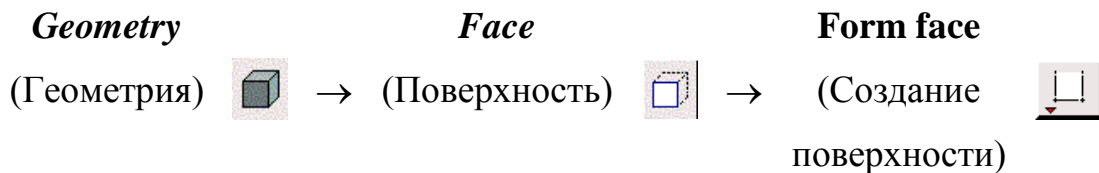




Рисунок 1.7 - Меню построения поверхности по линиям

В появившемся меню необходимо поставить курсор в окно *Edges* и с помощью мыши выбрать линии, образующие замкнутый контур расчетной области. Для

построения поверхности следует нажать кнопку «Apply». В результате линии контура модели поменяют цвет.

1.4 Просмотр построенной модели в виде «твердого тела»

В ряде случаев, для того, чтобы убедиться, что операция построения поверхностей или объемов прошла удачно, необходимо скрыть невидимые линии. Для этого нужно нажать кнопку  в меню управления видами (рисунок 1.8.). Для того, чтобы вновь увидеть модель в виде каркаса, следует щелкнуть на той же кнопке правой клавишей мыши и из трех появившихся кнопок выбрать .

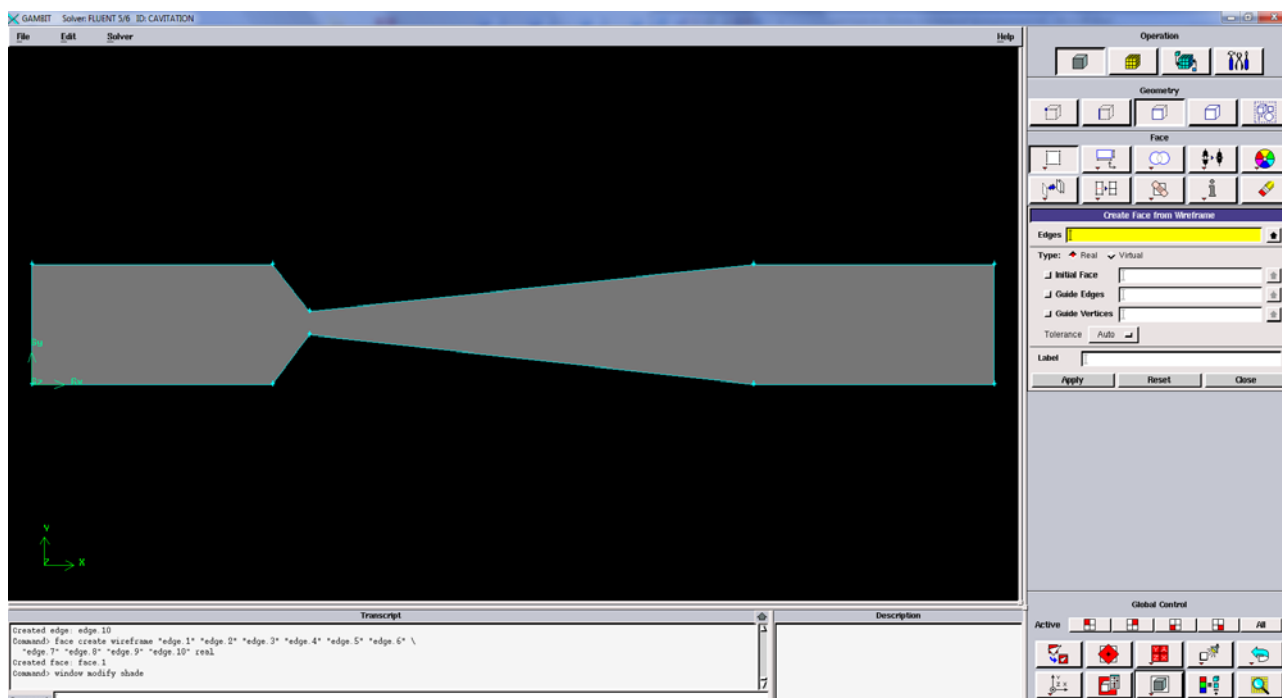


Рисунок 1.8 - Результат построения поверхности

На этом построение геометрии модели для исследования закончено.

1.5 Указание граничных поверхностей

В программе *ANSYS Gambit* осуществляется предварительное указание линий и поверхностей расчетной области, к которым будут приложены граничные условия. Численные значения граничных условий задаются в программе *ANSYS Fluent*. Поверхности, которые не будут указаны как граничные, по умолчанию счи-

таются стенками и к ним применяется соответствующее граничное условие. Указанный в программе *ANSYS Gambit* тип граничного условия в случае ошибок или изменения стратегии решения можно поменять во *ANSYS Fluent*. Для выхода в меню задания граничных условий (рис. 1.9) следует нажать следующие кнопки в главном меню:

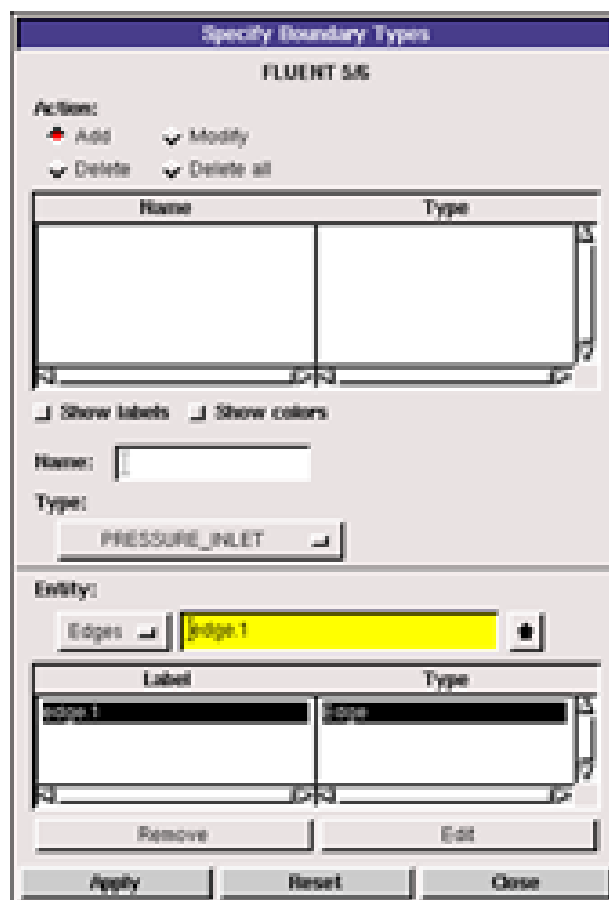
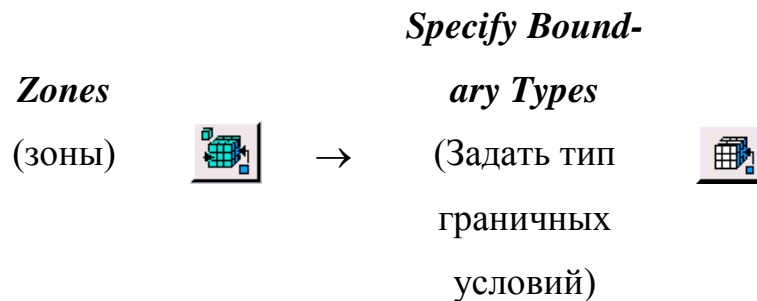


Рисунок 1.9 - Меню задания граничных условий

Для определения входной границы в нем необходимо произвести следующие действия:

- В поле *Action* необходимо нажать кнопку *Add*. Это действие укажет на то, что будет задана новая граничная поверхность.

- В графе *Name* можно задать наименование граничного условия латинскими буквами. Если поле оставить пустым, то имя будет назначено автоматически в соответствии с типом граничного условия.
- Нажать кнопки *Show labels* и *Show colors*. В результате в окне построения созданные граничные условия будут подписываться и выделяться цветом.
- Щелкнуть мышью по кнопке *Type*. В результате откроется доступ к списку доступных граничных условий. Содержание списка зависит от расчетной программы, которая была выбрана в начале построения модели. Для задания входного граничного условия нужно выбрать *pressure inlet* (давление на входе).
- Поскольку решаемая задача двумерная, то граничные условия будут задаваться на линиях. Для того, чтобы определить это, необходимо щелкнуть мышью на кнопке в области *Entity* и в появившемся списке выбрать *Edge*.
- Поставить курсор в поле напротив кнопки *Edge* и с помощью мыши выбрать входную границу расчетной области. Если произошла ошибка, то удалить линию из списка можно, нажав кнопку *Remove*.
- Выбранные настройки границы подтверждаются нажатием кнопки «*Apply*».

В результате выполнения команды в списке в верхней части меню появится название созданного граничного условия, а в области построения оно будет выделено цветом и высветится его имя.

Аналогично на выходной границе расчетной области устанавливается граничное условие *pressure outlet* (давление на выходе).

Результат построения граничных условий показан на рисунке 1.10. На остальных ограничивающих модель поверхностях, которые не были отмечены как граничные, по умолчанию будет установлено граничное условие стенки (*Wall*).

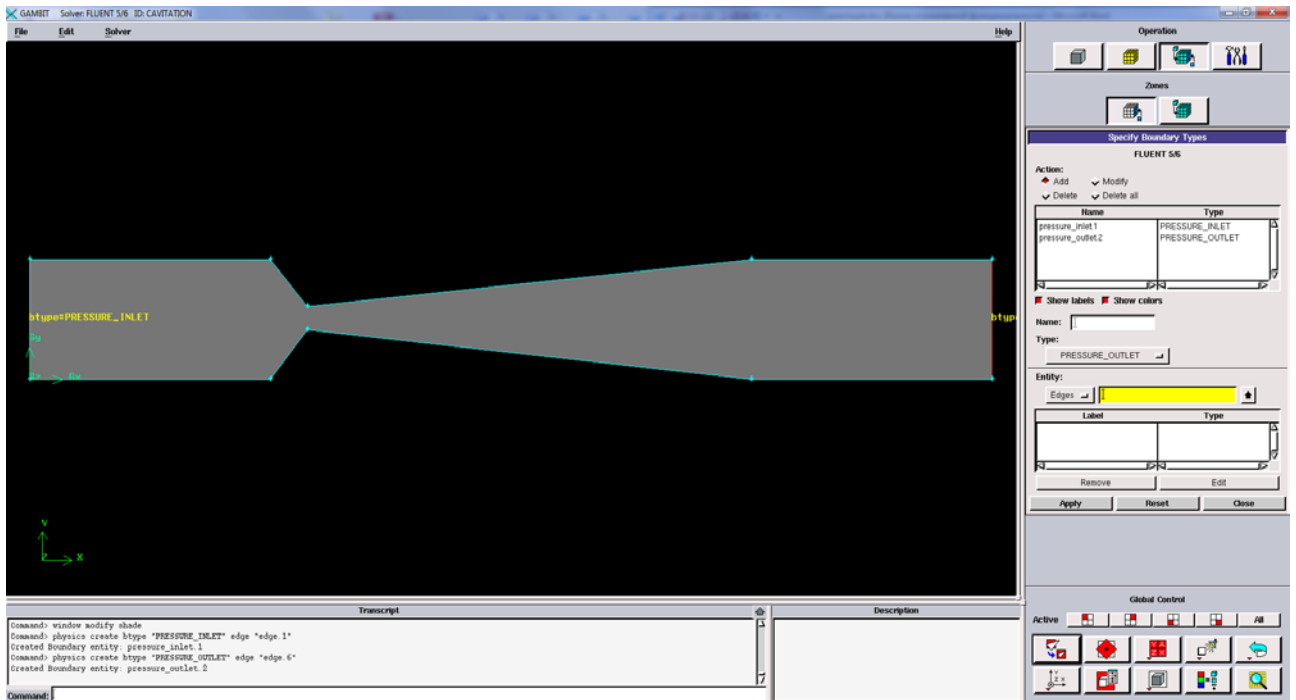
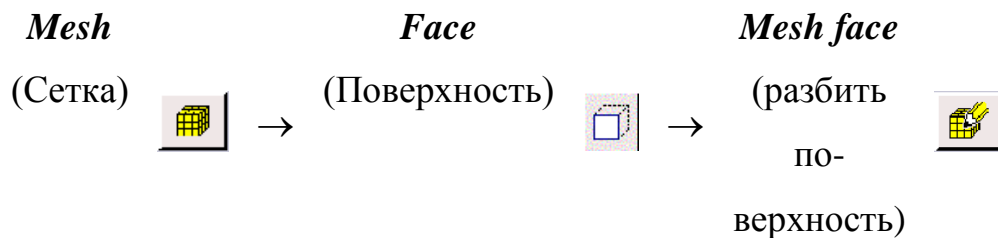


Рисунок 1.10 - Результат задания граничных условий

1.6 Построение конечно-элементной сетки

Решение рассматриваемой задачи течения целесообразно провести на структурированной 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 1.11.

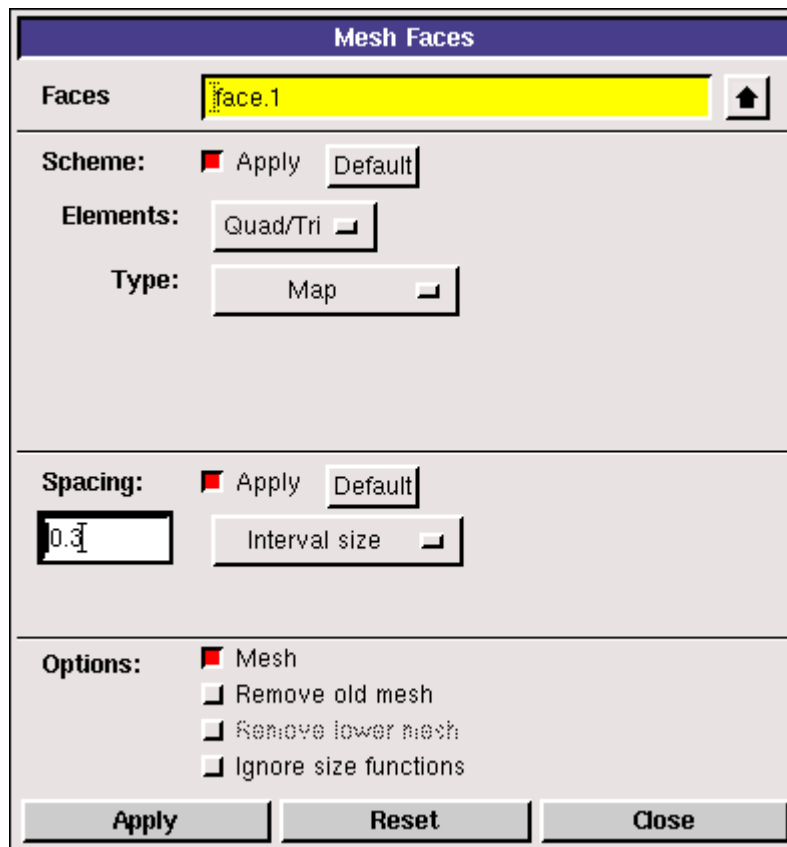


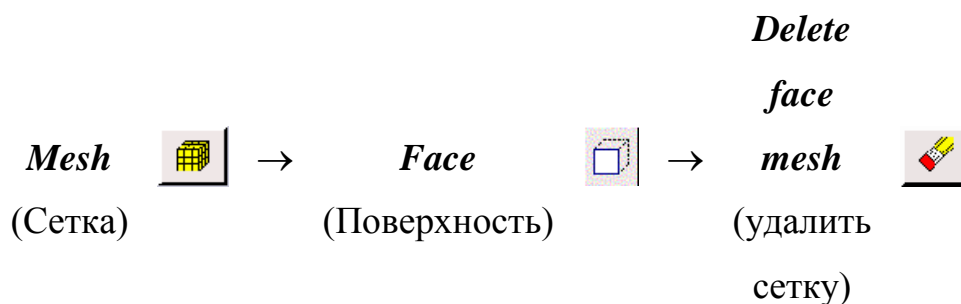
Рисунок 1.11 - Меню разбиения поверхности

В нем следует провести следующие манипуляции:

- 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. Для построения упорядоченной сетки необходимо выполнение некоторых дополнительных условий. Разбить рассматриваемую модель качественной упорядоченной сеткой не удастся без проведения дополнительных настроек и построений.
- В поле *Spacing* (рисунок 1.11) вводится требуемый размер конечного элемента (например, *0,3мм*).
- Для построения конечно-элементной сетки с выбранными параметрами нужно нажать кнопку «*Apply*».

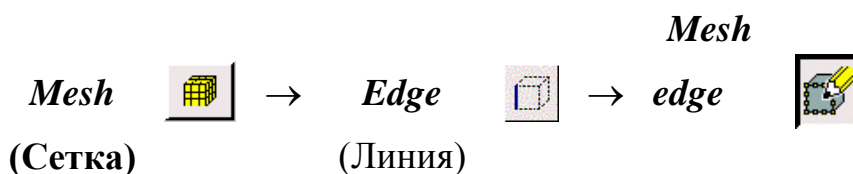
Создаем на прямых конусной части разбиение для сетки с учетом направления потока жидкости.

Перед этим необходимо удалить построенную раньше сетку с помощью команды:

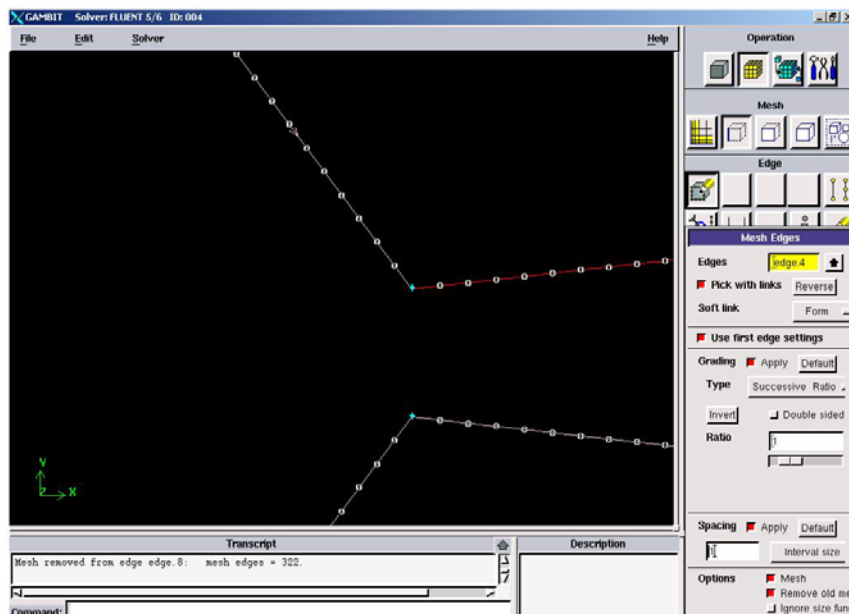


С помощью мыши выбирается поверхность, с которой нужно удалить сетку. Кнопку *Remove unused lower mash* следует оставить нажатой. Это удалит разбиение на конечные элементы граней (связь разбиения нарушена не будет). Для подтверждения команды удаления нужно нажать кнопку «*Apply*».

Теперь проводим разбиение отрезков составляющих конусные части:



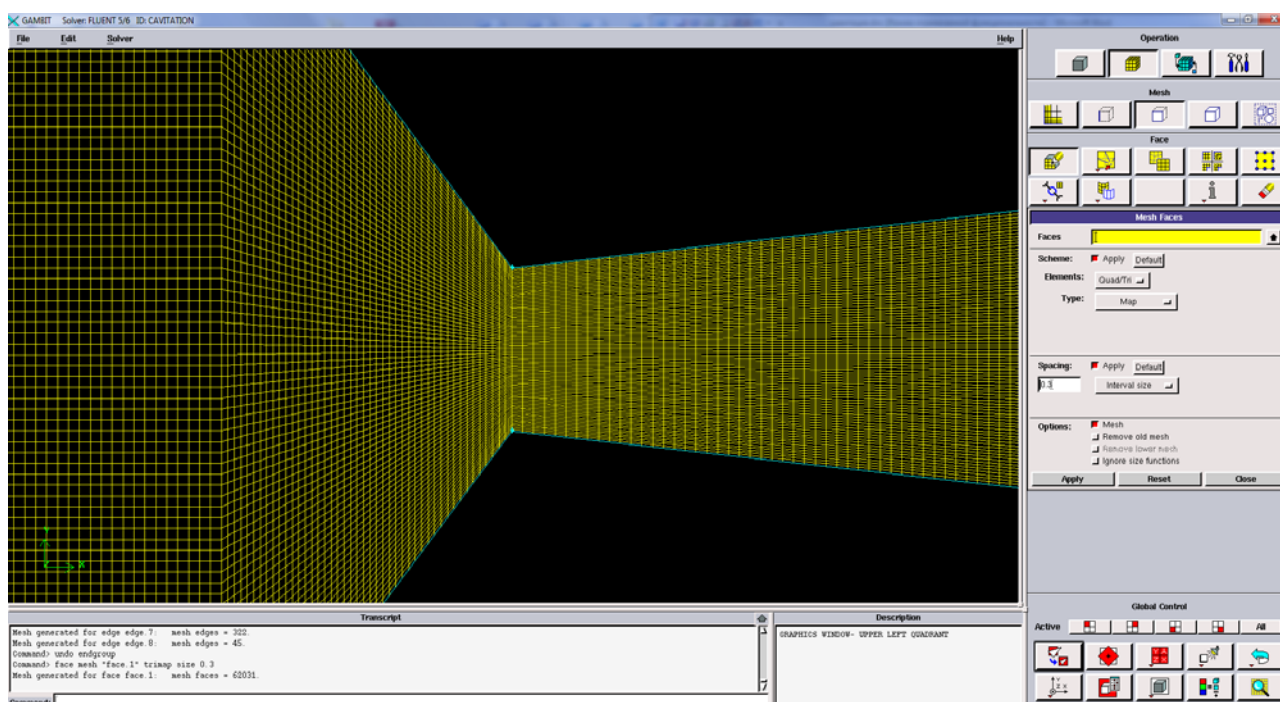
В появившемся окне в поле *Edges* нужно выбрать 4 прямые, показанные на рисунке 1.12. При необходимости следует выбрать *Reverse* для указания правильного направления. *Spacing* задаем **0.3**. (на иллюстрации показан вариант со значением 1 для наглядности верного направления векторов течения на отрезках)



Рисунке 1.12 - Разбиение прямых упорядоченной смешанной сеткой

Далее создаем сетку следуя указаниям в начале с теми же параметрами.

Результат разбиения расчетной области упорядоченной смешанной сеткой с учетом *Mesh Edges* показан на рисунке 1.13.



Рисунке 1.13 - Результат построения упорядоченной смешанной конечно-элементной сетки

Далее необходимо сохранить полученную модель для дальнейшей работы с ней в комплексе ANSYS Fluent (тип файла *.msh). Воспользуемся главным меню программы «Export - Mesh» (рисунок 1.14).

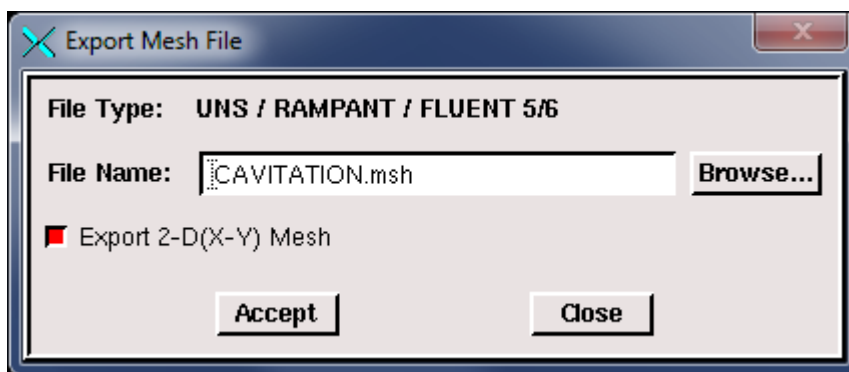


Рисунок 1.14 - Сохранение сетки в формат MSH

2. Программа ANSYS FLUENT

Эта глава исследует кавитационное течение воды через трубку Вентури. Используя способность моделирования многофазных течений ANSYS Fluent, можно предсказать кавитацию после разделения потока в узком сечении трубы.

В данном разделе проведем следующие шаги:

- установим численные значения известных параметров для течения;
- используем модель смеси жидкости и газа с эффектами кавитации;
- получить решение, используя отдельный решатель (segregated solver);
- проведем анализ полученных результатов.

Задача рассматривает кавитацию, вызываемую разделением течения из-за изменения диаметра трубы (трубка Вентури). Движение жидкости происходит за счёт перепада давления. Согласно замерам на гидравлическом стенде, явление кавитации наблюдается при давлении на входе 187534 Па , на выходе – 111016 Па . Возьмем те же значения для виртуального эксперимента и сравним результаты, полученные в ходе опыта.

2.1 Запуск ANSYS Fluent и загрузка модели

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

Пуск → Все программы → ANSYS 14.5 → Fluid Dynamics → Fluent 14.5.

В результате этого действия появится окно, изображенное на рисунке 1.15.

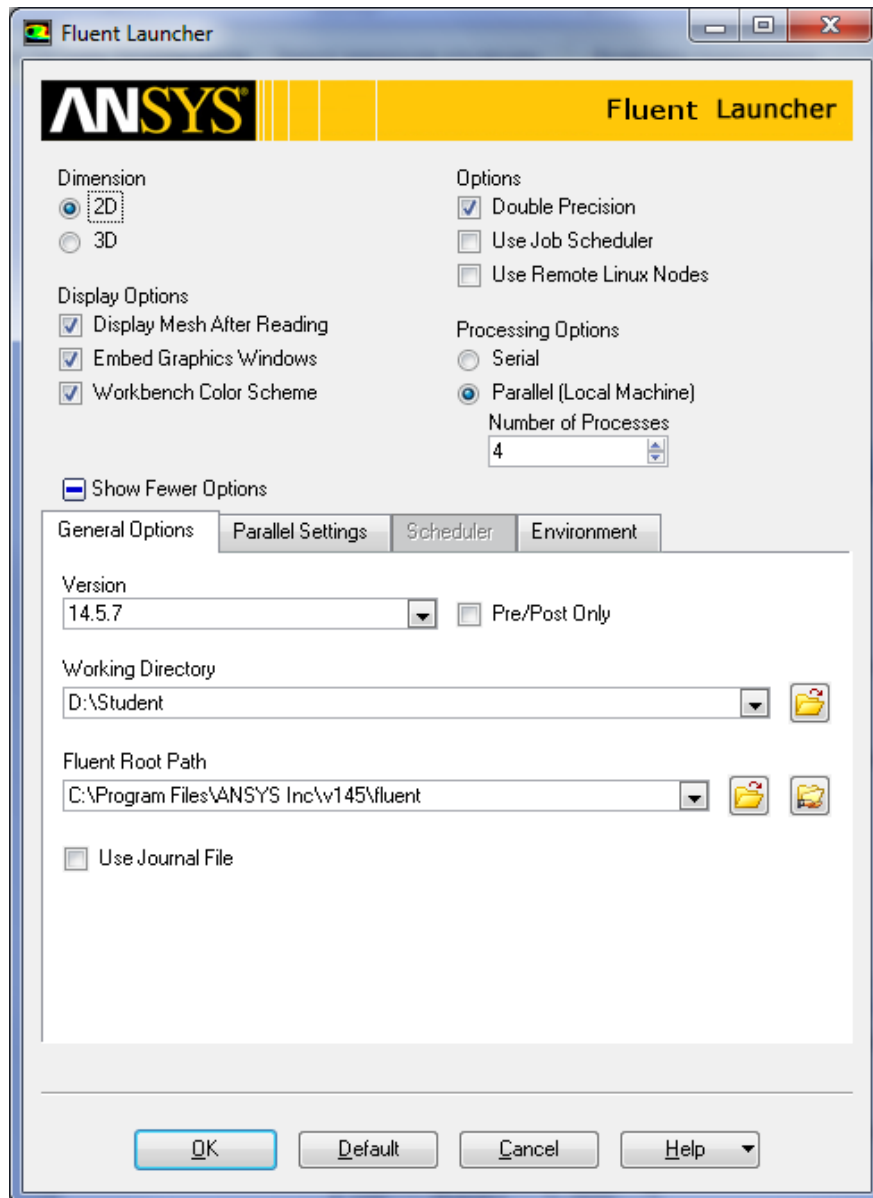


Рисунок 1.15 – Стартовое окно программы ANSYS Fluent

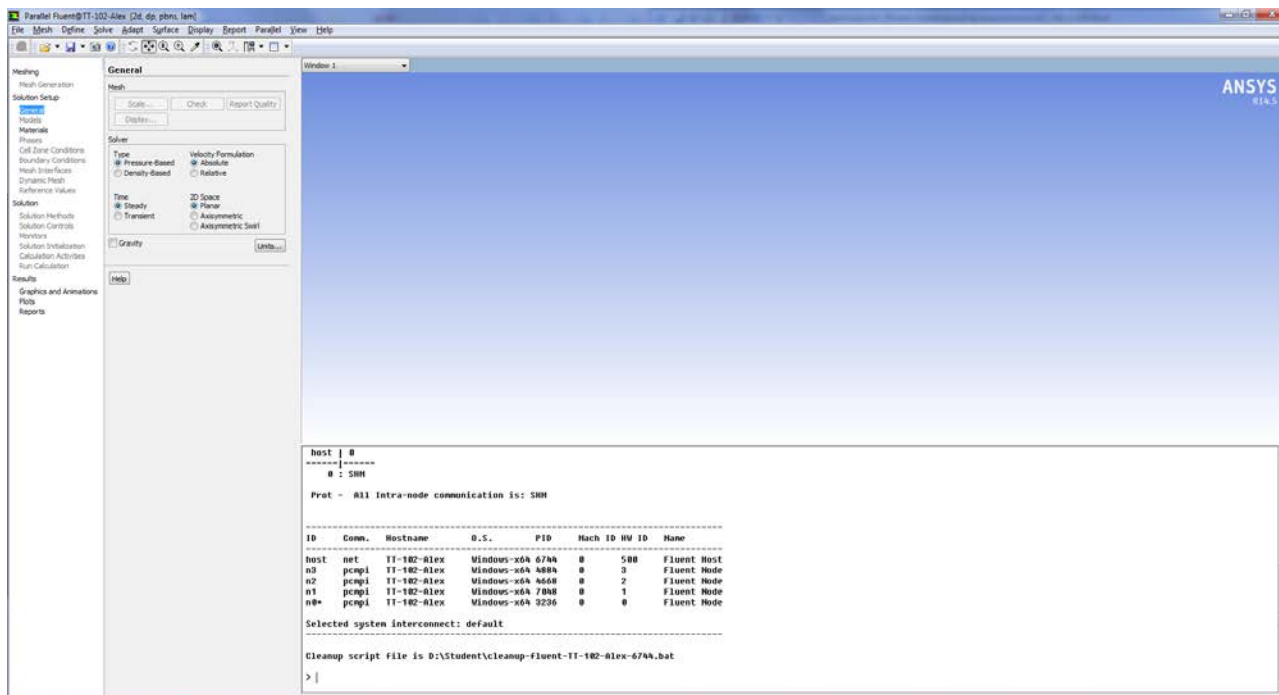


Рисунок 1.16 – Главное окно программы ANSYS Fluent

Загрузите файл сетки (*.msh):

File - Read – Mesh...

Как только ANSYS Fluent прочитает сетку он отобразит результат в консоли окна.

Проверьте сетку:

Mesh - Check

ANSYS Fluent обеспечит проверку сетки и выведет результаты в консоли окна. Особое внимание уделите отображаемому минимальному объёму. Убедитесь, что это положительное значение.

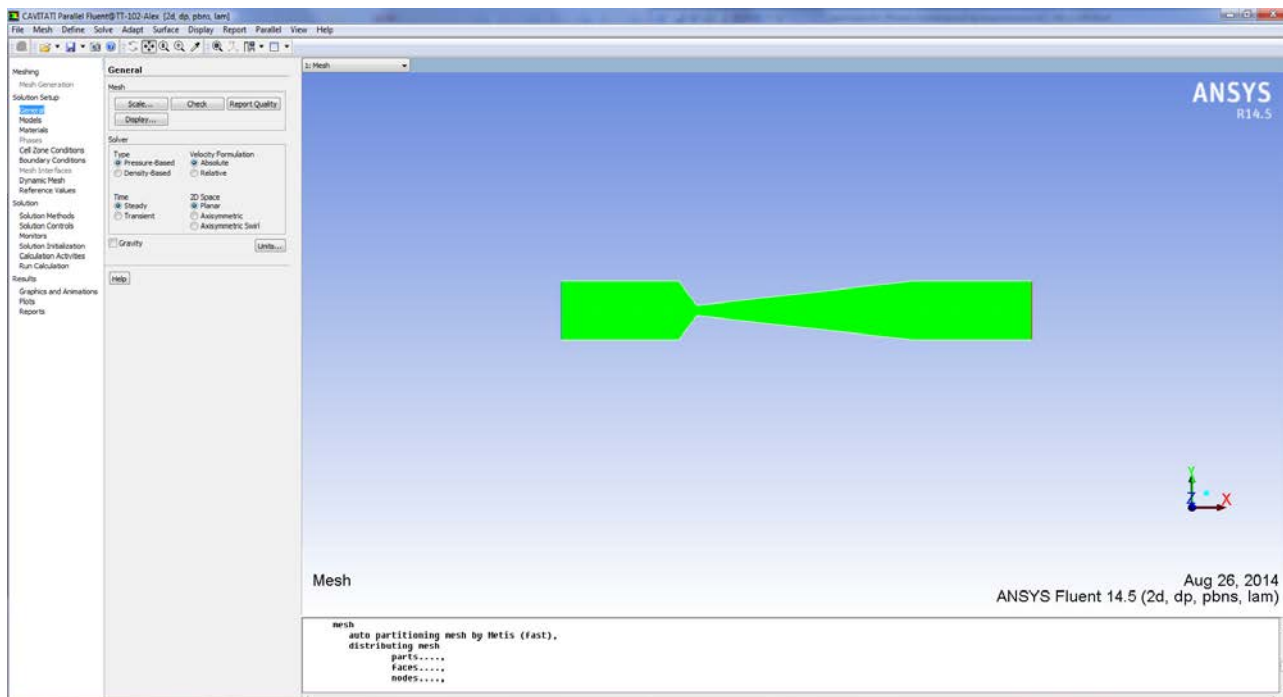


Рисунок 1.17 - Проверка сетки

Проведите пересчет единиц измерения, которые использовались при построении сетки:

Mesh - Scale

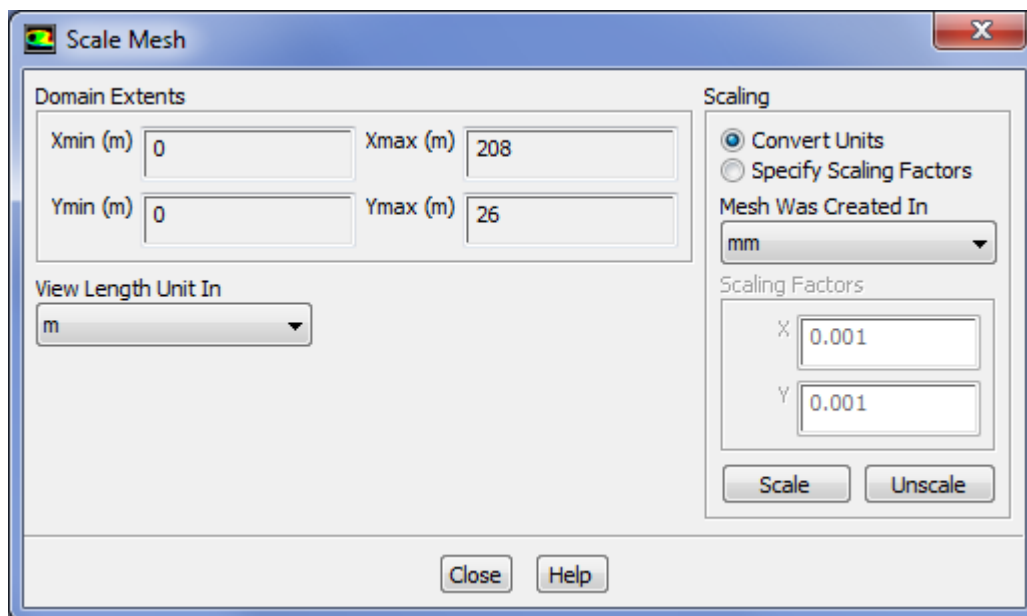


Рисунок 1.18 - Выбор единиц измерения в расчете

Так как модель создавалась с миллиметровой сеткой, то выберите «мм» и подтвердите выбор нажатием кнопки «Scale».

Подготовка модели. Установка параметров решателя:

В левой колонке окна ANSYS Fluent необходимо кликнуть на General и задать параметры как на рисунке 1.19.

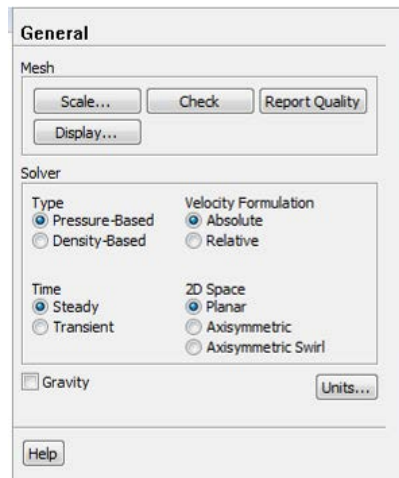


Рисунок 1.19 - Свойства решателя

Замечание: для точного моделирования образования пузырьков пара их роста, распада и обратного перехода в воду необходимо применять нестационарный расчёт. При таком допущении может наблюдаться картина кавитации, несколько отличающаяся от реальной.

Включите многофазную модель с эффектами кавитации:

Define - Models – Multiphase...

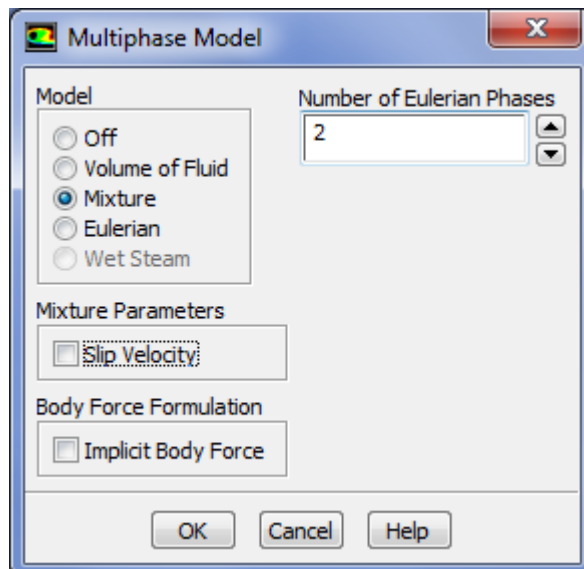


Рисунок 1.20 - Задание многофазности

Выберите Mixture (Смесь) в качестве Model. Панель расширится. Под

надписью Mixture Parameters (Параметры смеси) отключите опцию Slip Velocity (Скорость скольжения).

Поскольку нет значительного различия между скоростями фаз, нет необходимости расчёта уравнения скорости скольжения (slip velocity equation).

Включите стандартную k-ε модель турбулентности со стандартными стеночными функциями (standard wall functions):

Define - Models – Viscous...

Выберите модель k-ε вместо ламинарной (рисунок 1.21). Оставьте выбранное по умолчанию «Standard» под надписью «k-epsilon Model» и «Standard Wall Functions» (Стандартные стеночные функции) под надписью «Near-Wall Treatment» (Пристеночный анализ).

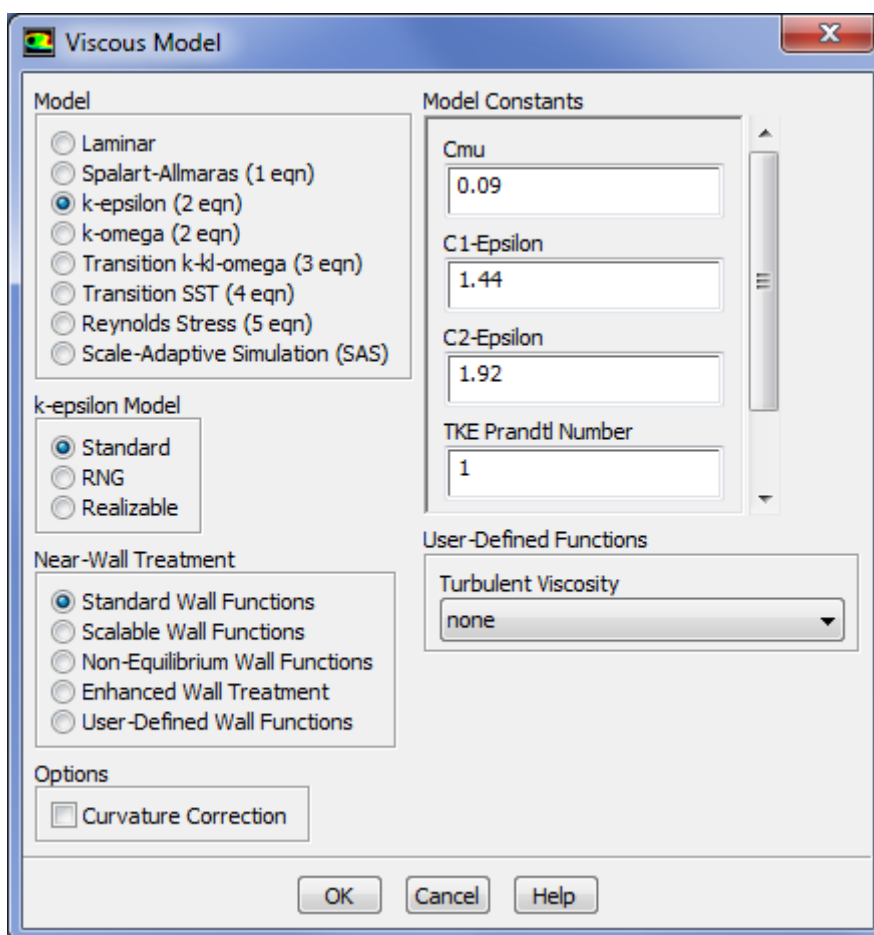


Рисунок 1.21 - Выбор k-ε в качестве модели турбулентности

Выберите из базы данных ANSYS FLUENT материалы для двух фаз: воды и водяного пара:

Define – Materials...

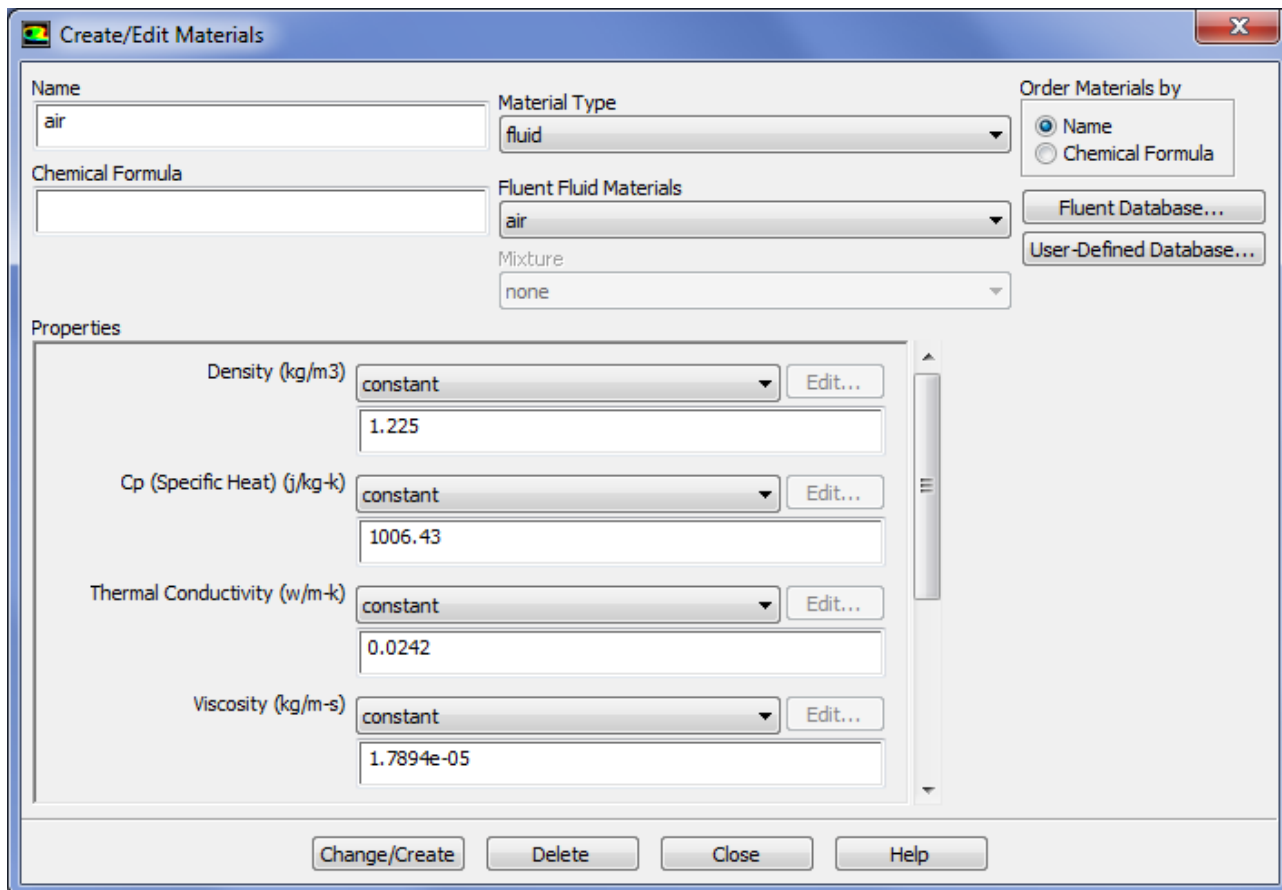


Рисунок 1.22 - Свойства материалов

Войдите в базу данных, нажав кнопку «ANSYS Fluent database...».

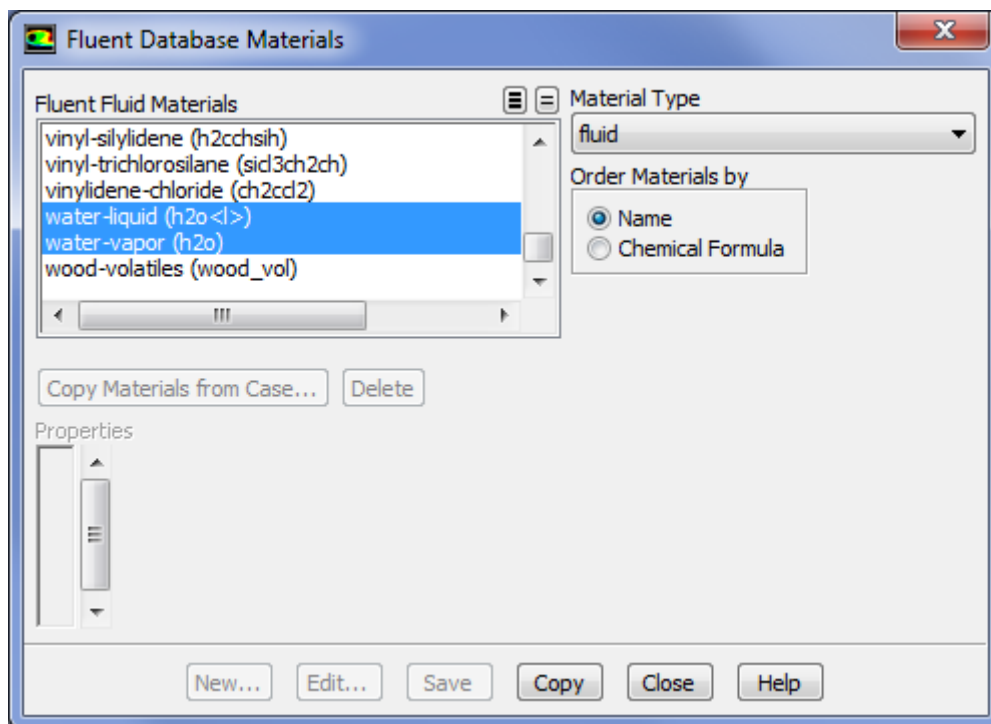


Рисунок 1.23 - База материалов ANSYS FLUENT

В списке «Fluid Materials» (Жидкие материалы) выберите «water-liquid (h2o<1>)» (вода-жидкость) и «water-vapor (h2o)» (вода-пар). Нажмите «Сору» для копирования информации по выбранным материалам в модель. Закройте панель «Database Materials». Значение плотности «Density» и вязкости «Viscosity» для пара и воды брать из программы.

Нажмите «Change/Create» (Изменить/Создать).

Определение фаз воды и водяного пара:

Define - Phases...

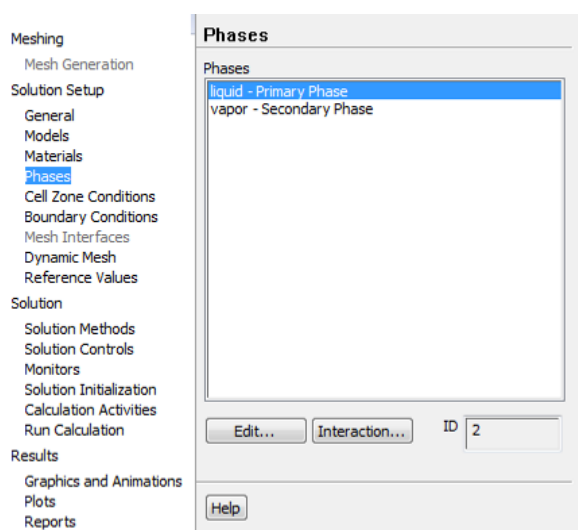


Рисунок 1.24 - Параметры фаз потока

Для двухфазного течения выбираем первую и вторую фазы и вещества, которые им соответствуют. Определение параметров производится через кнопку «Edit...» Установите воду в качестве первой фазы. Выберите phase-1 и нажмите кнопку «Edit...» (Редактировать...). В панели Primary Phase (Первая фаза) введите слово в качестве названия первой фазы («Name») «liquid». Выберите воду из списка «Phase Material» (Материал фазы). Установите водяной пар в качестве второй фазы.

Для задания кавитационного режима модели «Singhal-et-al cavitation model» в текстовом поле окна ANSYS Fluent необходимо прописать «solve/set/expert» (рисунок 1.25)

```

/solve/set> expert
Linearized Mass Transfer UDF? [no] no
use Singhal-et-al cavitation model? [yes] yes
Save cell residuals for post-processing? [no] no
Keep temporary solver memory from being freed? [no] no
Allow selection of all applicable discretization schemes? [no] no

```

Рисунок 1.25 - Включение модели кавитационного режима течения

На вкладке «Mass» меню, вызываемого через кнопку «Interaction» (рисунок 1.26) будут доступны настройки модели кавитации.

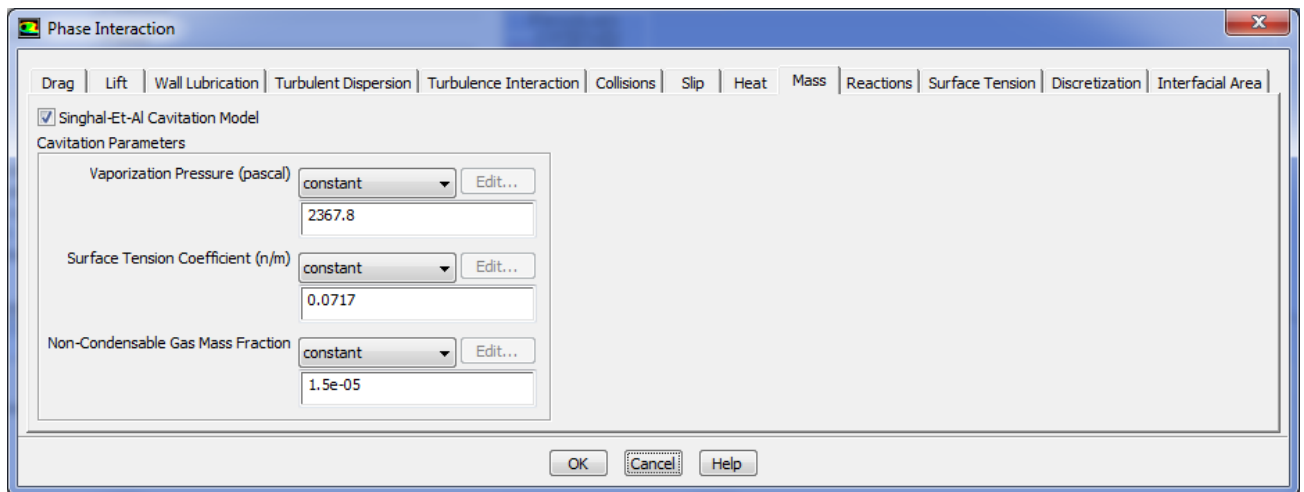


Рисунок 1.26 - Установка первой фазы

Объёмная доля водяного пара в смеси «Volume Fraction» на начало расчета должна быть равна нулю.

Параметры, характеризующие кавитацию:

«Vaporization Pressure» (Давление испарения) – в значительной степени зависит от температуры, значение по умолчанию - давление испарения воды при температуре 300 К; параметр газа «Non Condensable Gas» (Неконденсируемый газ), массовое содержание неконденсируемого газа в рабочей жидкости. $1,5 \cdot 10^{-5}$ (15 ppm - частей на миллион) - это типичное содержание растворенного воздуха в воде; «Surface Tension Coefficient» - поверхностное натяжение жидкости. Поверхностное натяжение жидкости также в значительной степени зависит от температуры.

Установите точку отсчета рабочего давления - 0 Па. По умолчанию в поле введено нормальное атмосферное давление 101325Па. Чтобы в результатах расчета избежать появления отрицательных значений давления, сдвинем точку

отсчета на 0:

Define - Operating Conditions...

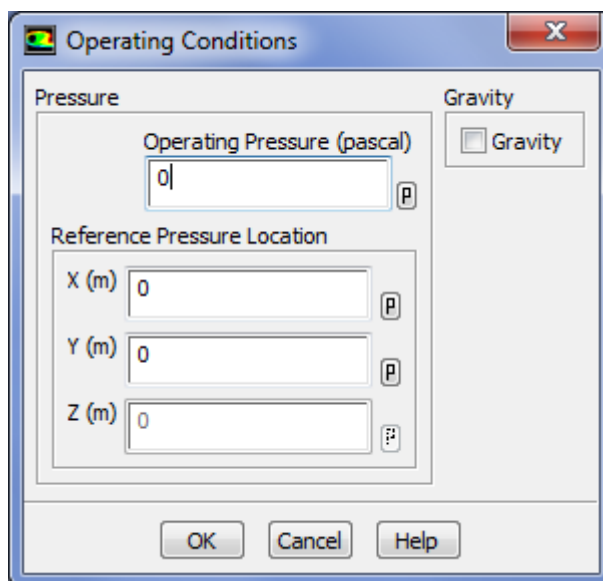


Рисунок 1.27 - Точка отсчета давления и влияние гравитации на процесс течения

Граничные условия.

Установите параметры для входа (inlet).

Для многофазной модели смеси необходимо устанавливать условия для смеси (т.е. условия, применимые для всех фаз) и условия, специфичные для первой и второй фазы. В условиях кавитации нужны только условия для смеси и второй фазы.

Установите параметры для смеси:

Define - Boundary Conditions...

В панели «Boundary Conditions» (Граничные условия) для зоны «inlet» оставьте выбранное по умолчанию «mixture» (смесь) в списке Phase (Фазы) и нажмите «Set...». В новом окне введите: 187534 Па для Gauge Total Pressure (Полное давление на внешней грани первого слоя элементов) и несколько меньшее давление – 187531 Па – для Supersonic/Initial Gauge Pressure (Сверхзвуковое/Начальное избыточное давление на входе в трубку на внутренней грани первого слоя элементов). Перепад давлений инициирует начальную скорость течения жидкости в трубке 0,8 м/с (соответствует расчетам).

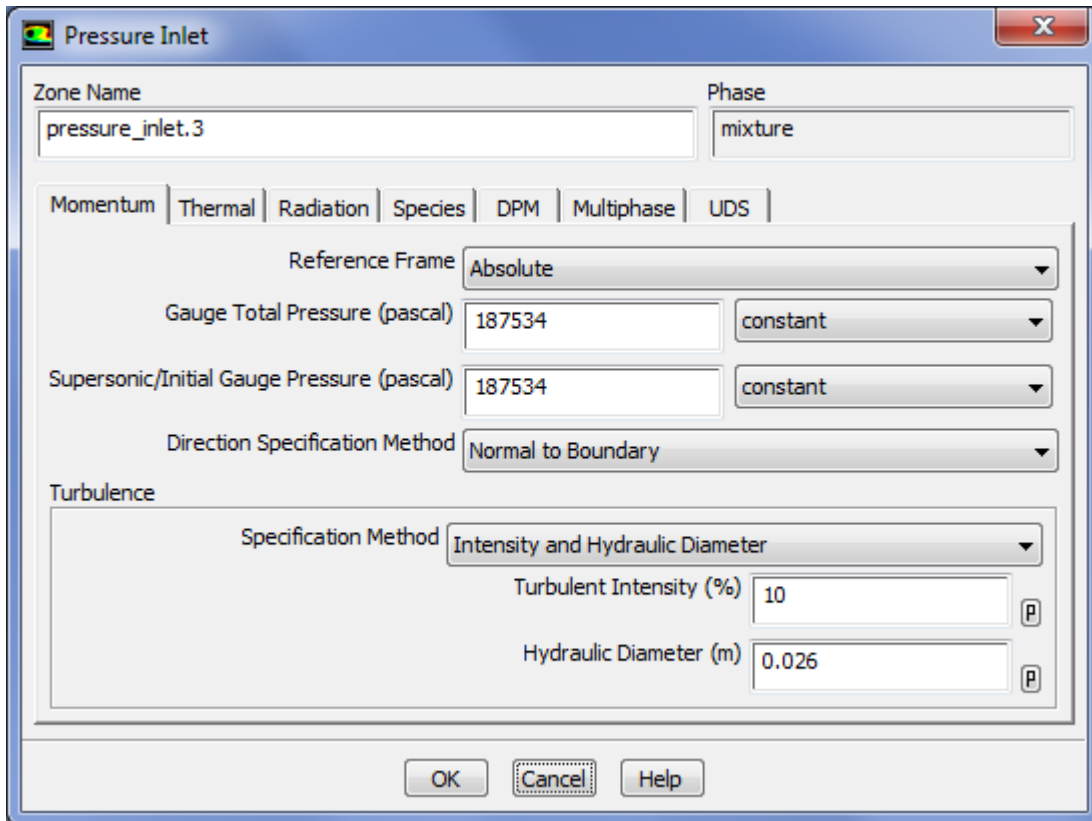


Рисунок 1.28 - Установка значений давления на входе и модели турбулентности

В списке «Direction Specification Method» (Метод задания направления) оставьте выбранное по умолчанию «Normal to Boundary» (Нормальное к границе). В списке «Turbulence Specification Method» (Метод задания турбулентности) при известных диаметрах входа и выхода выберите «Intensity and Hydraulic Diameter». В этом случае нужно задать интенсивность турбулентности потока, который по умолчанию равен 10% и гидравлический диаметр 26 мм – сечение входа и выхода.

Установите граничные условия для давления на выходе (outlet).

Установка параметров для смеси на выходе из трубы производится аналогично зоне входа (рисунок 1.29).

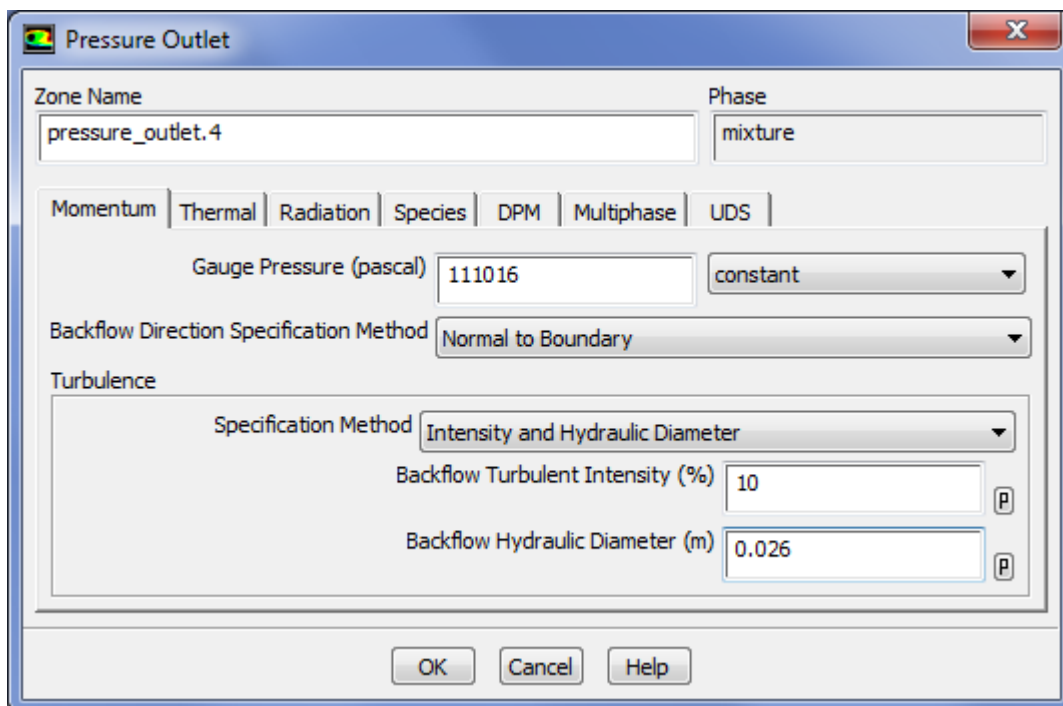


Рисунок 1.29 - Установка значения давления на выходе и модели турбулентности

Под надписью «Gauge Pressure» (Избыточное давление) введите 111016 Па. Остальные параметры аналогично зоне «inlet».

Проверим объёмное содержание второй фазы.

В панели «Boundary Conditions» (Граничные условия) выберите vapor (пар) из списка «Phase» (Фазы) и нажмите «Set...». Оставьте по умолчанию «Volume Fraction» (Объёмное содержание) равным 0.

Установите параметры решения:

Solve - Methods...

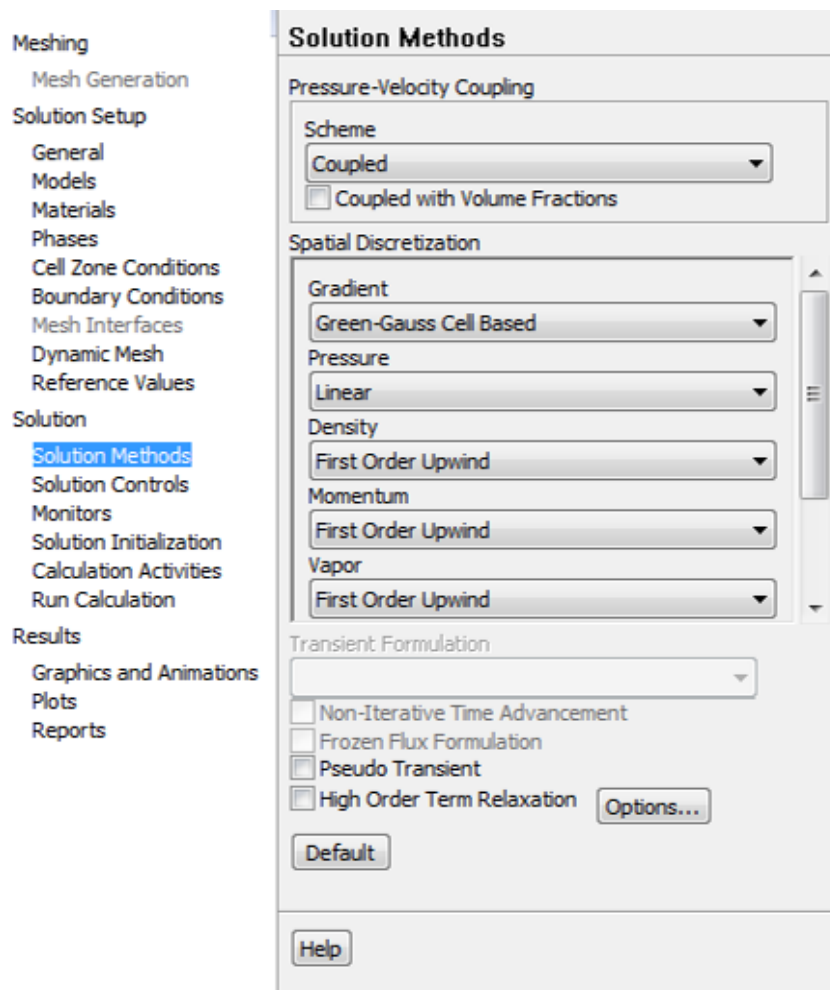


Рисунок 1.30 - Параметры решателя

Solve - Controls...

Установите следующие значения подрелаксационных факторов «Under-Relaxation Factor»:

«Turbulence Kinetic Energy» (Кинетическая энергия турбулентности), «Turbulence Dissipation Rate» (Степень турбулентной диссипации), и «Turbulent Viscosity» (Турбулентная вязкость) – 0,5.

В «Explicit Relaxation Factors»:

для «Pressure» (Давление) – 0,4;

для «Momentum» (Импульс) – 0,4.

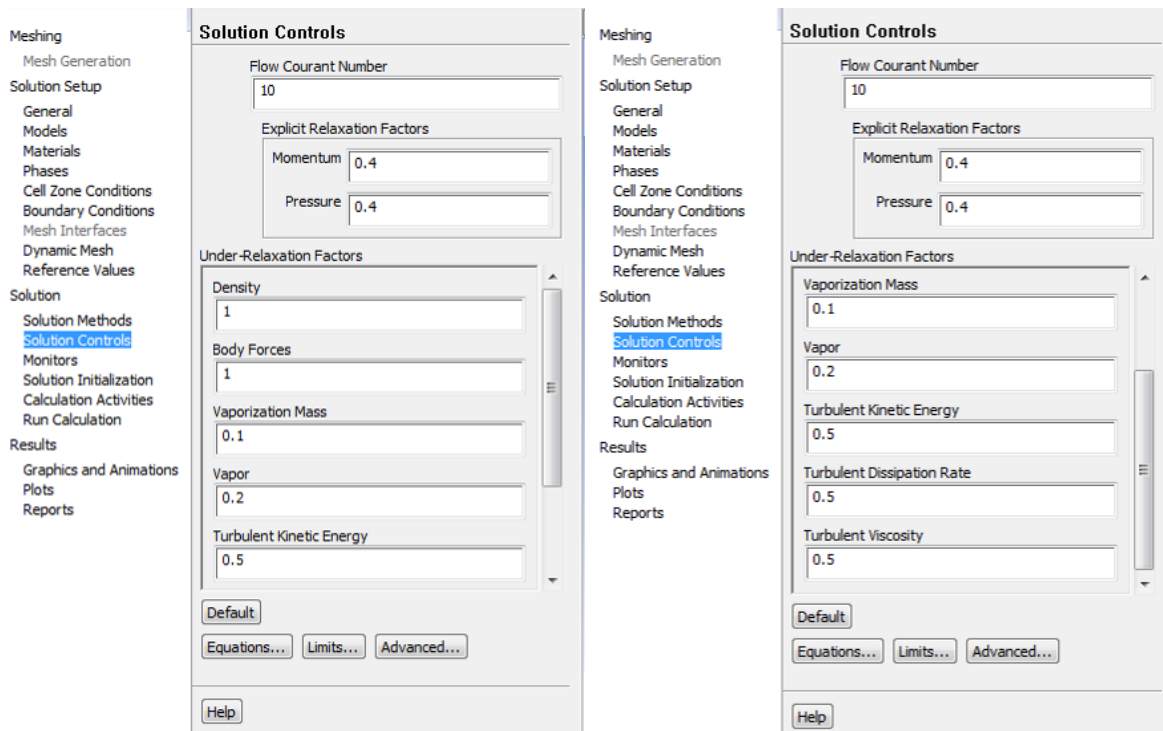


Рисунок 1.31 - Специальные параметры решения

Для «Vaporization Mass» (Масса испарения) советуют использовать подрелаксационный фактор равный 0,1.

Под надписью «Discretization» (Дискретизация) выберите «Linear» (Линейная) в списке «Pressure» (Давление) и «Coupled» в списке «Pressure-Velocity Coupling» (Расчёт Давление-Скорость), «Courant Number» следует изменить на 10.

Отображение невязки при решении:

Solve – Monitors

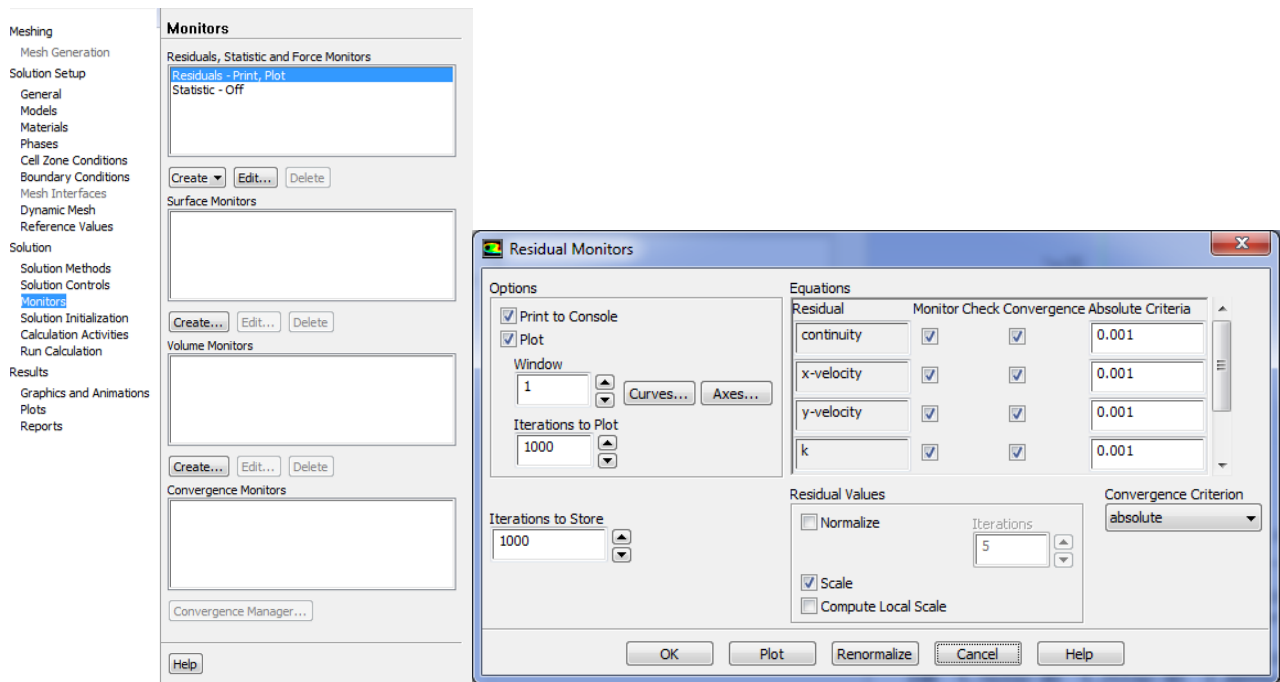


Рисунок 1.32 - Параметры сходимости решения

Отметьте флажком «Plot» (Отображать) под надписью Options (Опции) и нажмите ОК.

Определение решения от давления на входе:

Solve - Initialization...

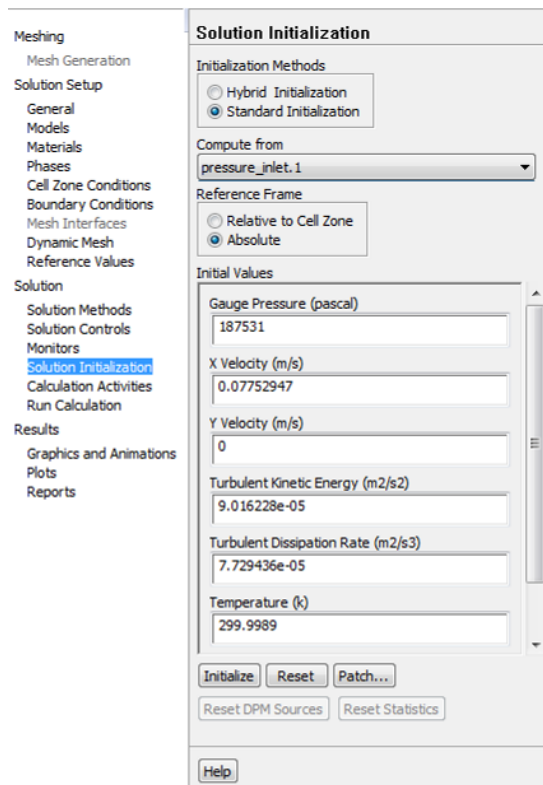


Рисунок 1.33 - Инициализация начального решения

Выберите «pressure_inlet» в списке «Compute From» (Решать от).

В разделе «Reference Frame» (Система отчёта) выберите «Absolute (Абсолютная)».

Нажмите «Initialize» для определения решения.

Сохраните файл настроек (*.cas):

File - Write - Case...

Начните расчёт требуя 2000 итераций:

Solve – Run calculation...

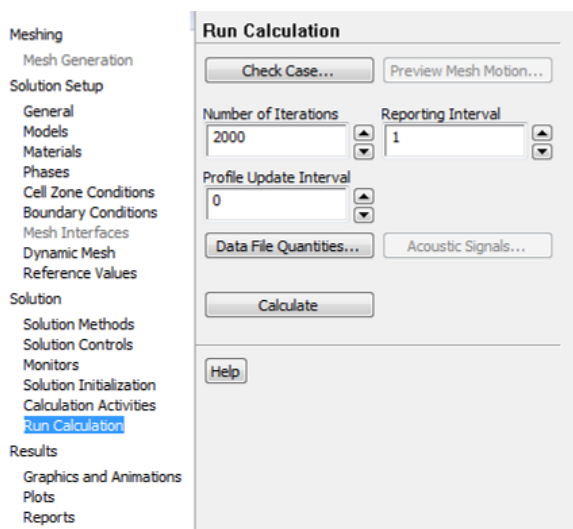


Рисунок 1.34 - Задание количества итераций решения

Для начала расчета нажмите кнопку «Calculate». С помощью этого окна процесс решения можно прервать или продолжить с определенного шага.

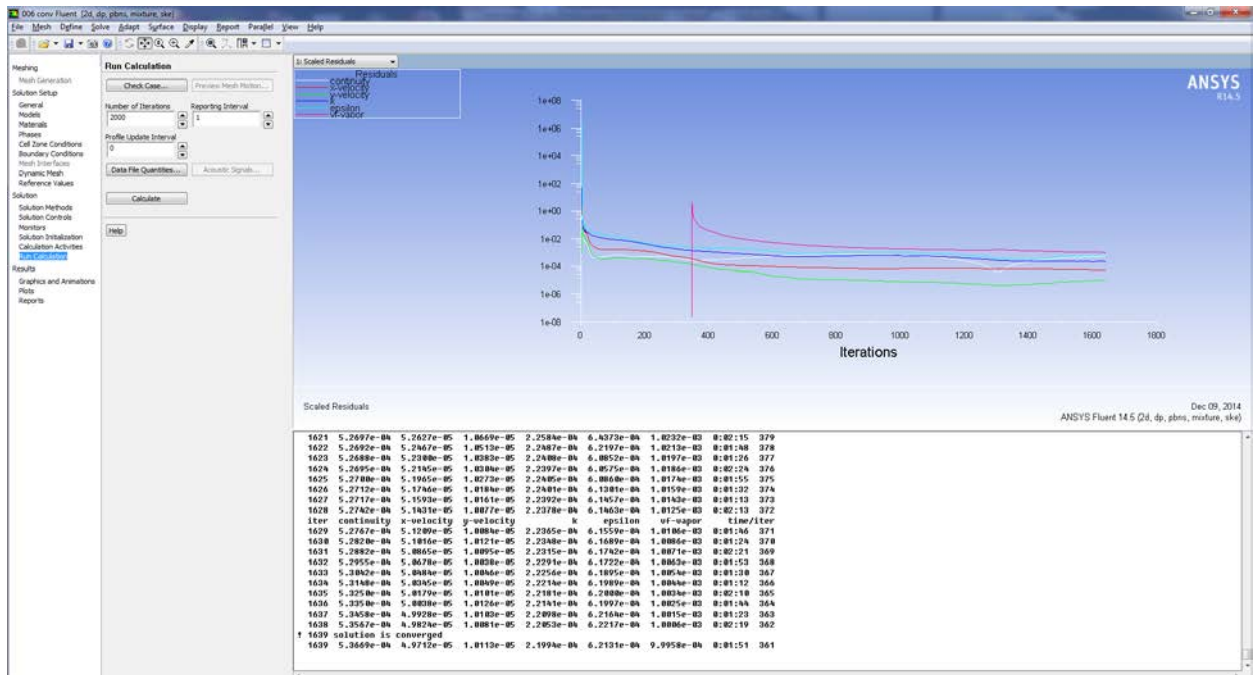


Рисунок 1.35 - Процесс решения задачи и отображение сходимости решения в консоли

Сохраните решение в файл данных (*.dat):

File - Write - Data...

Последующая обработка и вывод результатов на экран:

Display – Graphics and Animations...

Выберите «Velocity...» (Скорость...) и «Velocity Magnitude» (Значение скорости) в раскрывающихся списках «Contours Of» (Распределение).

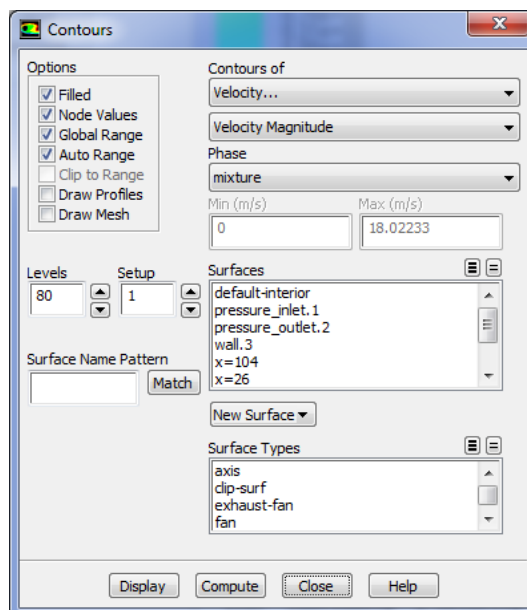


Рисунок 1.36 - Окно управления результатами

В опциях отметьте «Filled» (Заливка). Уровень градиента цветов «Levels» установите 80.

При необходимости пересчет численных значений проводится нажатием кнопки «Compute» (Подсчитать).

Нажмите Display (Отображение). Распределение скоростей показывается цветом. Численные значения соответствуют определенным оттенкам шкалы слева. При нажатии правой кнопкой мыши на объект на шкале значений высвечивается диапазон, в котором находится значение параметра в указанном элементе модели (рисунок 1.37-1.44).

Аналогичным образом выведем на экран распределения других параметров потока: давление, плотность и энергетические характеристики.

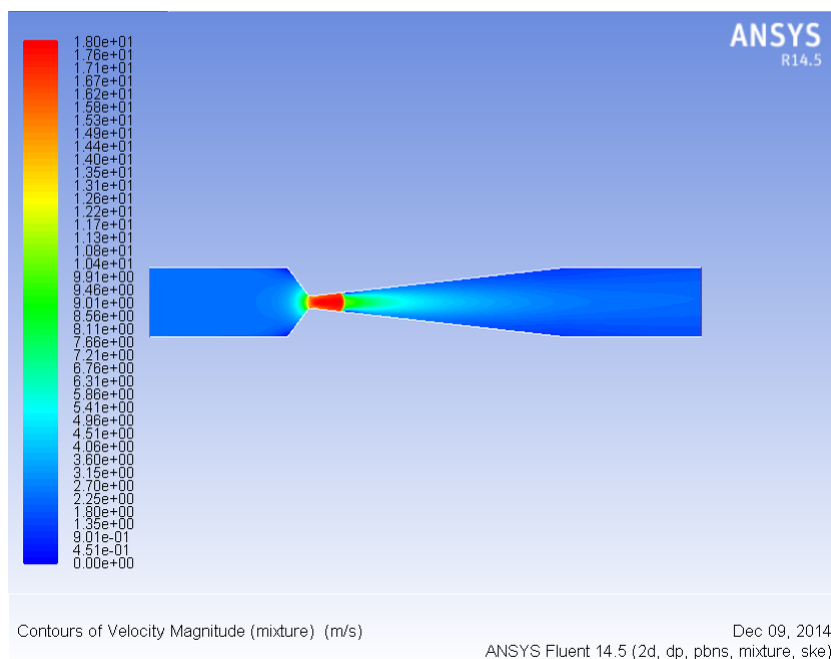


Рисунок 1.37 - Поля распределения численного значения вектора скорости потока

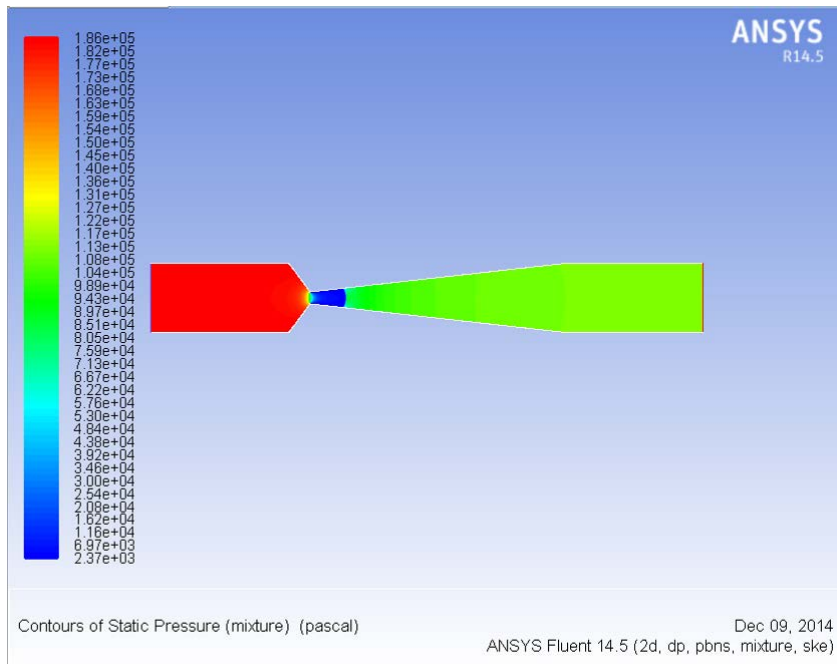


Рисунок - 1.38 - Поля распределения статического давления

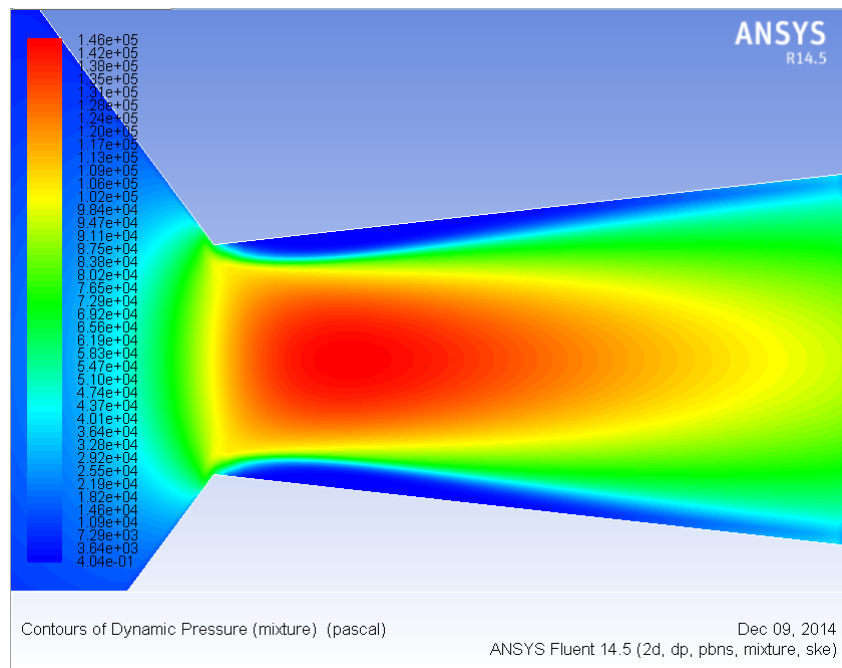


Рисунок 1.39 - Поля распределения динамического давления

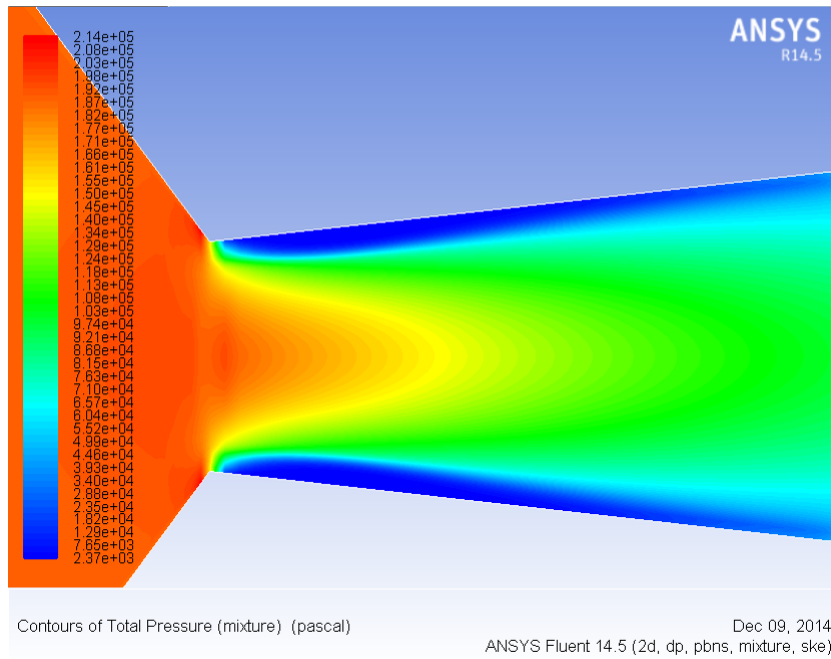


Рисунок 1.40 - Поля распределения полного давления

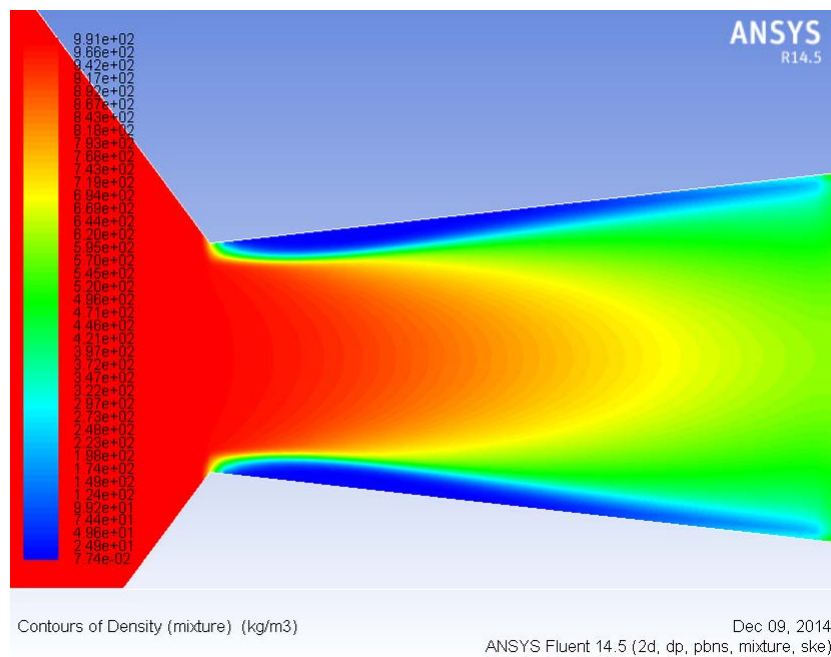


Рисунок 1.41 - Поля распределения плотности смеси

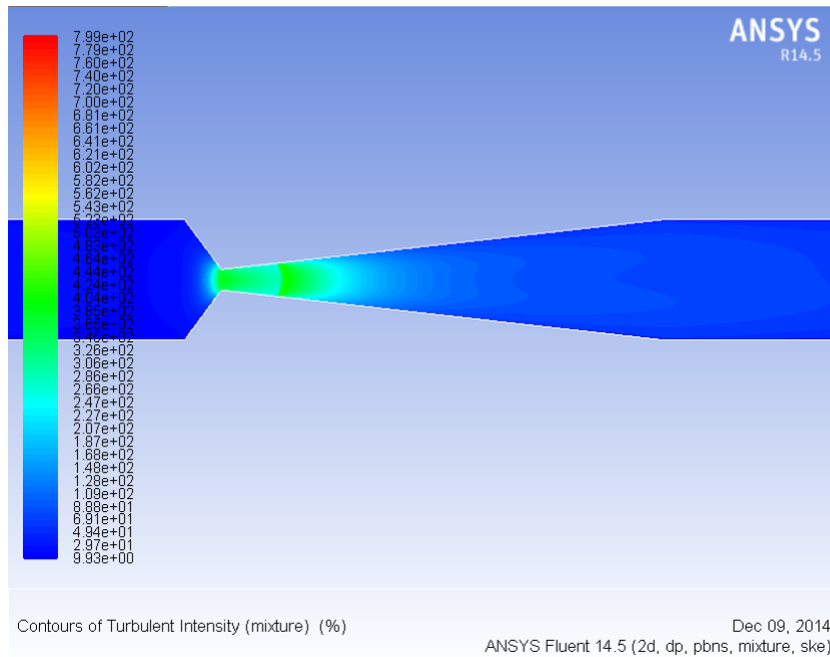


Рисунок 1.42 - Поля распределения значений интенсивности турбулентности

По полям отклонения массового расхода воды от теоретического значения проверяется точность результатов расчета. Программа позволяет также показывать распределение энергетических параметров по каналу.

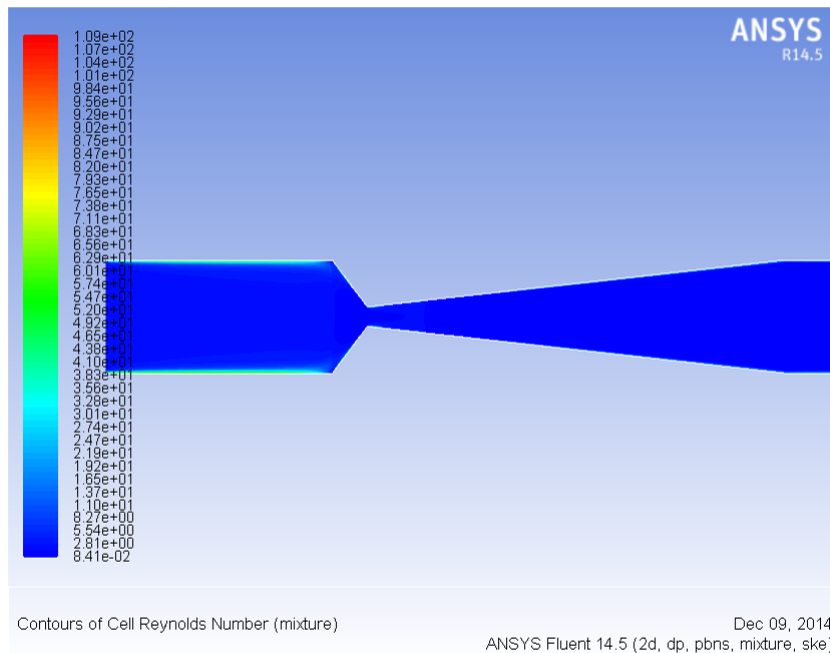


Рисунок 1.43 - Поля распределения числа Рейнольдса

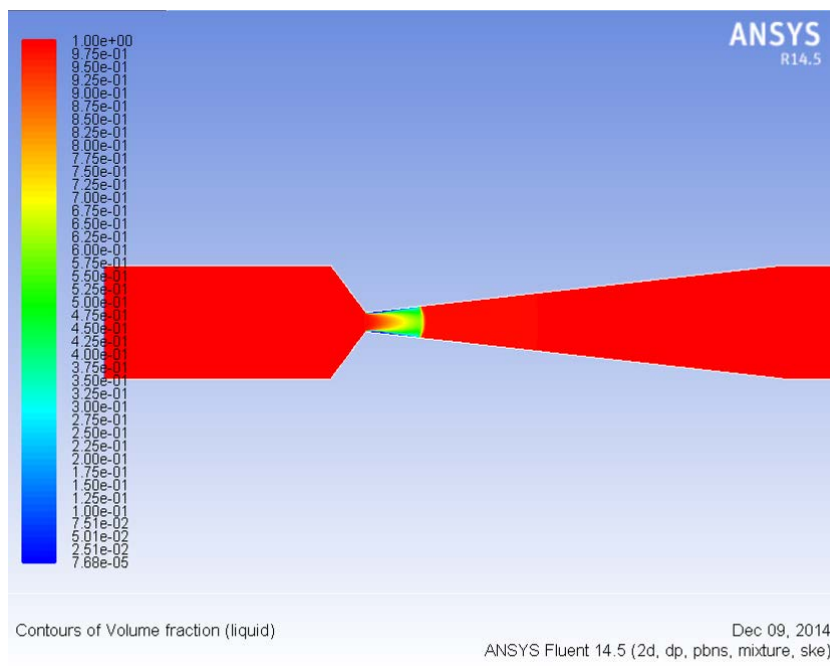


Рисунок 1.44 - Поля распределения фаз по объему

2.2 Представление результатов в виде эюр

По сечениям 1-6 (см. рис. 1.45) построены эюры параметров потока; по длине трубки – изменение этих параметров.

Сечения (начало координат на оси координат в начале сужения трубки):

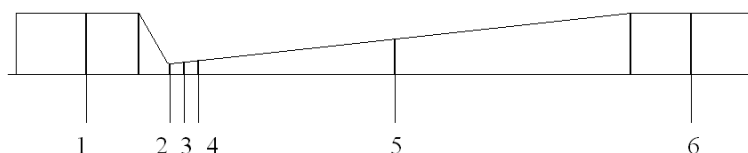


Рисунок 1.45 - Расположение контрольных сечений

№ 1 – 26 мм;

№ 2 – 60 мм;

№ 3 – 65 мм;

№ 4 – 70 мм;

№ 5 – 104 мм;

№ 6 – 180 мм.

2.3 Изменение параметров вдоль оси трубки

На рис. 1.48-1.55 изображены эпюры параметров потока по оси модели:

- давление,
- плотность,
- скорость,
- турбулентность,
- другие характеристики.

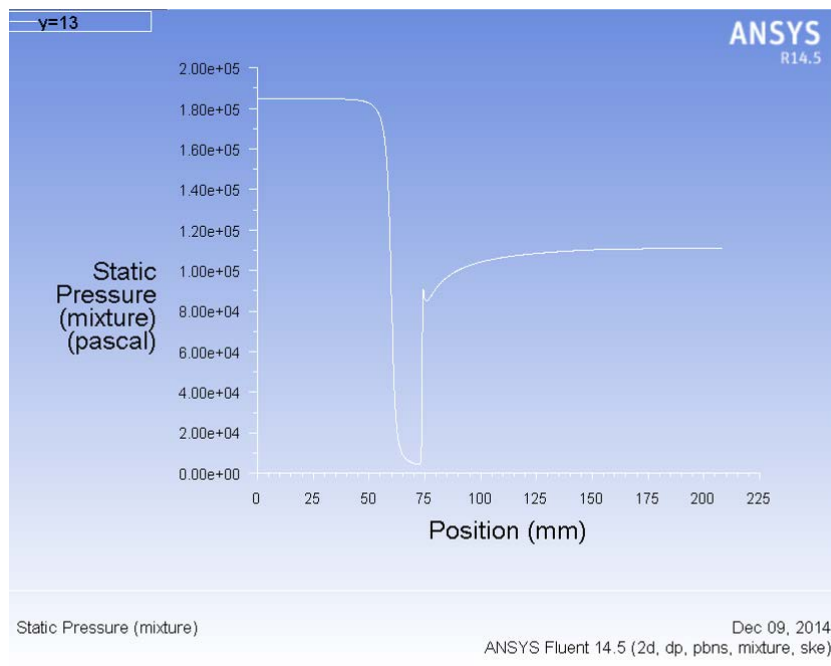


Рисунок 1.46 - Статическое давление

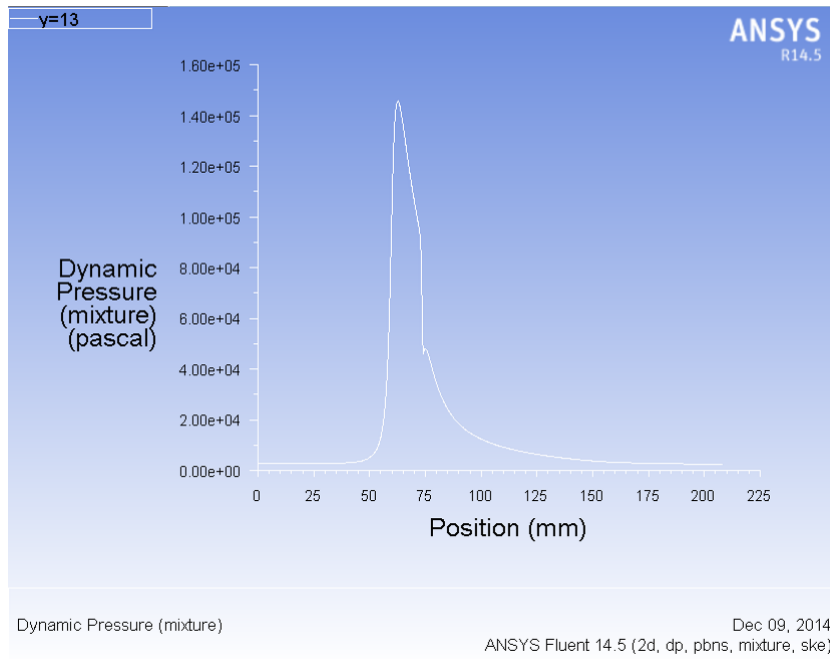


Рисунок 1.47 - Динамическое давление

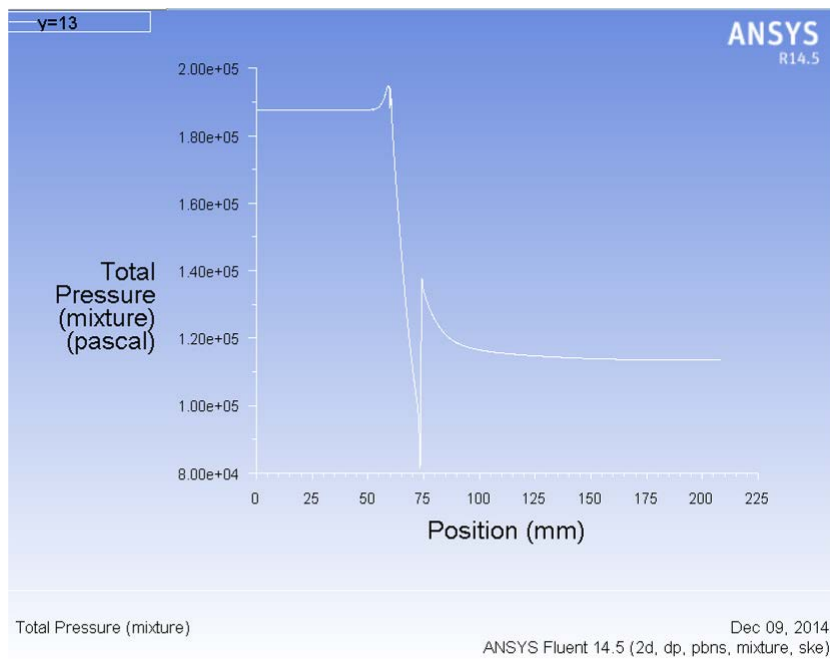


Рисунок 1.48 - Полное давление

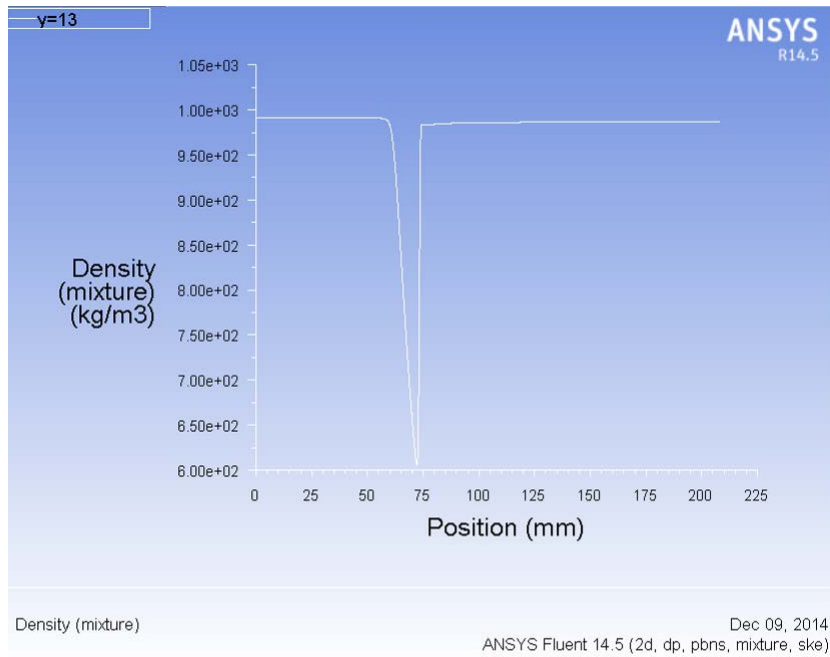


Рисунок 1.49 - Плотность смеси

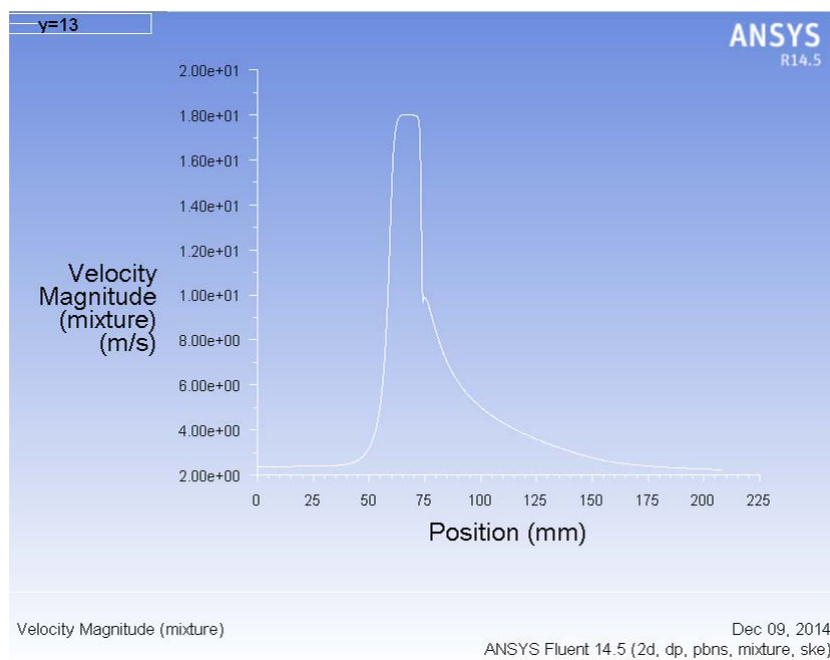


Рисунок 1.50 - Скорость

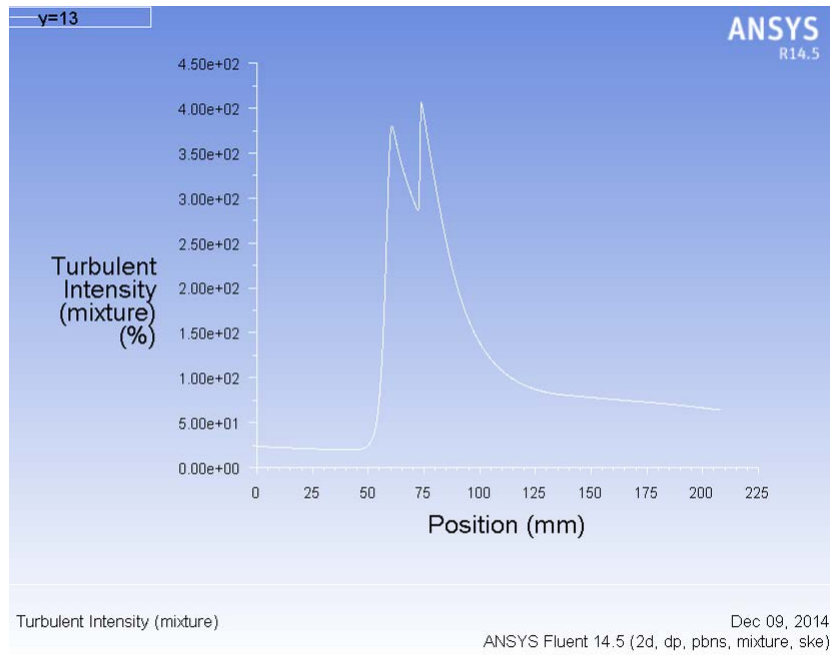


Рисунок 1.51 - Интенсивность турбулентности

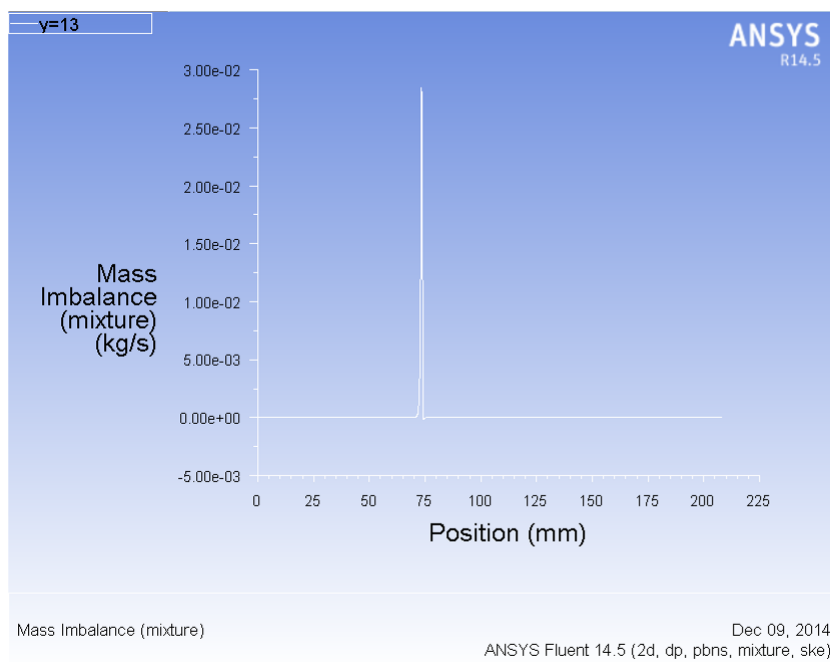


Рисунок 1.52 - Отклонение массового расхода от теоретического

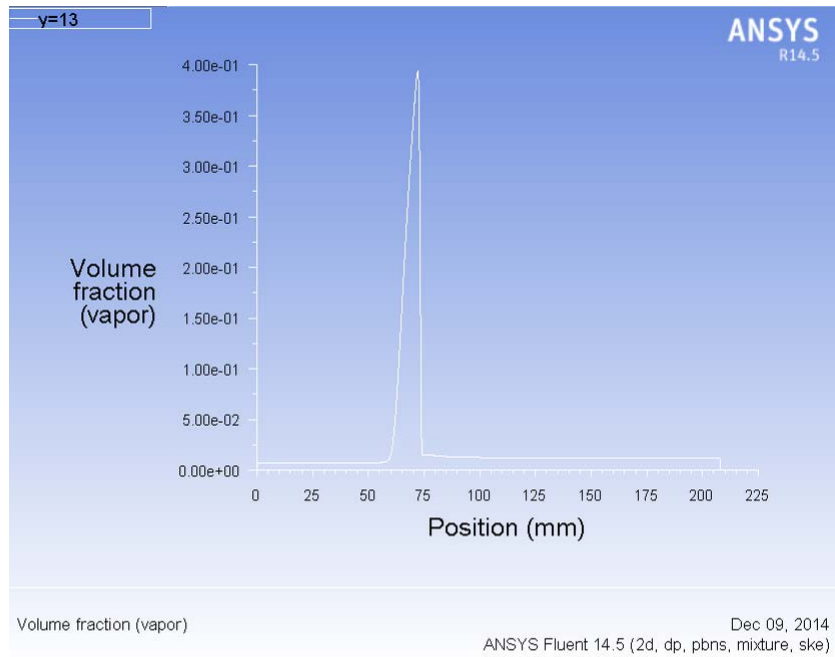


Рисунок 1.53 - Доля пара по объему смеси

2.4 Эпюры параметров потока по сечениям

1. Статическое давление

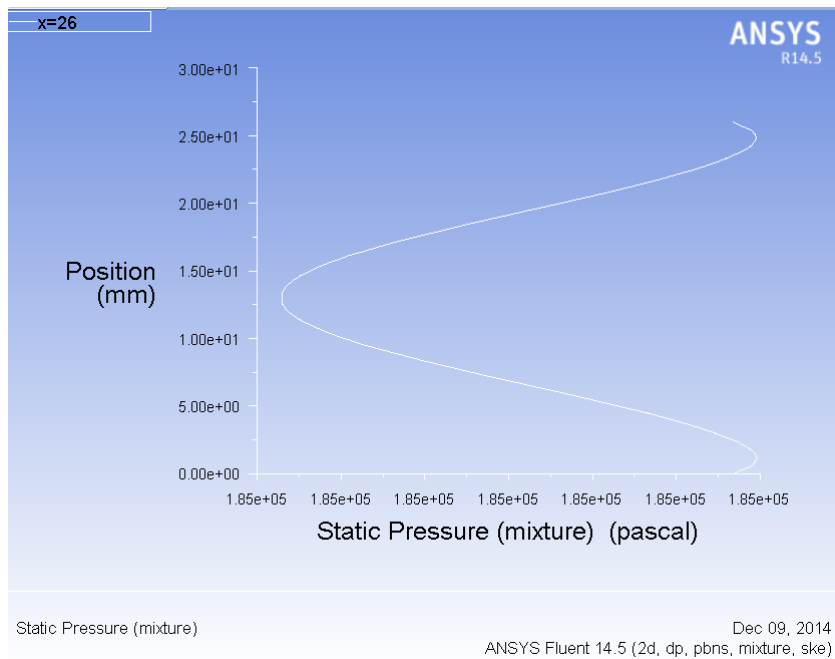


Рисунок 1.54 - Сечение № 1

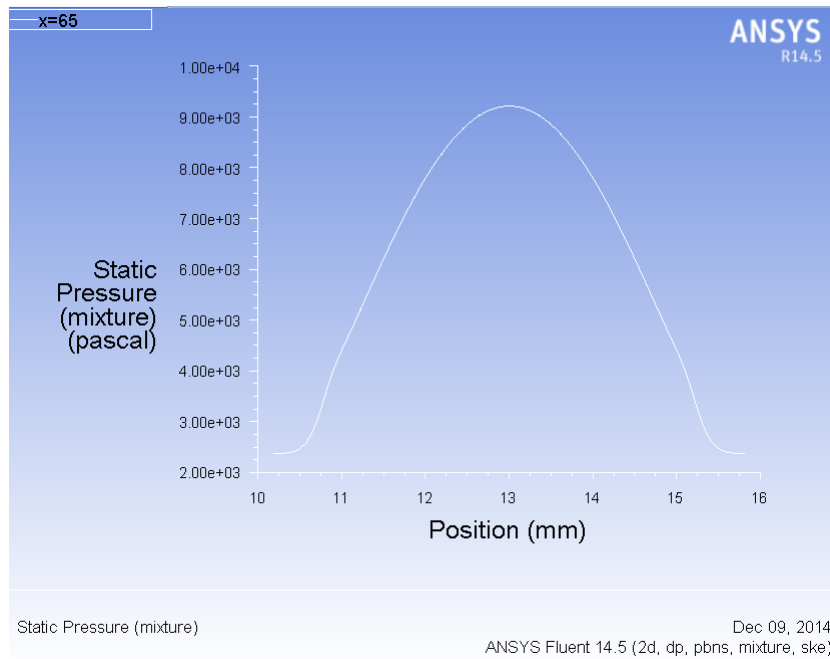


Рисунок 1.55 - Сечение № 3

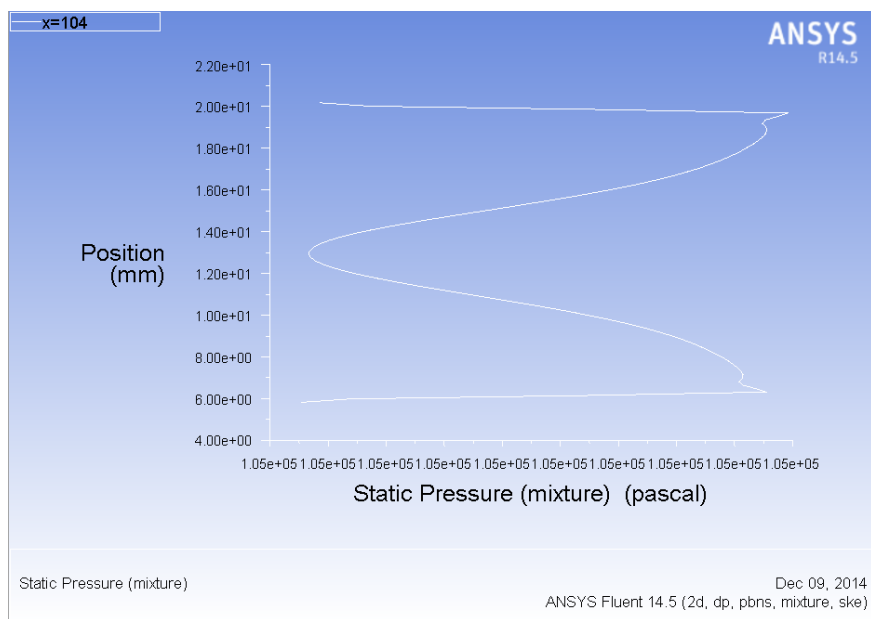


Рисунок 1.56 - Сечение № 5

2. Динамическое давление

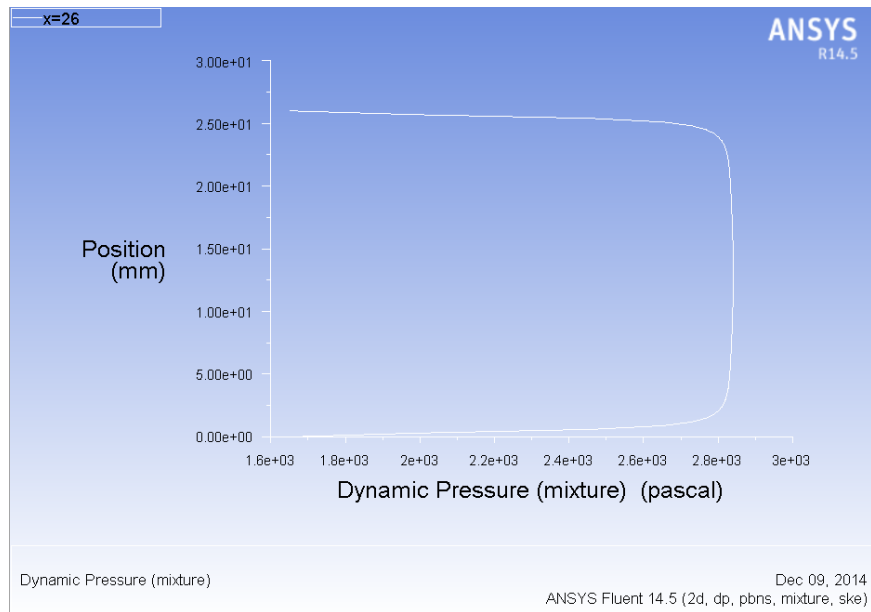


Рисунок 1.57 - Сечение № 1

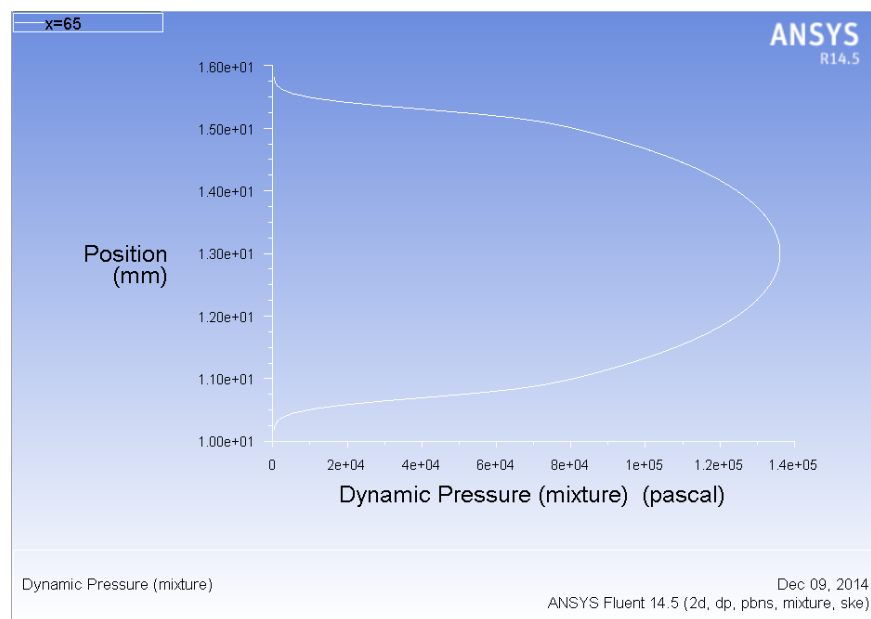


Рисунок 1.58 - Сечение № 3

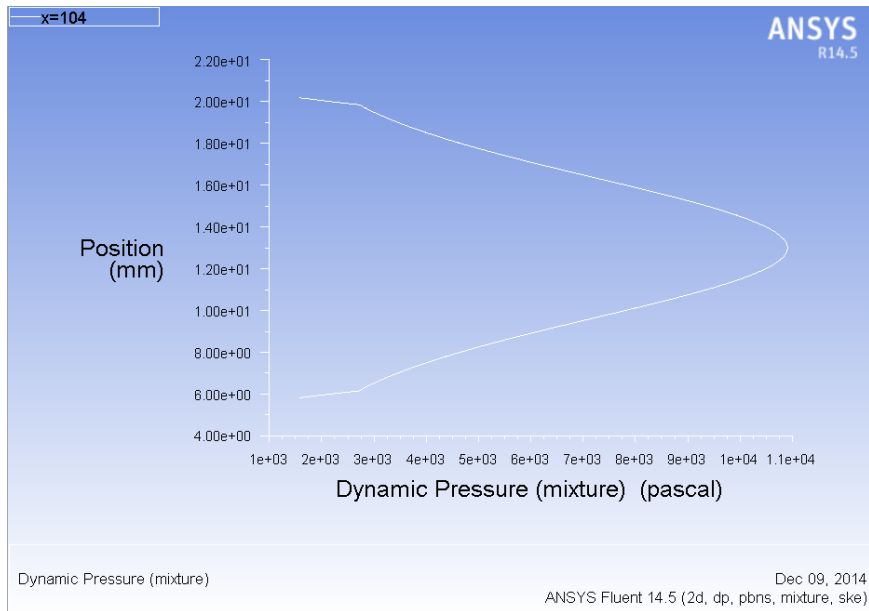


Рисунок 1.58 - Сечение № 5

3. Полное давление

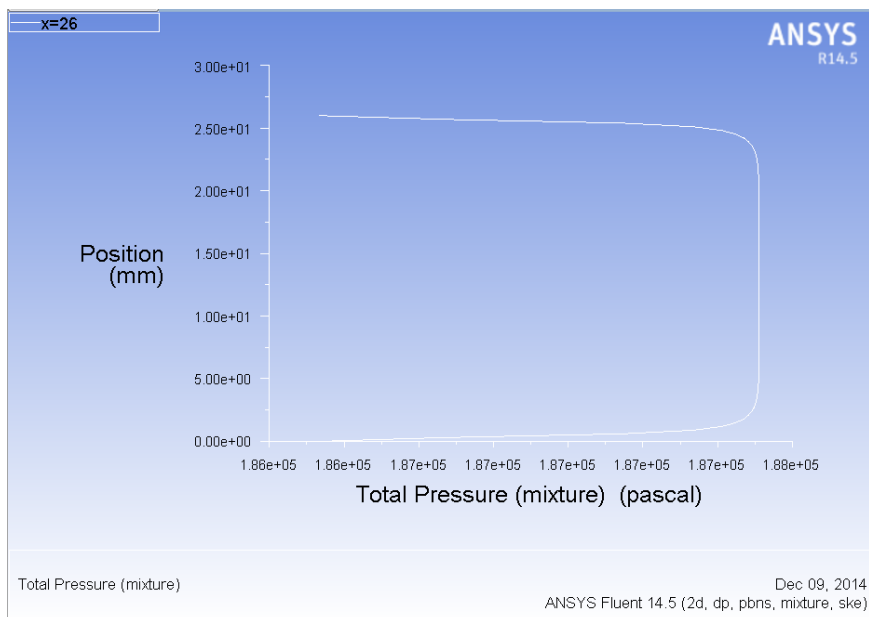


Рисунок 1.59 - Сечение № 1

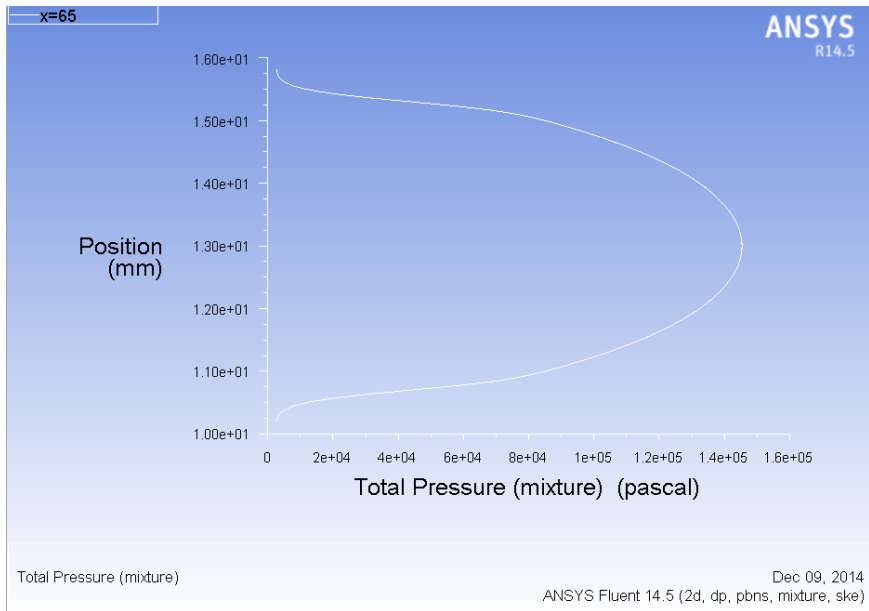


Рисунок 1.60 - Сечение № 3

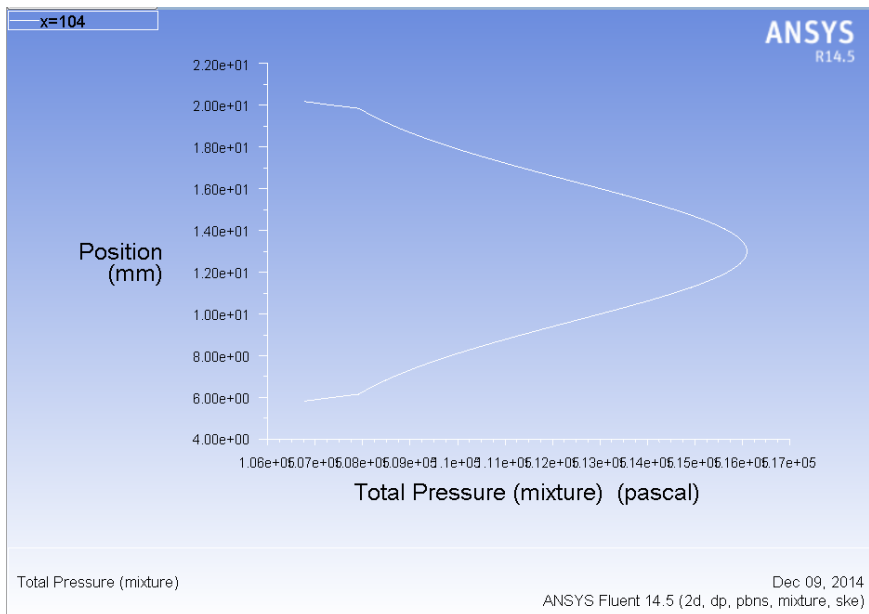


Рисунок 1.61 - Сечение № 5

4. Скорость потока

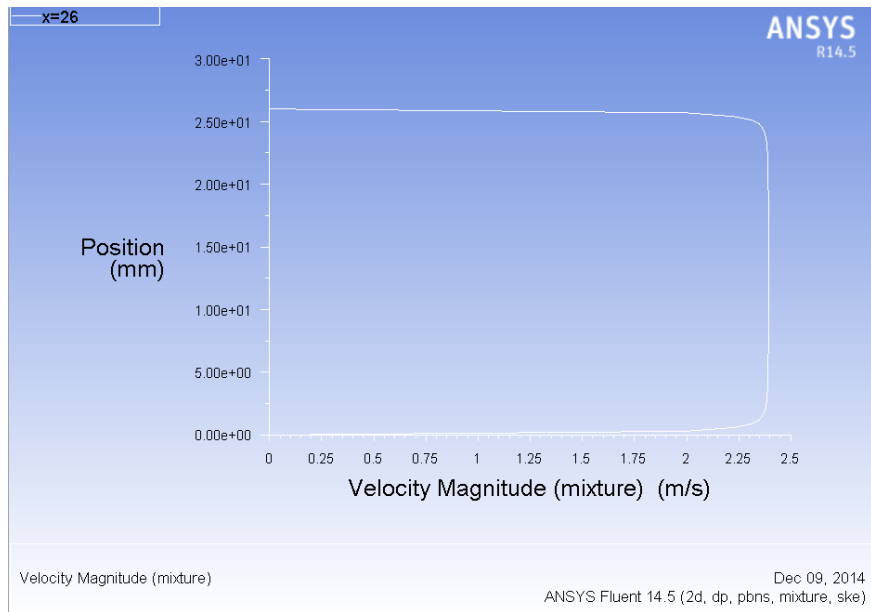


Рисунок 1.62 - Сечение № 1

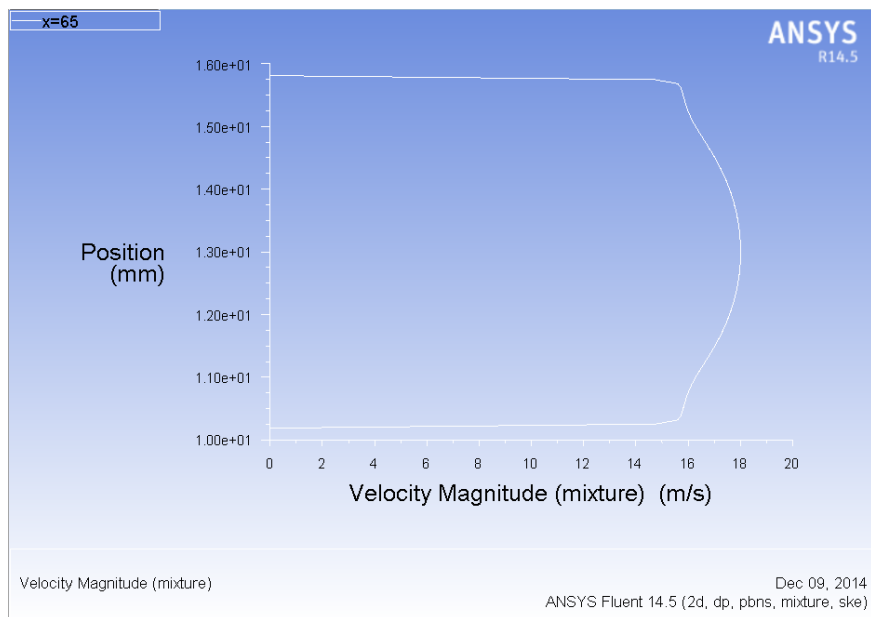


Рисунок 1.63 - Сечение № 3

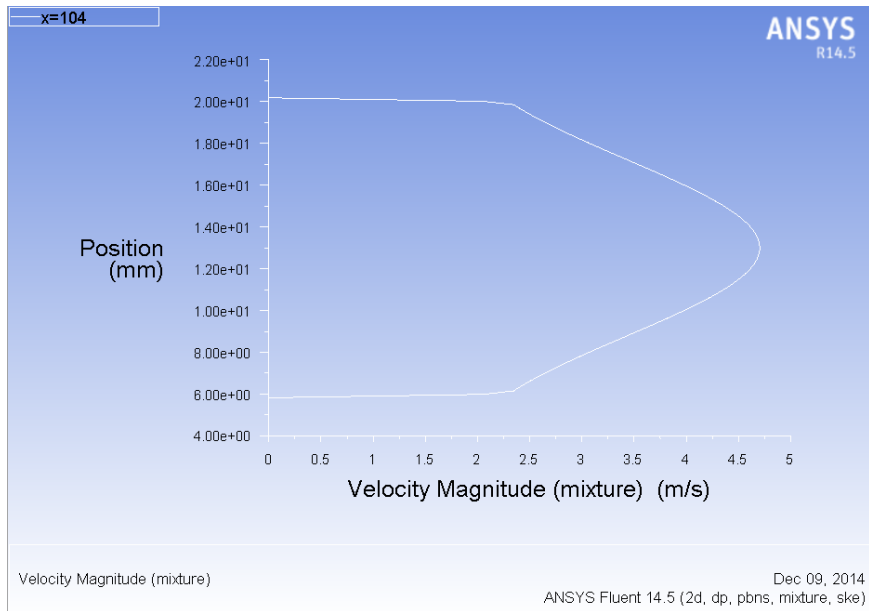


Рисунок 1.64 - Сечение № 5

5. Число Рейнольдса

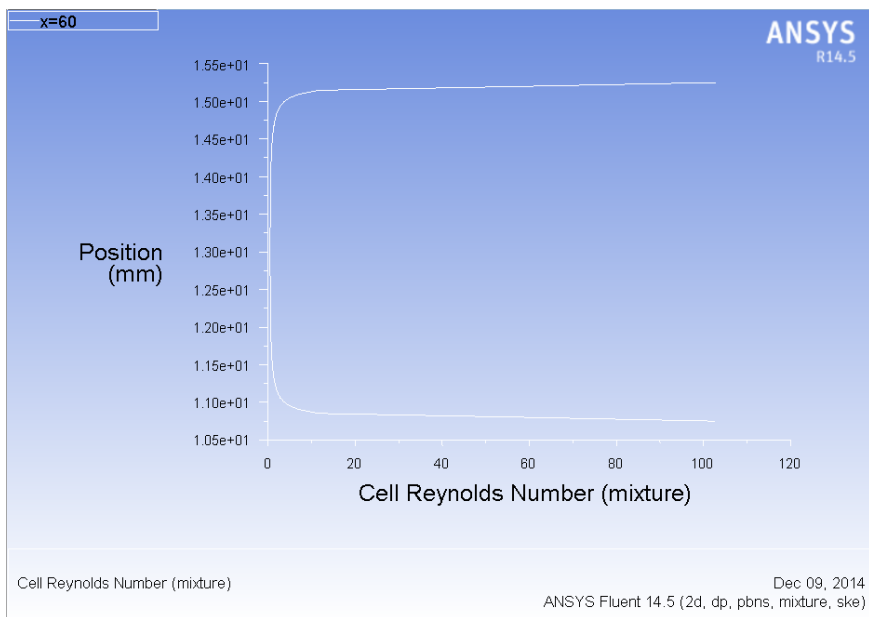


Рисунок 1.65 - Сечение № 2

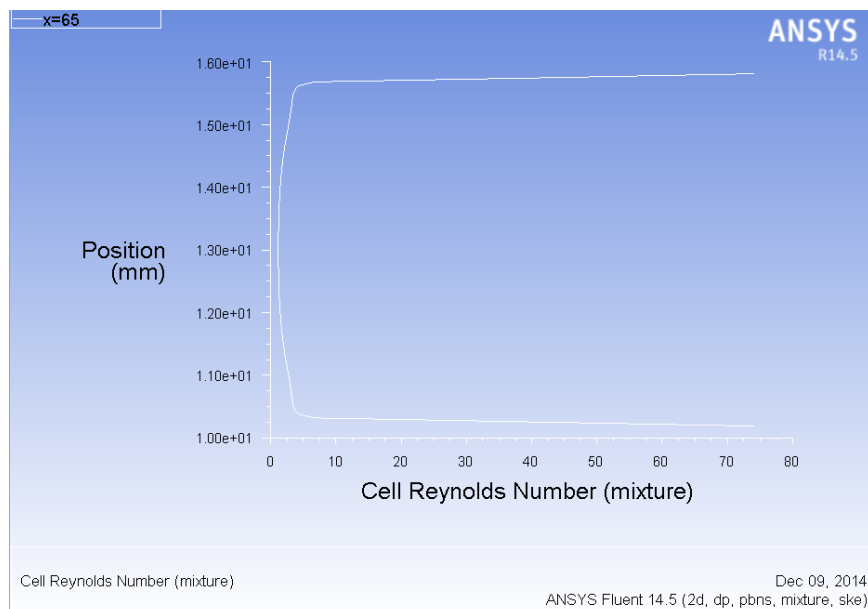


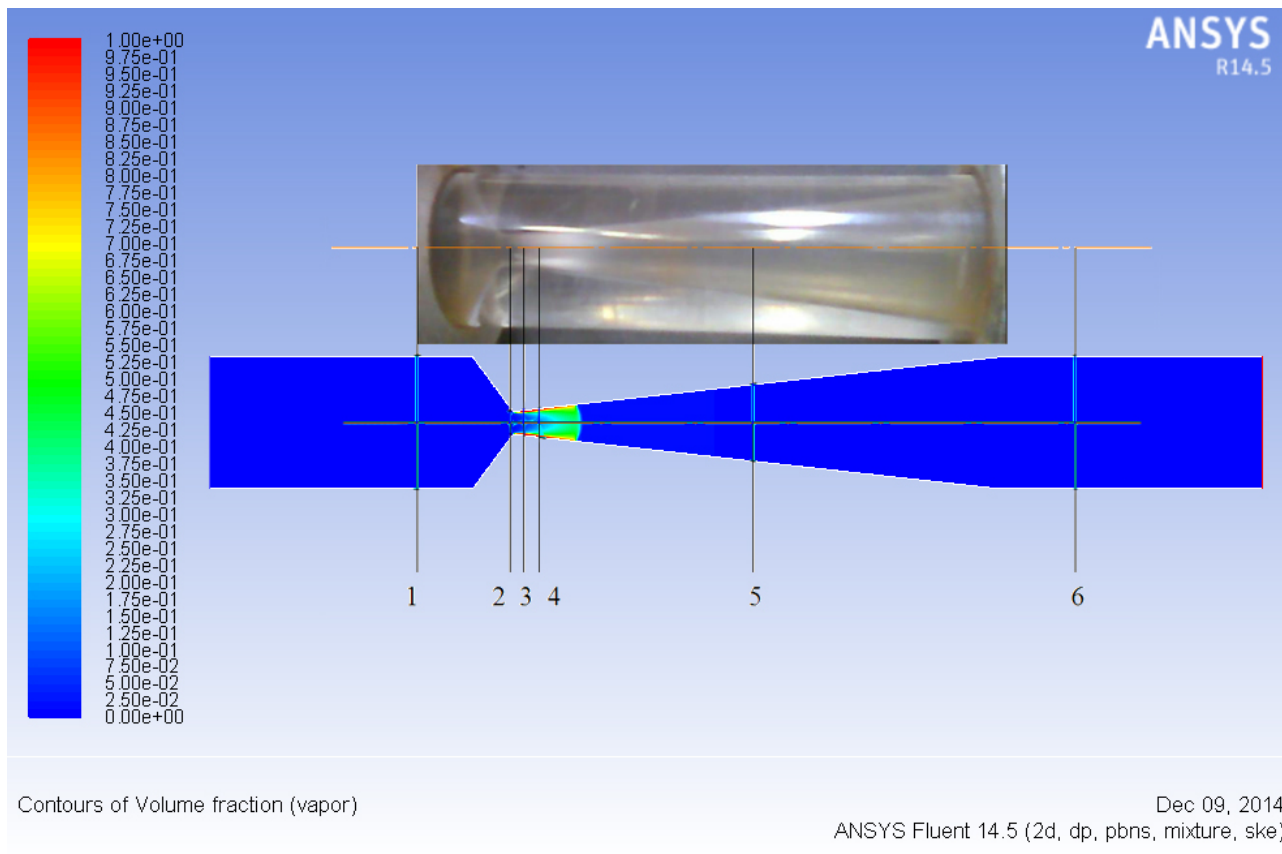
Рисунок 1.66 - Сечение № 3

3. Анализ результатов

Отметим значительное снижение статического давления потока при сужении канала (рисунок 1.46). Низкое статическое давление - важный фактор приводящий к кавитации, хотя турбулентность тоже воздействует на кавитацию за счет колебаний давления и турбулентного переноса (turbulent diffusion).

В этом примере сетка достаточно груба. Однако в кавитационных течениях распределение давления - определяющий фактор, не очень чувствительный к размеру сетки.

Проведем сравнение численного расчета с экспериментальными данными. На рисунке 1.67 изображены расчетная модель (распределение фаз по объему) и фотография рабочего участка лабораторной установки, размещенные рядом в примерно одинаковом масштабе.



Рисунке 1.67. Визуальное сравнение полученных результатов с экспериментом

Как видно на фотографии, «факел» пузырьков газа в эксперименте наблюдается на более протяженном участке. Однако в целом картина распределения пара по длине трубки совпадает с экспериментальной. Причиной же расхождения может являться неточный учет факторов, влияющих на характер протекания кавитации, начиная от шероховатости стенки, свойств воды и пара и заканчивая значениями подрелаксационных факторов в решении.

Заключение

Эта работа демонстрирует приемы установки и решения задачи кавитационного течения в канале переменного сечения, используя многофазную модель ANSYS Fluent с эффектами кавитации. Вы научились устанавливать граничные условия для внутреннего течения (internal flow). Для прогнозирования образования пузырьков пара в месте сужения канала было использовано стационарное решение. Для точного моделирования циклического процесса образования пузырьков, их роста и разрушения потребуется более сложный расчёт с использованием нестационарности процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.

2. 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.