

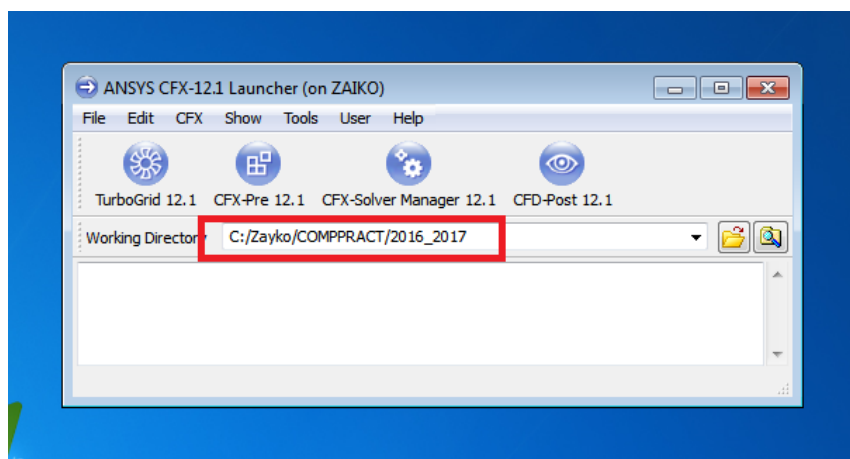
- 1) Файл `puas_flow_01_largemesh.def` представляет собой готовый для запуска на расчет файл. Решается задача о ламинарном течении вязкой жидкости (воды) в трубе диаметром $d = 0.0025$ м. Гексаэдральная сетка имеет размер около 137000 элементов. Эту сетку будет считаться крупной (т.е. не подробной).
- 2) Файл `puas_flow_finemesh.def` представляет собой документ для работы в пре-процессоре ANSYS CFX-Pre. В этот файл для решения задачи о ламинарном течении воды в трубе диаметром $d = 0.0025$ м загружена гексаэдральная сетка размером приблизительно 360000 элементов. Данная сетка будет считаться мелкой, подробной.

Необходимо:

- 1) Провести расчёт на крупной сетке (т.е. в решателе ANSYS CFX-Solver запустить на расчёт готовый файл `puas_flow_01_largemesh.def`).
- 2) Задать для мелкой сетки те же параметры задачи, граничные условия и условия и критерии сходимости, что и для крупной сетки (т.е. доделать `def`-файл `puas_flow_finemesh.def` по аналогии с файлом `puas_flow_01_largemesh.def`).
- 3) Провести расчёт на мелкой сетке.
- 4) Провести анализ решения, полученного на крупной сетке; провести сравнение данного численного решения с аналитическим.
- 5) Провести анализ решения, полученного на мелкой сетке, провести сравнение данного численного решения с аналитическим.
- 6) Провести анализ сходимости решения по сетке — сравнить численное решение на крупной сетке и на мелкой сетке.

Ниже приведена подробная инструкция и расшифровка заданий 4 – 6.

Для анализа решения, полученного на крупной сетке, необходимо открыть в пост-процессоре *ANSYS CFD-Post* `res`-файл, который получится при завершении расчёта на крупной сетке. Этот файл будет находиться в той директории, которая будет выбрана в качестве рабочей при открытии *ANSYS CFX Launcher* (фиг. 1). Чтобы открыть `res`-файл для просмотра в *CFD-Post*, достаточно кликнуть по нему два раза. Либо можно открыть *CFD-Post* из окна *Launcher* (окно *Launcher* открывается при запуске *ANSYS*), в *CFD-Post* открыть нужный `res`-файл: *File*→*Load Results*.

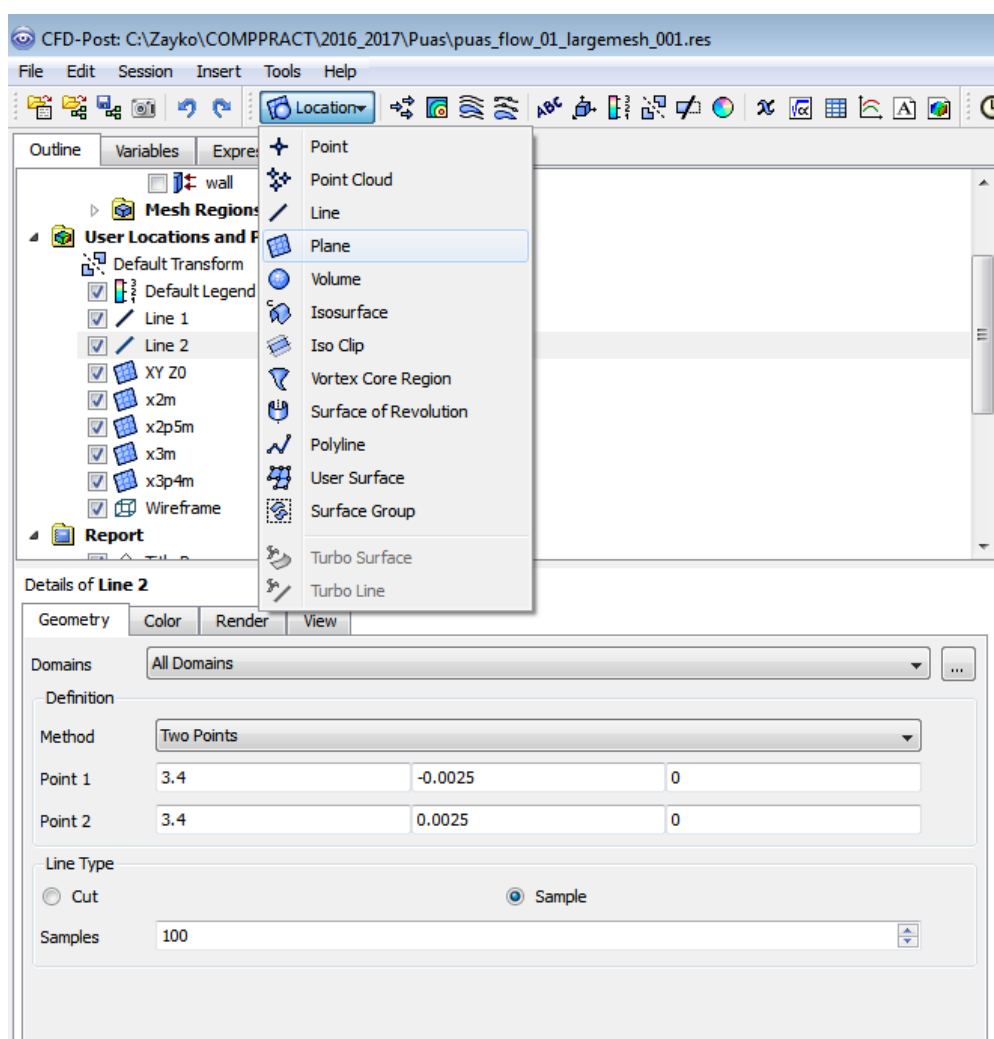


Фиг. 1.

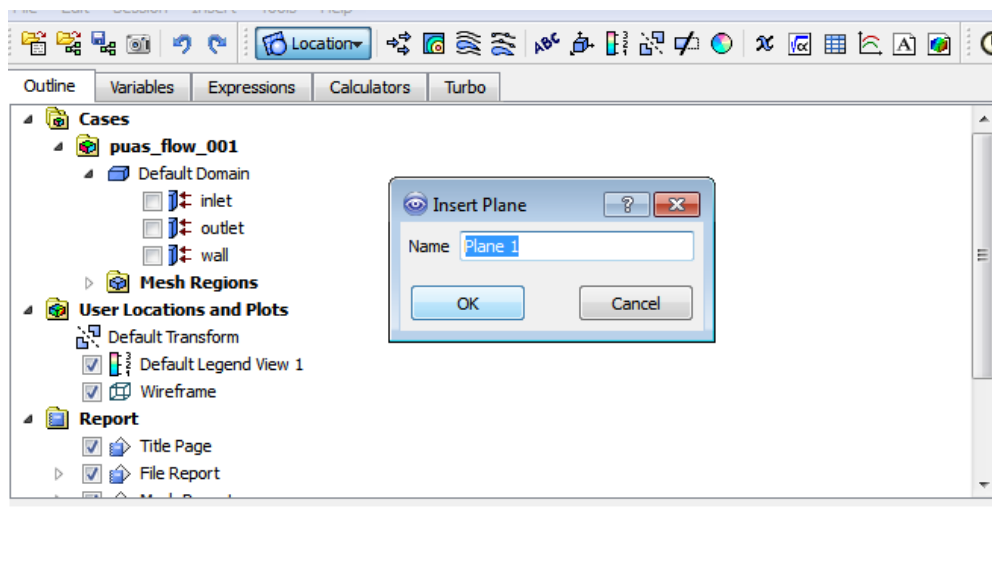
Первый этап анализа расчёта заключается в качественной оценке полученного решения.

Необходимо создать плоскость, проходящую через ось трубы, вывести на ней заливкой значения скорости, чтобы прикидочно оценить характер полученного решения и ориентировочное расстояние, на котором устанавливается профиль Пуазейля в данном расчёте.

Создание плоскости.

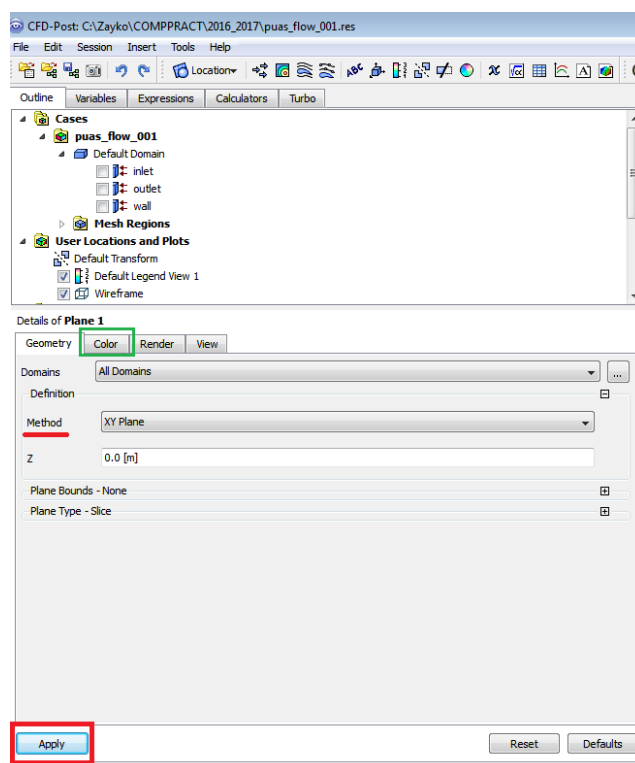


Фиг. 2. Создание плоскости.



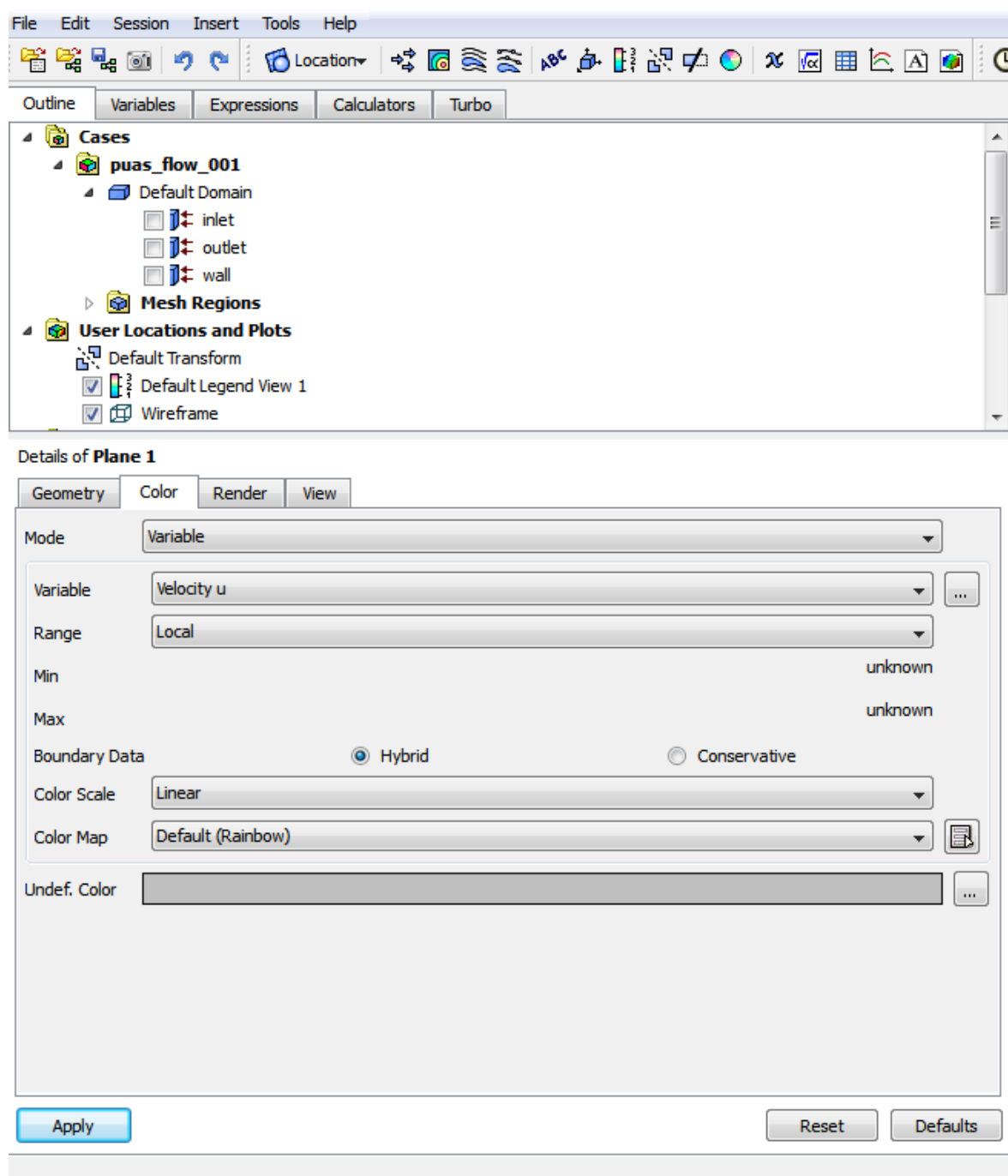
Фиг. 3. Задание названия плоскости.

Плоскость создаётся во вкладке *Location*. *Location*→*Plane* (фиг. 2). Далее вводится название плоскости, *ok* (фиг. 3). После этого можно выбрать, как будет расположена в пространстве данная плоскость. По умолчанию будет выбрана подходящая для рассматриваемого случая плоскость XY , проходящая через ось трубы $Z = 0$ (фиг. 4). Завершить создания данного геометрического объекта происходит при нажатии кнопки *Apply* (фиг. 4). Если требуется задать другую плоскость, то нужно выбрать в меню *Method* подходящий вариант и задать плоскость (доступные варианты: плоскость XY при варьируемом значении Z ; плоскость XZ при варьируемом значении Y ; плоскость YZ при варьируемом значении X ; плоскость, задаваемая тремя точками; плоскость, задаваемая одной точкой и нормалью).



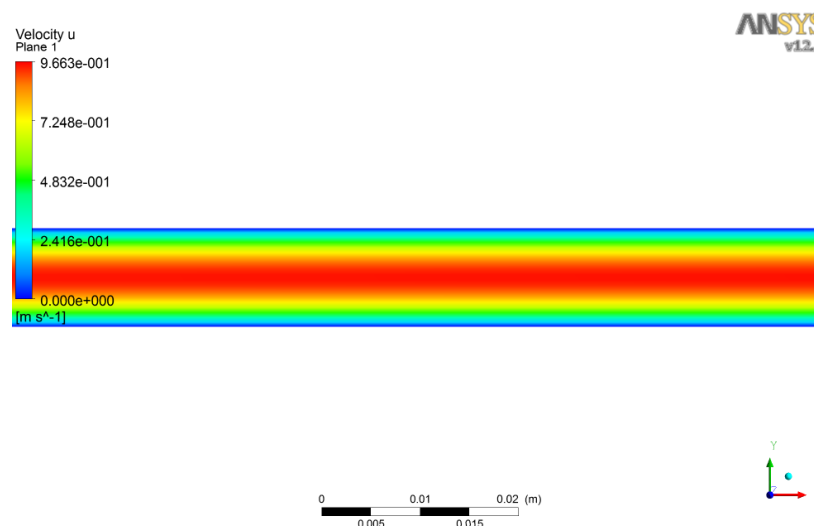
Фиг. 4.

После того, как плоскость создана, можно вывести на неё значения любой полученной в расчёте и существующей в данной части расчётной области величины. Выведем на созданной плоскости продольную компоненту скорости (компоненту скорости вдоль оси трубы, вдоль оси x). Для этого нужно перейти во вкладку *Color* (см. зелёную рамку на фиг. 4). В поле *Mode* выбирается вариант *Variable*; в поле *Variable* — интересующая нас переменная, в данном случае *Velocity u*; диапазон *range* — *local* (границы шкалы будут соответствовать минимальному и максимальному значениям выбранной нами переменной на данном геометрическом объекте — в данной плоскости), *Apply* (см. фиг. 5). Справа в окне просмотра можно приблизить и изучить полученную заливку плоскости. Теперь можно сделать первые качественные оценки полученного течения.

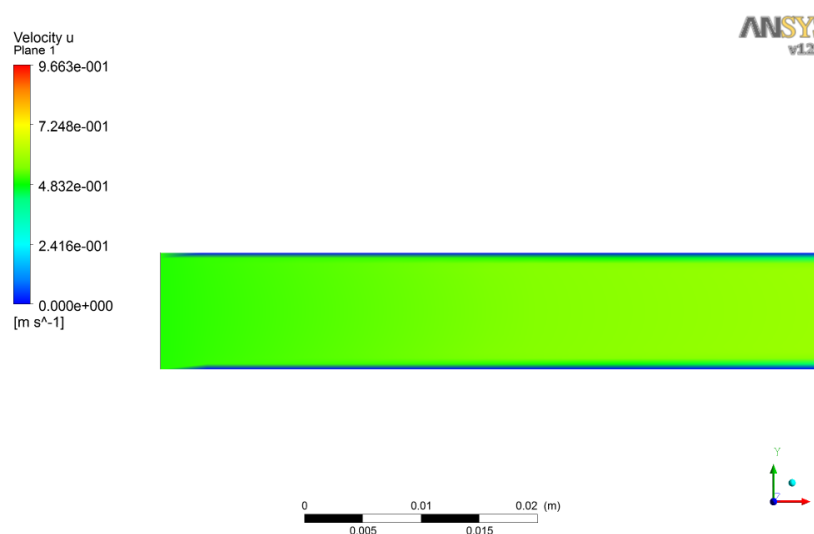


Фиг. 5.

Второй этап анализа — определить постоянный перепад давления в области, где сформировалось течения Пуазейля. Эту область помогает выделить первая построенная плоскость. Область около оси трубы должна соответствовать максимальной скорости, к стенкам должен происходить плавный переход к нулю — на стенках задано условие прилипания (см. фиг. 6). Например, в области, близкой к входу в трубу, где был задан постоянный профиль скорости, течения не соответствует развитому течению в трубе, это можно оценить даже приближённо по первой построенной заливке (фиг. 7).



Фиг. 6.



Фиг. 7.

Т.к. дальнейший анализ предполагает сравнение полученного численно решения с аналитической формулой для профиля скорости при ламинарном течении в цилиндрической трубе круглого поперечного сечения, происходящем под действием постоянного перепада давления,

$$u = \frac{1}{4\mu} \frac{\partial p}{\partial x} (a^2 - r^2), \quad (1)$$

где u — компонента скорости вдоль оси трубы, μ — динамический коэффициент вязкости жидкости, dp/dx — постоянный перепад давлений, a — радиус трубы, r — координата по радиусу трубы, то **необходимо определить под действием какого перепада давлений dp/dx происходило течение в расчёте.**

Для этого **необходимо определить постоянный ли перепад давлений получился в трубе** (в области, где течение Пуазейля установилось и нет влияния граничного условия на входе). Если да, то **необходимо определить этот перепад**. Нужно создать три плоскости YZ в различных сечениях трубы. Эти сечения, т.е. координаты X, где будут проведены данные плоскости, выберите самостоятельно. Единственное условие — все они должны лежать в области, где уже установилось течение Пуазейля (это определяется по заливке первой построенной плоскости XY). Когда созданы три поперечные плоскости, следует определить среднее значение давления в каждом из соответствующих этим плоскостям сечений.

Использование калькуляторов.

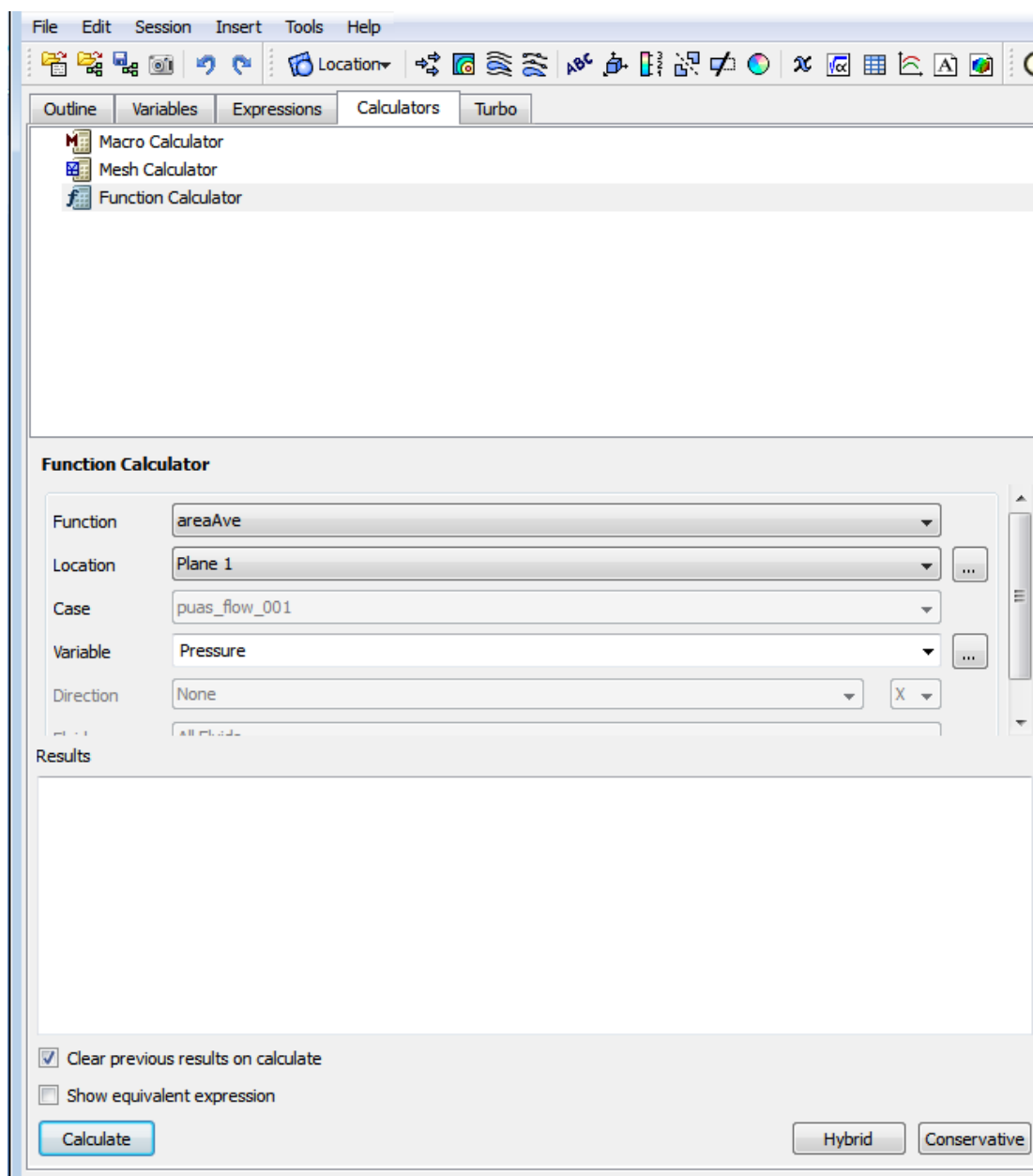
Для этого во вкладке *Calculators* двойным нажатием левой кнопки мыши выбирается *Function Calculator*, параметры: *function* → *areaAve* (доступно множество функций, данная позволяет вычислить среднее значение по площади любой величины на выбранной геометрической поверхности), *Location* → первая из созданных вами самостоятельно плоскостей YZ, *Variable* → *Pressure*; *Calculate* (фиг. 8). Вы получите среднее значение давления в первом из выбранных сечений. Далее ту же операцию нужно повторить для двух других сечений.

Теперь можно вычислить попарные перепады давлений между данными тремя сечениями. Если расчёт верен и соответствует течению Пуазейля, то эти перепады должны совпасть.

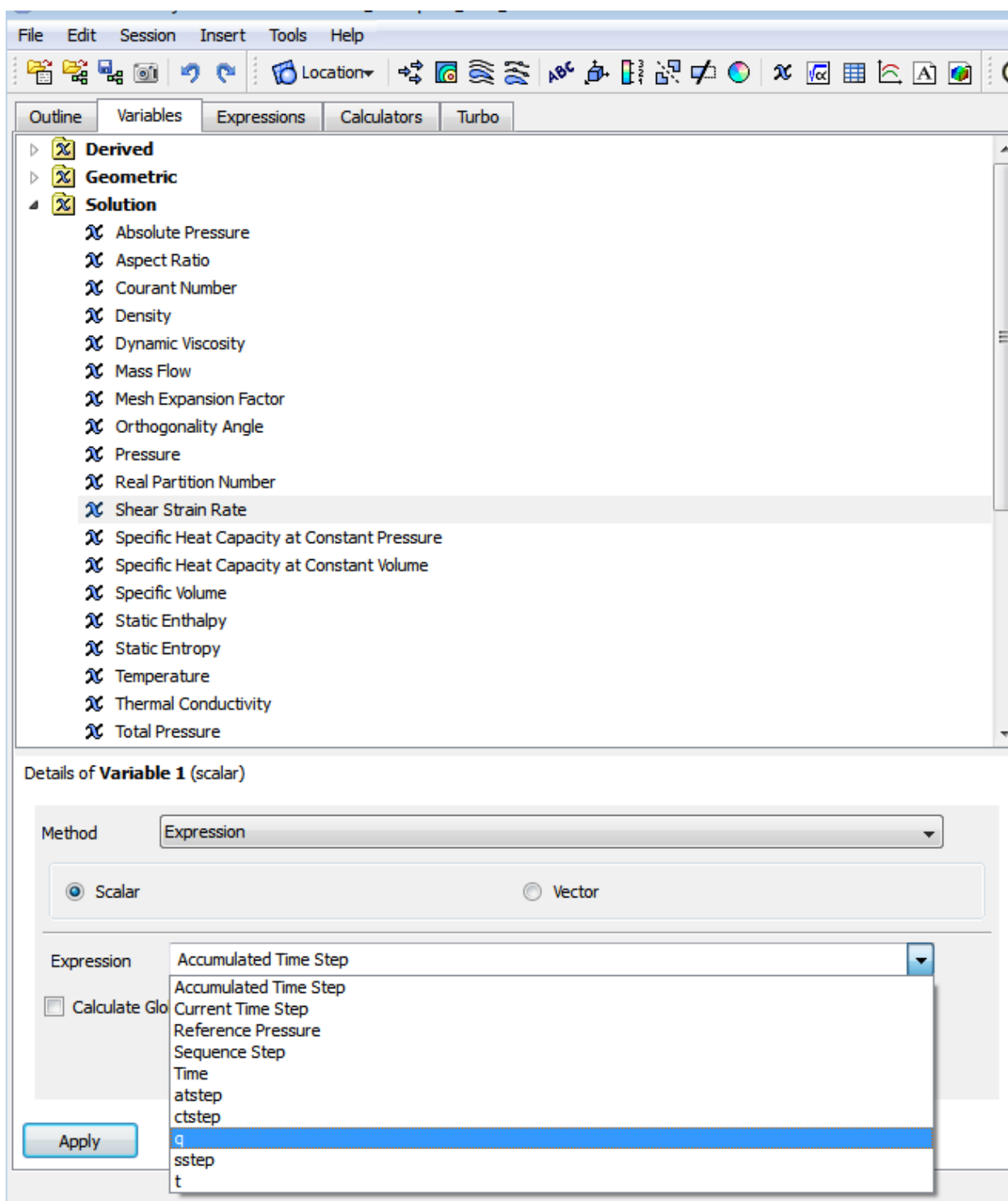
Создание дополнительных переменных.

После того, как вычислен перепад, под действием которого в расчёте происходило течение Пуазейля, нужно **провести сравнение численного решения с аналитическим, где в аналитическом решении перепад равен найденному. Это третий этап задания.** Нужно создать пользовательскую переменную, которая будет выражать скорость вдоль оси трубы, соответствующую аналитическому решению Пуазейля. Для этого во вкладке *Expressions* на любом пустом месте рядом со списком имеющихся выражений нужно нажать правой кнопкой мыши, выбрать *New* — создание нового выражения. Все размерные числовые значения должны вводиться с указанием размерности, например, значение вязкости вводится как $8.9 \cdot 10^{-4}$ [Pa s]. Подробные правила ввода формул можно найти в документации к ANSYS, которая доступна при нажатии клавиши F1. Когда ввод формулы (1) завершен (обратите внимание, что значения всех величин в ней вам известны, кроме r — это независимая переменная), нажмите *Apply*. Проверьте, что размерность этого результирующего выражения соответствует требуемой (размерность созданного выражения указывается внизу данного окна после нажатия кнопки *Apply*). Перейдите во вкладку *Variables*. Здесь аналогично, кликнув правой кнопкой мыши в любом месте рядом со списком имеющихся переменных, создайте новую переменную,

которая будет определяться только что созданным во вкладке *Expressions* выражением. Важно, что имена переменной (*variable*) и выражения (*expression*), которым она задаётся, не могут совпадать. Когда имя задано, в поле *Method* выбирается вариант *Expression* (т.е. создаваемая новая переменная будет определяться выражением), *Scalar* — величина будет скалярной (в рассматриваемом случае эта величина есть компонента скорости вдоль оси трубы, рассчитанная аналитически), в поле *Expression* выбирается имя только что созданного во вкладке *Expressions* выражения; *Apply*. Создание переменной завершено.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

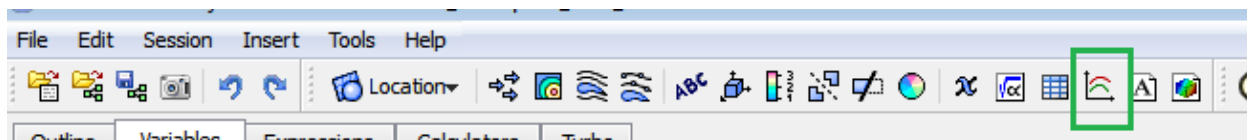
Далее необходимо построить профиль скорости, определяемый аналитической формулой; построить профили скорости, полученные в расчёте (в трёх сечениях трубы: а) в сечении, близком к входной области; б) в сечении, где только что сформировался профиль Пуазейля; с) в промежуточном между указанными двумя сечении).

Построение графика.

Для построения графика на плоскости необходимо создать геометрический объект — отрезок прямой — вдоль которого будут меняться отложенные по горизонтальной и

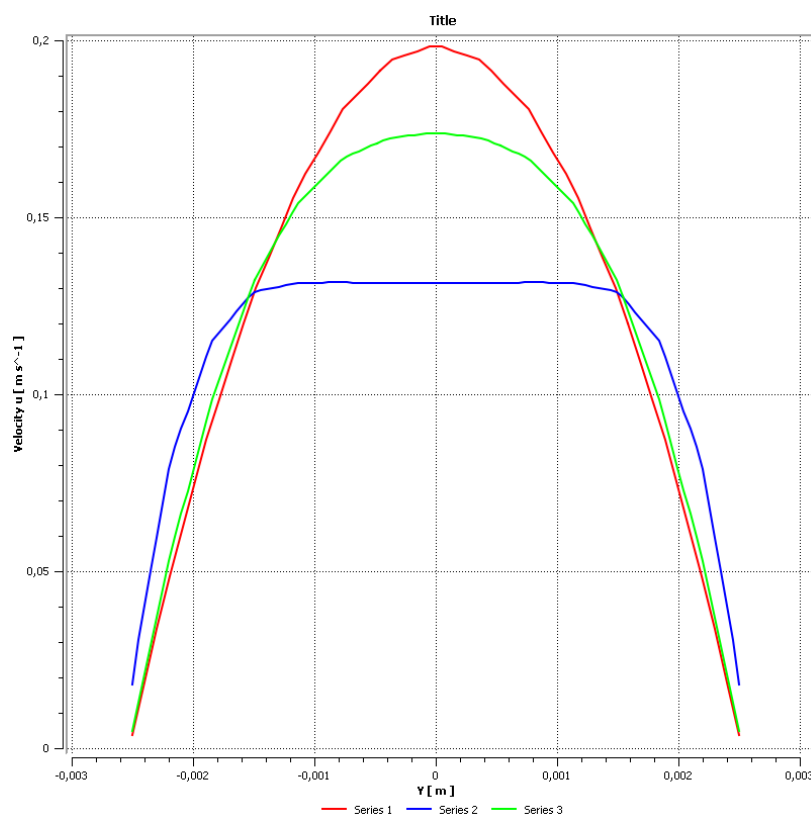
вертикальной оси величины. Для графиков, на которых будут выведены профили скорости, полученные численно, создайте три отрезка в трёх разных сечениях трубы а, b, с. На графике будем откладывать продольную компоненту скорости в зависимости от координаты Y . Тогда данные отрезки должны лежать в плоскости XY при $Z = 0$, должны быть параллельны оси Y . Отрезки создаются аналогично плоскостям (опция *Line* во вкладке *Location*).

Когда отрезки созданы, можно перейти к непосредственному созданию графиков. Для этого найдите значок *Chart* (фиг. 10), нажмите его, задайте имя графика, *ok*. Во вкладке *General* выбран вариант XY — оставляем его, переходим во вкладку *Date Series*.



Фиг. 10.

Здесь необходимо выбрать первый из трех отрезков, а, напротив опции *Location*. Далее перейдите во вкладку *X axis*. Напротив опции *Variable* выберите Y , перейдите во вкладку *Y axis*, напротив опции *Variable* выберите *Velocity u*. *Apply*. Перейдите во вкладку *Data Series*, создайте новую серию, напротив *Location* выберите второй отрезок (b). Далее аналогично постройте профиль скорости вдоль него. И третий раз — вдоль третьего отрезка с. Результат, который должен получиться, приведён на фиг. 11. (Подробные инструкции по построению графиков можно найти в документации для ANSYS, которая доступна при нажатии кнопки F1.)



Фиг. 11.

Профиль, задаваемый аналитически, постройте на другом графике (создайте еще один *Chart*). Его можно строить вдоль любого из созданных трёх отрезков. В качестве координаты, отложенной вдоль горизонтальной оси, выберете Y , в качестве координаты, отложенной вдоль вертикальной оси, выберете созданную вами пользовательскую переменную, описывающую формулу (1).

Для сравнения профилей скорости экспортируйте данные графики в Excel. (Подробные инструкции по экспорту можно найти в документации к *ANSYS*, которая доступна при нажатии клавиши F1.) Там определите погрешность между аналитическим и численным решением.

Четвертый этап задания — провести точно такой же анализ для решения, полученного на мелкой сетке.

Пятый этап задания — провести сравнение в Excel профилей, полученных на крупной и мелкой сетках — это анализ сходимости по сетке.