

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра нефтегазового оборудования и транспортировки

**ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ
ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ**

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Прикладная гидромеханика»
для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
(профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения
нефти, газа и продуктов переработки»)
всех форм обучения*

Воронеж 2022

УДК 62:532(07)
ББК 30.2-5-05я7

Составители:

*д-р техн. наук С.Г. Валюхов
канд. техн. наук Д.Н. Галдин
д-р техн. наук А.В. Кретинин*

Численный расчет изотермических турбулентных течений: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Прикладная гидромеханика» для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: С. Г. Валюхов, Д. Н. Галдин, А. В. Кретинин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 21 с.

Методические указания содержат теоретические сведения, необходимые для выработки навыков работы с инструментарием ANSYS Workbench, применения современных расчетных комплексов для решения задач компьютерной динамики жидкости.

Предназначены для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ЛР_ПГ.pdf

Ил. 23. Библиогр.: 9 назв.

**УДК 62:532(07)
ББК 30.2-5-05я7**

Рецензент – Д. П. Шматов, канд. техн. наук, доц.
кафедры ракетных двигателей ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

В состав комплекса ANSYS входят инструменты для предварительной обработки геометрической модели (геометрический препроцессор) и генерации конечно-элементной сетки, модули для выполнения прочностных расчетов, анализа температурного состояния и для решения задач гидродинамики, различные средства обработки и вывода результатов моделирования.

Интеграция на уровне графического интерфейса ANSYS с модулями других программных средств осуществляется на основе платформы Workbench.

Выполнение расчетов программой ANSYS "Fluent" основано на решении систем дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих течение жидкости в проточной части насоса, численными методами конечно-элементного анализа (в частности, методом конечных объемов).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ФОРМИРОВАНИЕ 3D МОДЕЛИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ И ГЕНЕРАЦИЯ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЕЙ «DESIGN MODELER» И «MESHING»

Постановка задачи

В лабораторной работе № 1 представлена методика проектирования проточной части и генерация расчетной сетки с использованием модулей «Design Modeler» и «Meshing» в ANSYS WorkBench с использованием конструкторской терминологии, принятой в средах Windows и ANSYS.

Порядок выполнения работы

1. Открываем Пуск ->Workbench.
2. Сохраняем проект через File ->SaveAs. Не допускается, чтобы в пути к файлу присутствовали символы кириллицы.
3. Приступим к созданию геометрии. Перемещаем модуль "Mesh" в поле "Project Schematic" платформы ANSYS Workbench. После этого выделим ячейку "Geometry" (где горит знак вопроса).

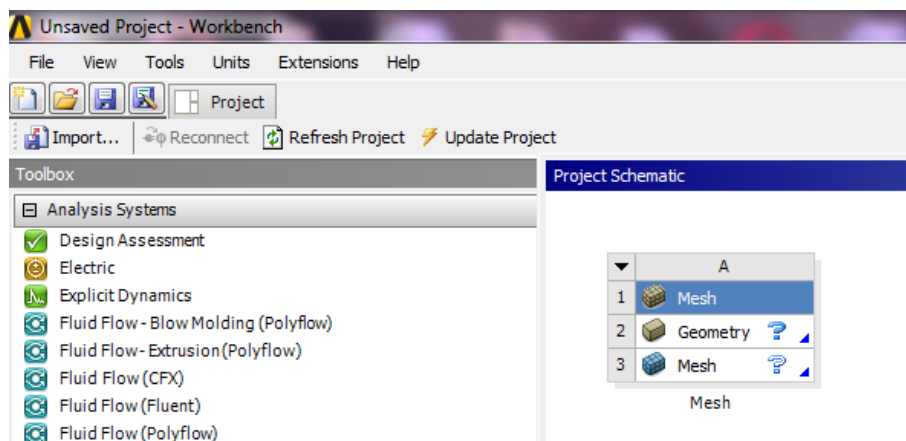
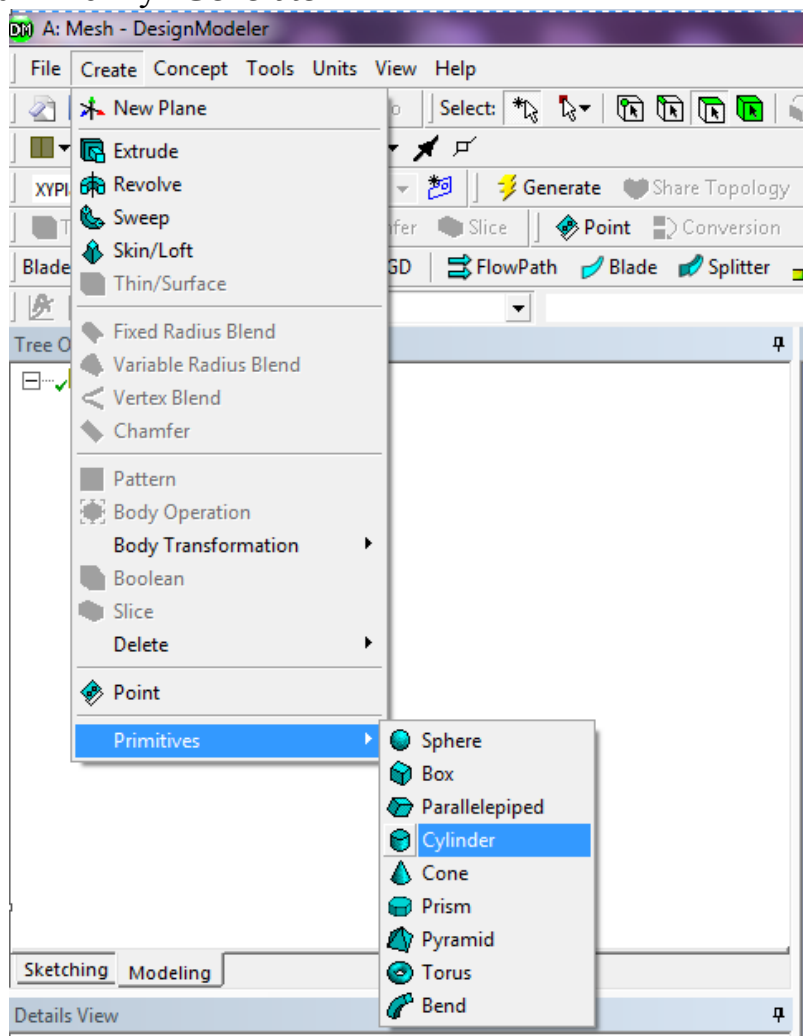


Рис. 1. Запуск программы "Design Modeler" из модуля "Mesh"

Дважды "кликаем" кнопку "Geometry" модуля "Mesh". Запускается программа "Design Modeler". Построение геометрии производим с использованием графических примитивов "Cylinder". Распределительный коллектор будет представлять собой трубку диаметром 2 дюйма, длиной 0,4 м, с расположением вдоль оси 0Z. Формируем команду Create - Primitives - Cylinder и в табличке параметров задаем соответствующие выбранным значениям величины параметров.

Нажимаем кнопку "Generate"



Details of Cylinder1	
Cylinder	Cylinder1
Base Plane	XYPlane
Operation	Add Material
Origin Definition	Coordinates
☐ FD3, Origin X Coordinate	0 m
☐ FD4, Origin Y Coordinate	0 m
☐ FD5, Origin Z Coordinate	0 m
Axis Definition	Components
☐ FD6, Axis X Component	0 m
☐ FD7, Axis Y Component	0 m
☐ FD8, Axis Z Component	0.4 m
☐ FD10, Radius (>0)	0.0254 m
As Thin/Surface?	No

Рис. 2. Значения параметров построения раздаточного коллектора

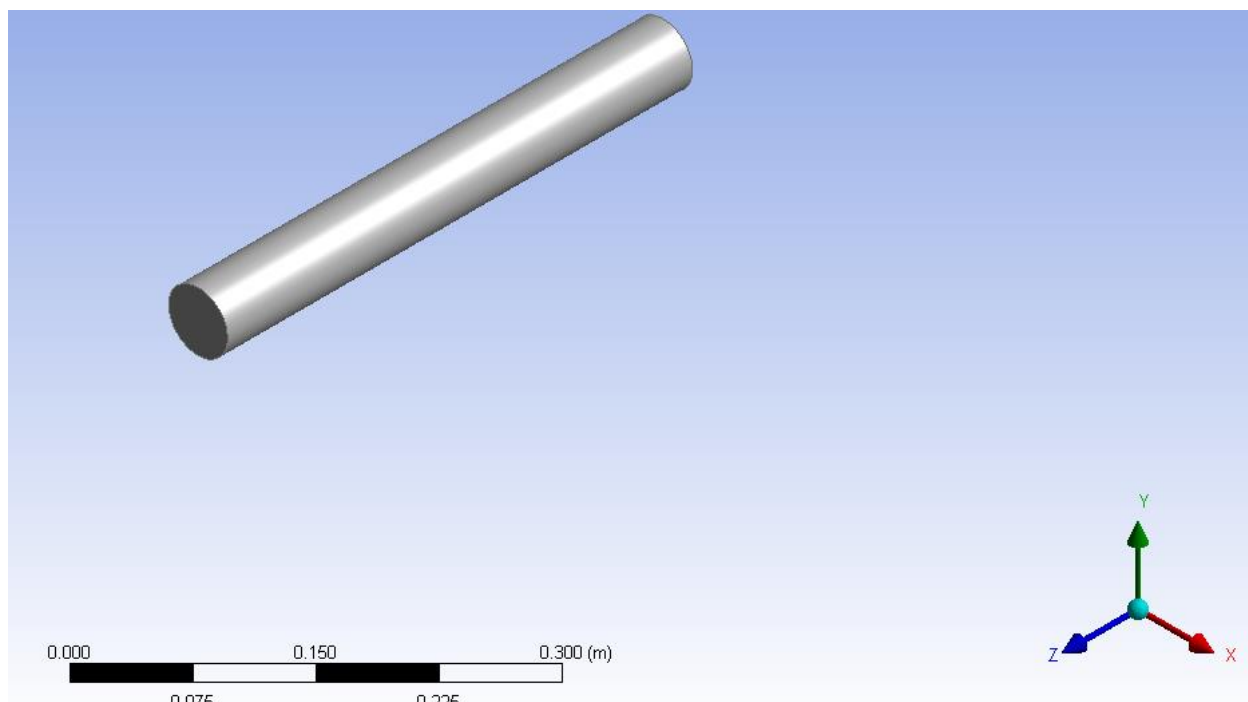


Рис. 3. Модель раздаточного коллектора

4. Формирование трубной решетки

Трубная решетка будет состоять из 10 трубок диаметром 0,016 м. Первая трубка соединяется с раздающим коллектором в точке с координатой $Z=0,39$ м. Длина всех трубок трубной решетки одинакова и равна 0,2 м. Следующие трубки расположены с шагом 0,02 м по оси OZ .

Details View		⌵
Details of Cylinder2		
Cylinder	Cylinder2	
Base Plane	XYPlane	
Operation	Add Material	
Origin Definition	Coordinates	
☐ FD3, Origin X Coordinate	0 m	
☐ FD4, Origin Y Coordinate	0 m	
☐ FD5, Origin Z Coordinate	0.39 m	
Axis Definition	Components	
☐ FD6, Axis X Component	0 m	
☐ FD7, Axis Y Component	0.2 m	
☐ FD8, Axis Z Component	0 m	
☐ FD10, Radius (>0)	0.008 m	
As Thin/Surface?	No	

Рис. 4. Значения параметров построения первой трубки трубной решетки

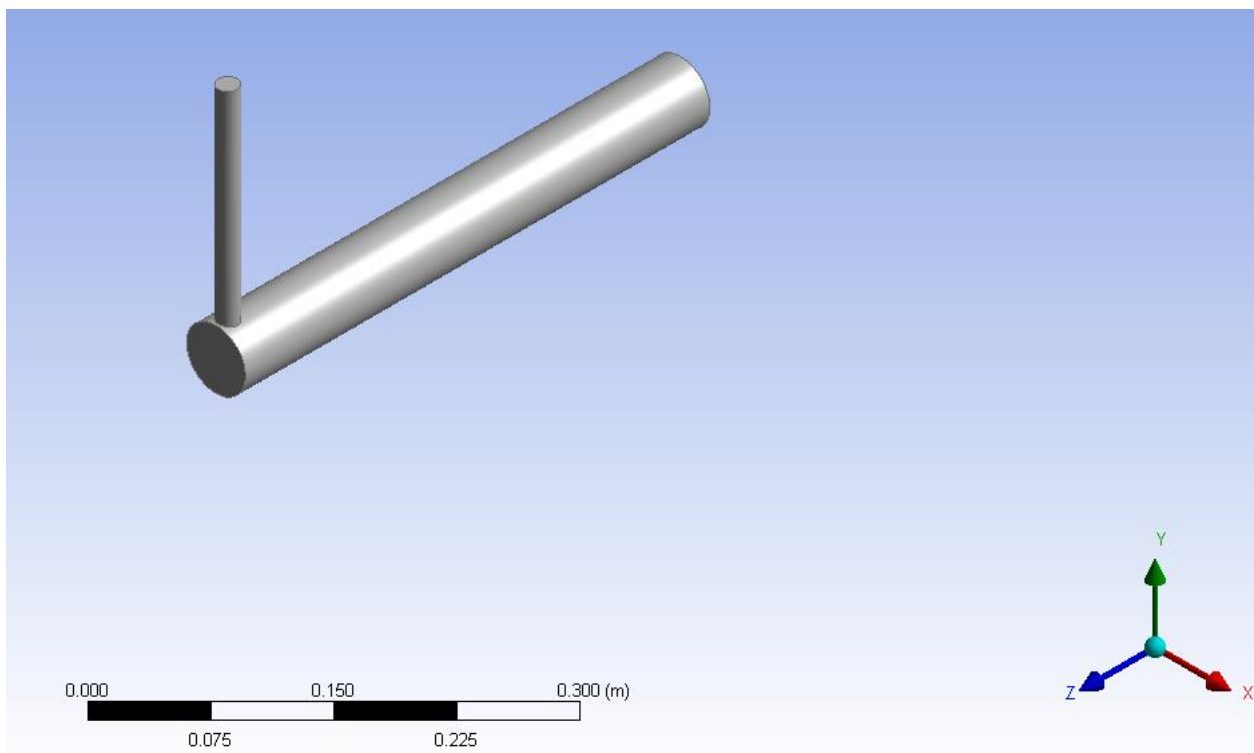


Рис. 5. Модель первой трубки трубной решетки

Последняя 10-я отводящая трубка (таблица параметров) приведена на рис. 6.

Details of Cylinder11	
Cylinder	Cylinder11
Base Plane	XYPlane
Operation	Add Material
Origin Definition	Coordinates
☐ FD3, Origin X Coordinate	0 m
☐ FD4, Origin Y Coordinate	0 m
☐ FD5, Origin Z Coordinate	0.21 m
Axis Definition	Components
☐ FD6, Axis X Component	0 m
☐ FD7, Axis Y Component	0.2 m
☐ FD8, Axis Z Component	0 m
☐ FD10, Radius (>0)	0.008 m
As Thin/Surface?	No

Рис. 6. Значения параметров построения 10-й трубки трубной решетки

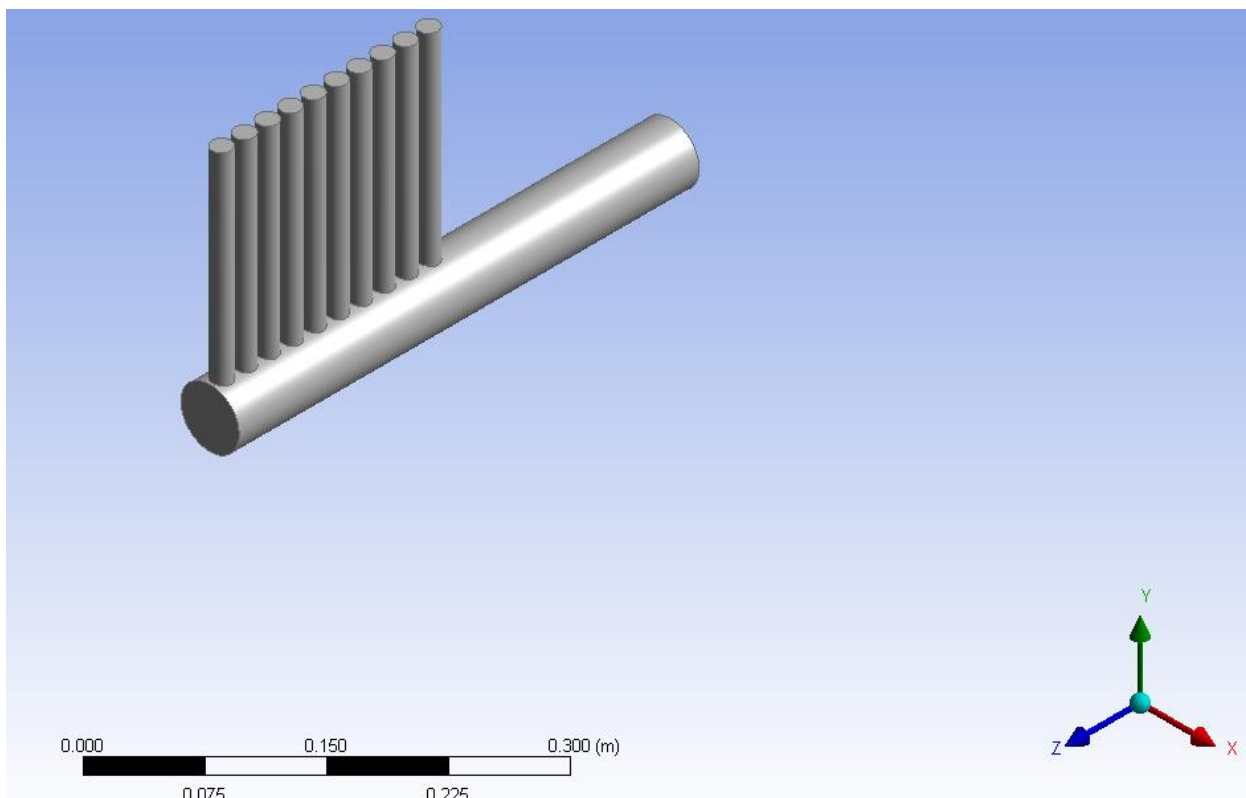


Рис. 7. Модель распределительного однорядного коллектора

5. Формирование набора "Именованных поверхностей"

Выбираем в верхнем меню кнопку "Выделение поверхностей"

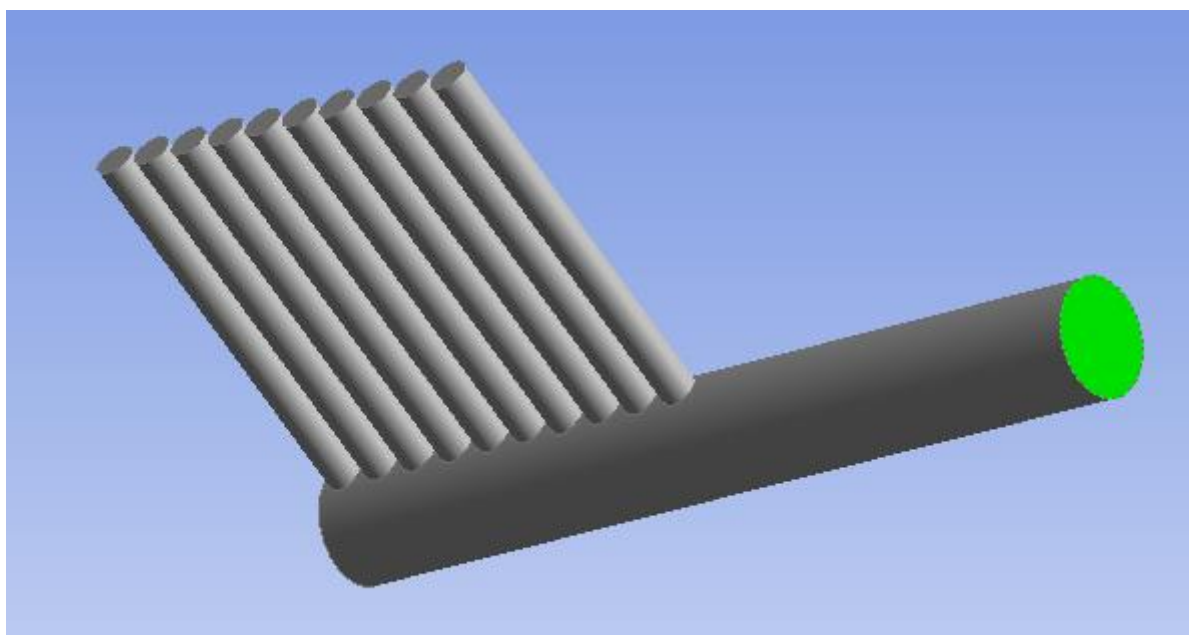


Рис. 8. Задание "именованных" поверхностей

Выбираем "именованные" поверхности. Начинаем с поверхности "Vhod" (рис. 8). Аналогично выбираем одну поверхность "Vhod" и 10 поверхностей "Vyh1" - "Vyh10", соответствующие выходным сечениям трубок трубной решетки.

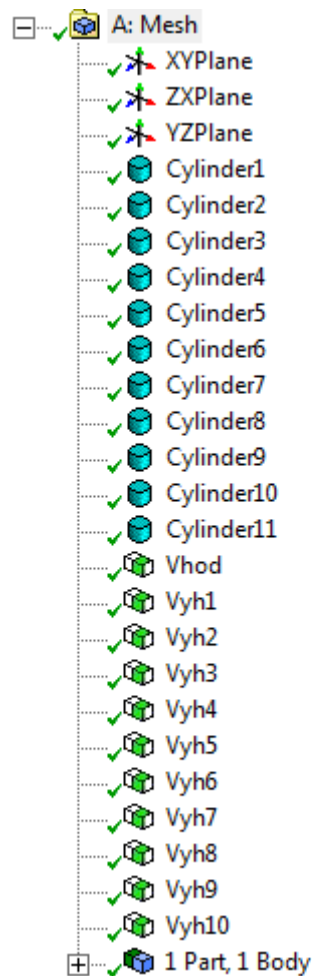


Рис. 9. Дерево построения модели коллектора

5. Генерация расчетной сетки

Возвращаемся в поле "Project Schematic" платформы ANSYS Workbench и запускаем модуль "Meshing". В дереве построения выбираем элемент меню "Mesh". Открывается окошко "Details of Mesh"

Во вкладке "Sizing" активируем способ генерации сетки "Proximity and Curvature".

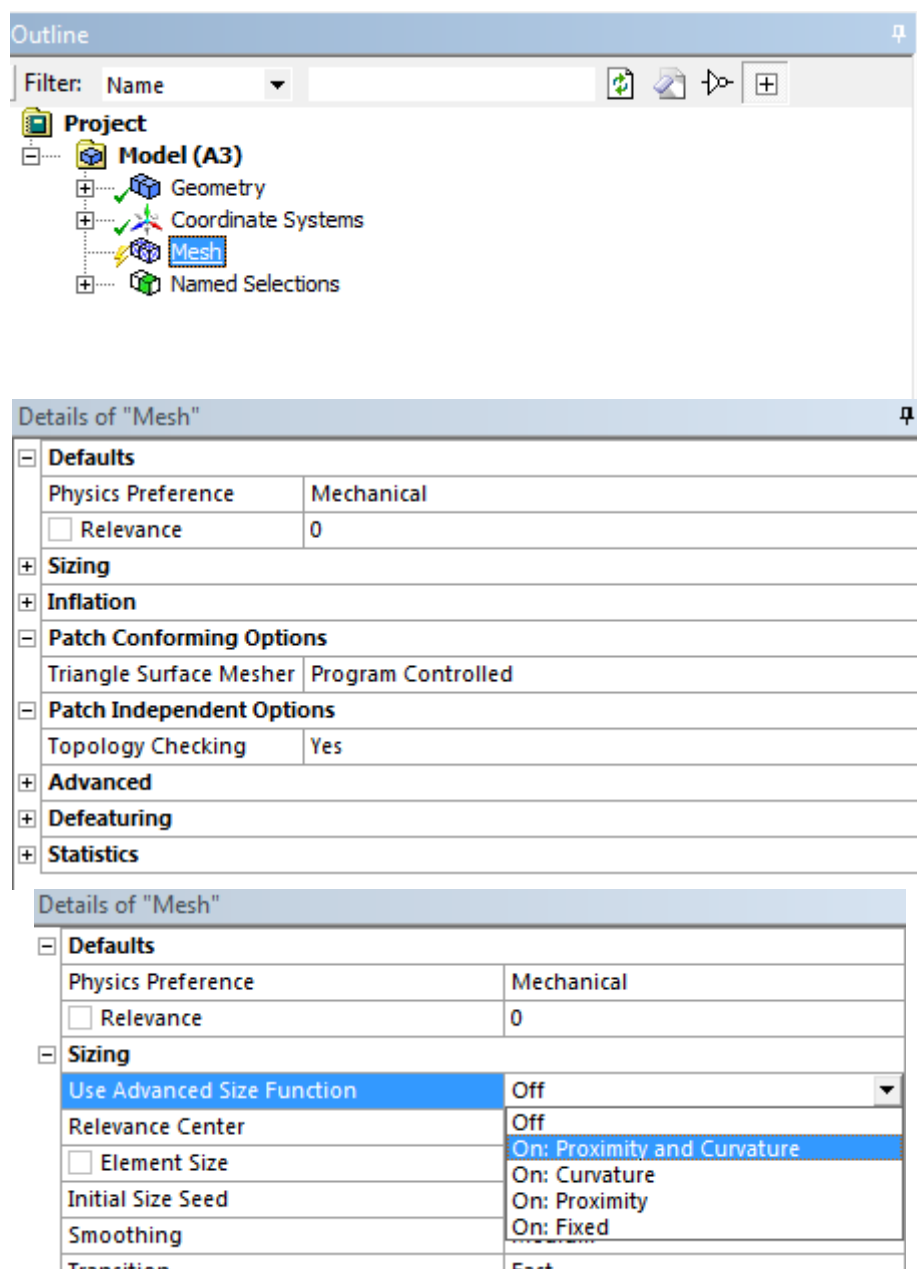


Рис. 10. Построение сетки

Выбираем параметры построения расчетной сетки

Details of "Mesh"	
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
☐ Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
☐ Curvature Normal Angle	Default (70.3950 °)
☐ Num Cells Across Gap	Default (3)
☐ Min Size	Default (2.3025e-004 m)
☐ Proximity Min Size	Default (2.3025e-004 m)
☐ Max Face Size	Default (2.3025e-002 m)
☐ Max Size	Default (4.6049e-002 m)
☐ Growth Rate	Default (1.850)
Minimum Edge Length	5.0265e-002 m

Details of "Mesh"	
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
☐ Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
☐ Curvature Normal Angle	Default (70.3950 °)
☐ Num Cells Across Gap	Default (3)
☐ Min Size	Default (2.3025e-004 m)
☐ Proximity Min Size	Default (2.3025e-004 m)
☐ Max Face Size	2.5e-003 m
☐ Max Size	5.e-003 m
☐ Growth Rate	Default (1.850)
Minimum Edge Length	5.0265e-002 m

Рис. 11. Параметры построения расчетной сетки

Результат построения приведен на рис. 12.

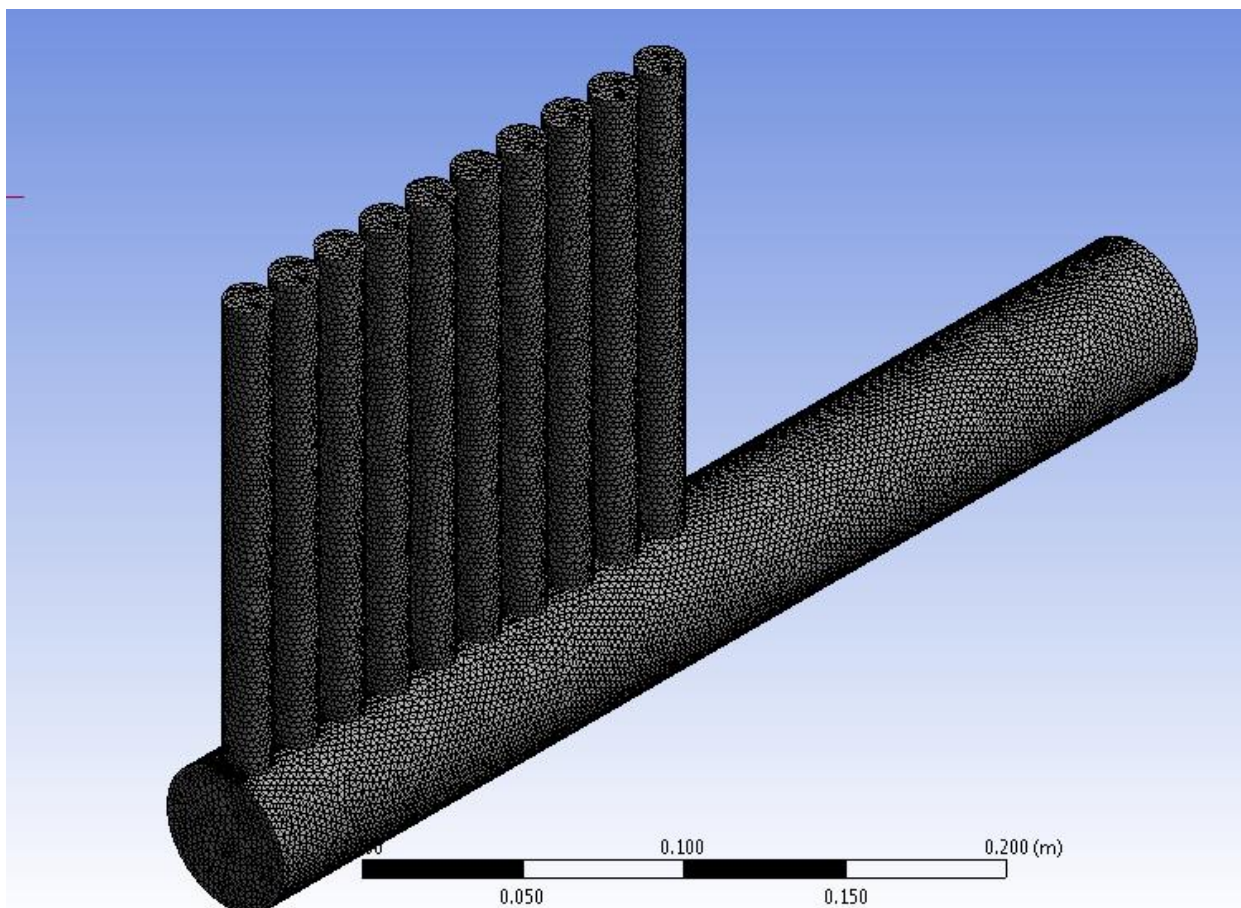


Рис. 12. Сгенерированная расчетная сетка

6. Построение других вариантов модели

По заданию преподавателя повторить сценарий построения модели и расчетной сетки для других значений длин и диаметров отводящих трубок.

Выводы по работе

В ходе реализации методики построения модели раздаточного коллектора и генерации расчетной сетки решены следующие задачи:

- заданы геометрические параметры модели;
- заданы параметры расчетной сетки;
- осуществлено построение геометрической 3D модели и проведена генерация расчетной сетки для однорядного коллектора с трубной решеткой.

При выполнении работы реализован сценарий процедуры профилирования, представляющий собой последовательность операций по созданию модели коллектора и построению сеточной модели. Осуществлено многовариантное профилирование для оценки влияния различных факторов на параметры неравномерности распределения рабочего тела по трубкам трубной решетки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ В РАЗДАТОЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ

1. Запускаем модуль компьютерной динамики жидкости "Fluent" из модуля "Mesh". Для этого выбираем последовательно команды Mesh - Transfer Data To New - Fluent

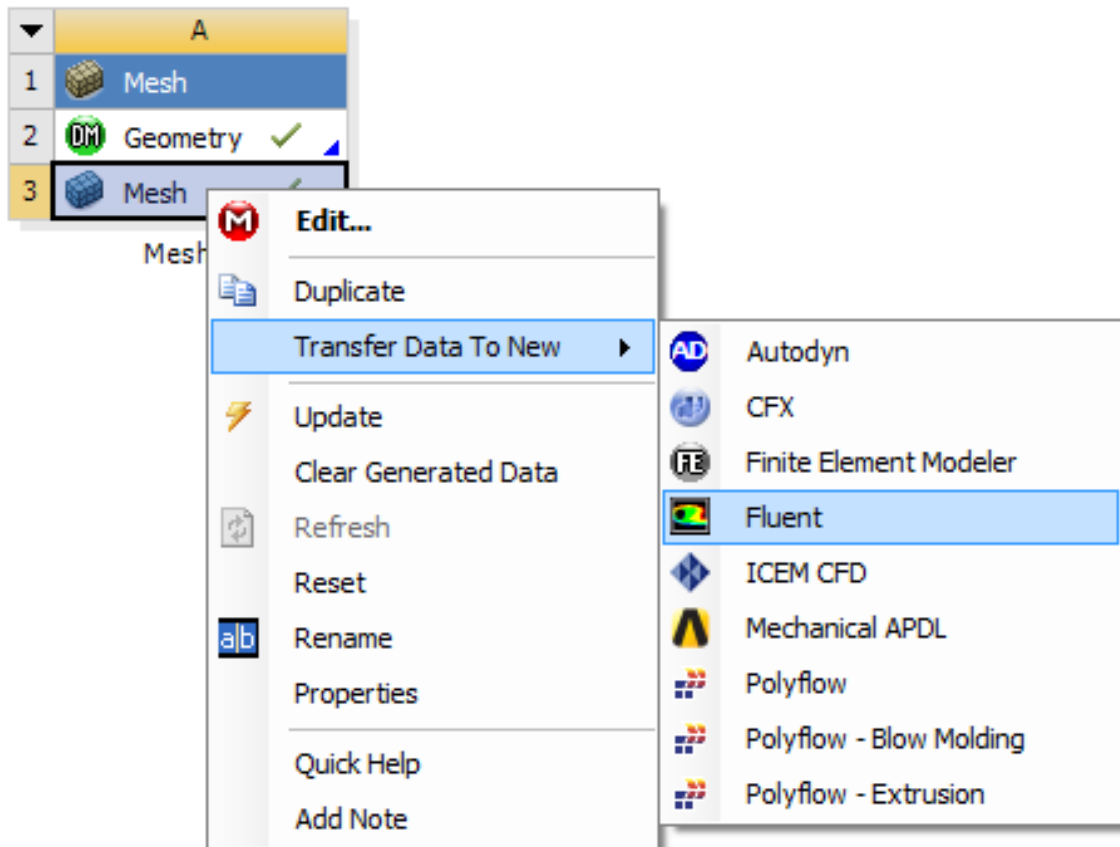


Рис. 13. Запуск "Fluent"

2. Затем работаем непосредственно в программе "Fluent". Задаем модель турбулентности k - ϵ (для параметров модели оставляем значения по умолчанию).

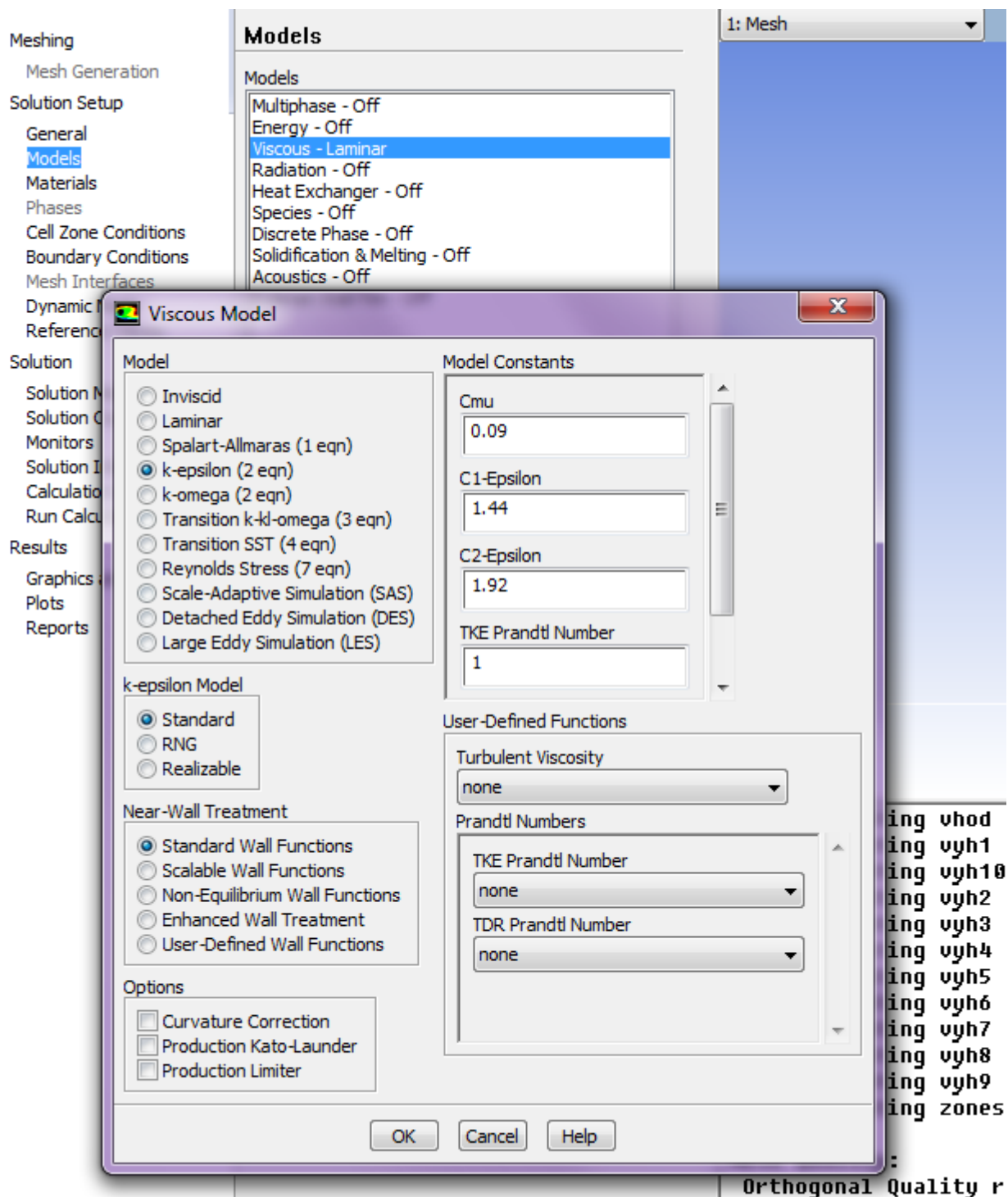


Рис. 14. Выбор модели турбулентности $k-\epsilon$

Выбираем воду из "Fluent DataBase" и устанавливаем ее в качестве рабочего тела

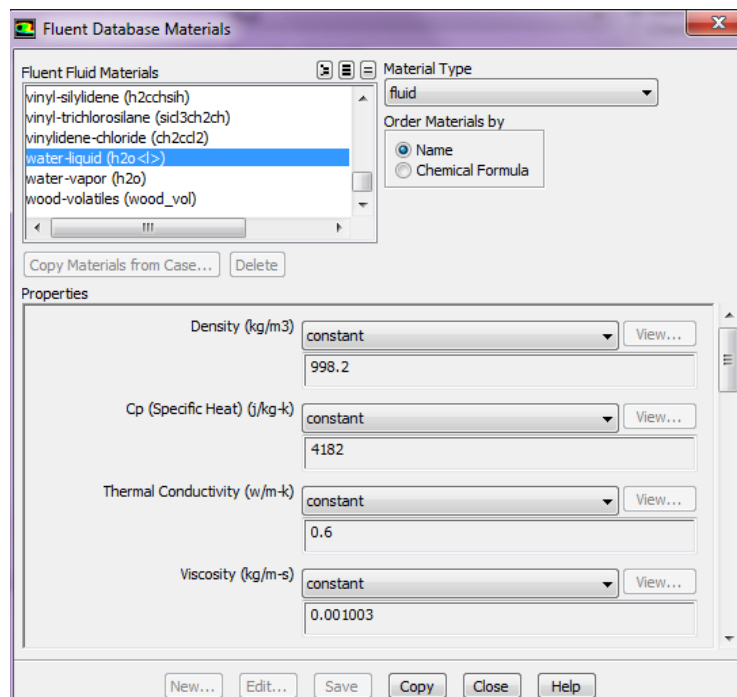


Рис. 15. Задание воды в качестве рабочего тела

3. Задание граничных условий

В качестве граничных условий задаем значение массового расхода на входе в сечении "Vhod" и значения "Pressure Outlet" для всех выходных сечений "Vyh1" - "Vyh10"

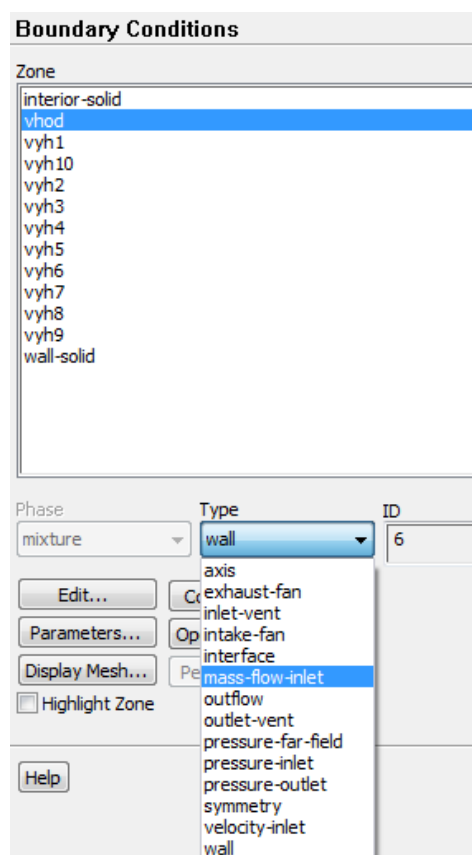


Рис. 16. Выбор граничного условия "mass-flow-inlet" для входного сечения

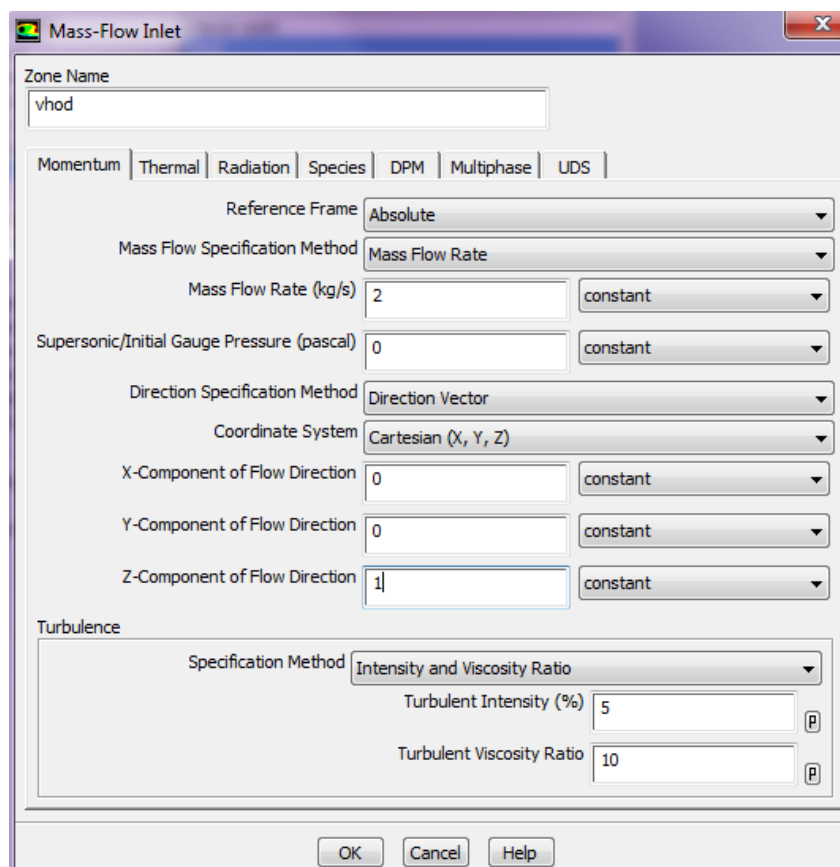


Рис. 17. Задание граничного условия "Mass Flow Rate" для входного сечения

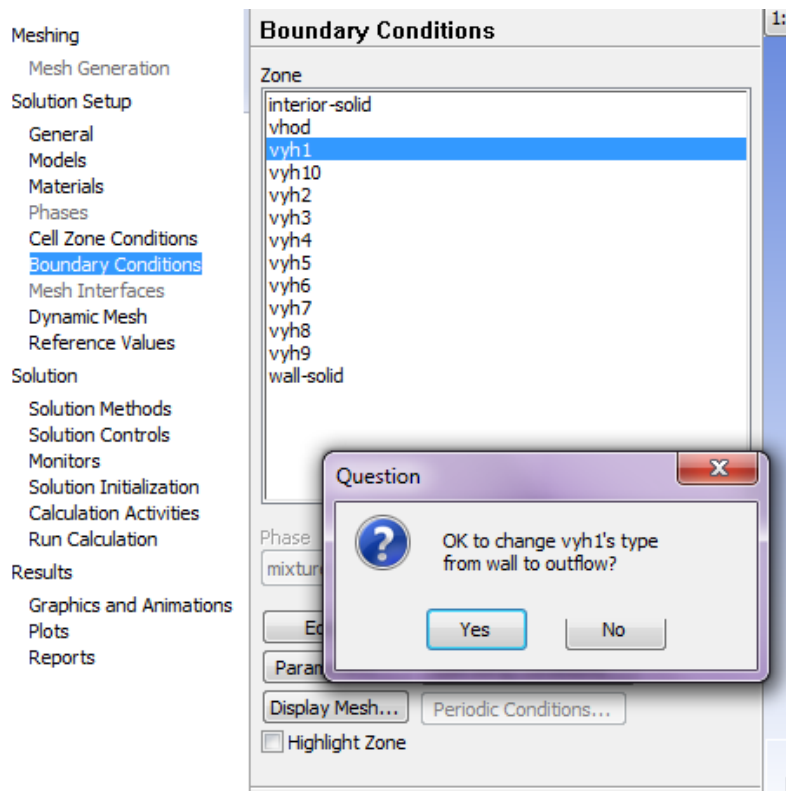


Рис. 18. Задание для всех поверхностей "Vyh1" - "Vyh10" граничных условий "Pressure-Outlet"

4. Численный расчет уравнений гидродинамики

Проводим инициализацию решения

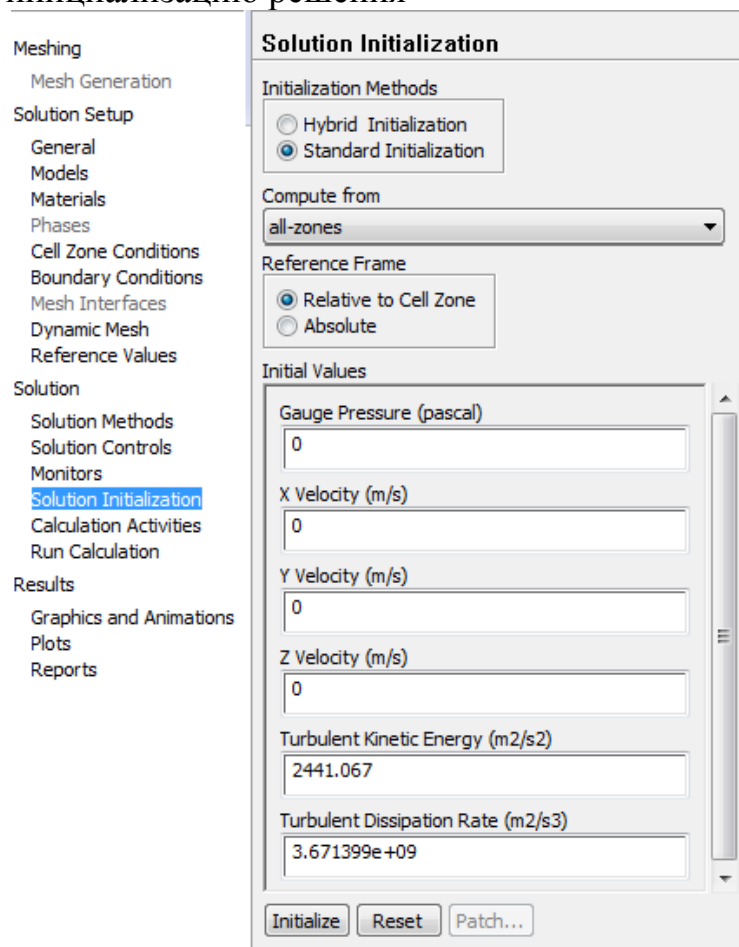


Рис. 19. Инициализация решения

Устанавливаем количество итераций при решении уравнений движения равное 1000

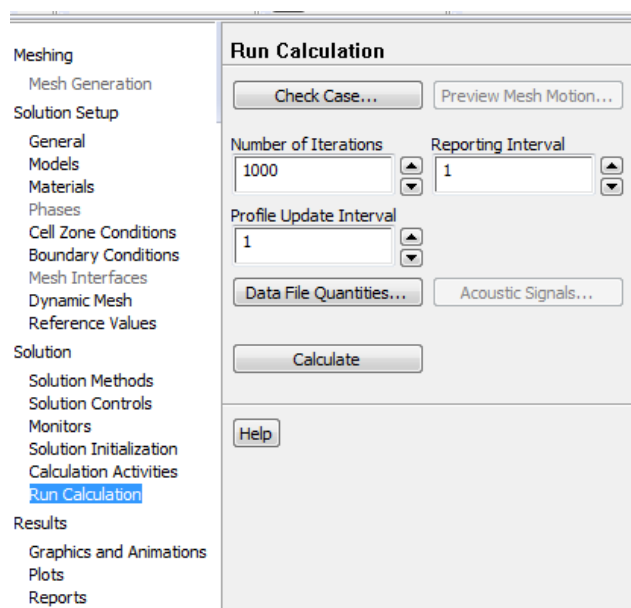


Рис. 20. Задание максимального количества итераций

Нажимаем кнопку "Calculate". После 468 итерации решение сходится.

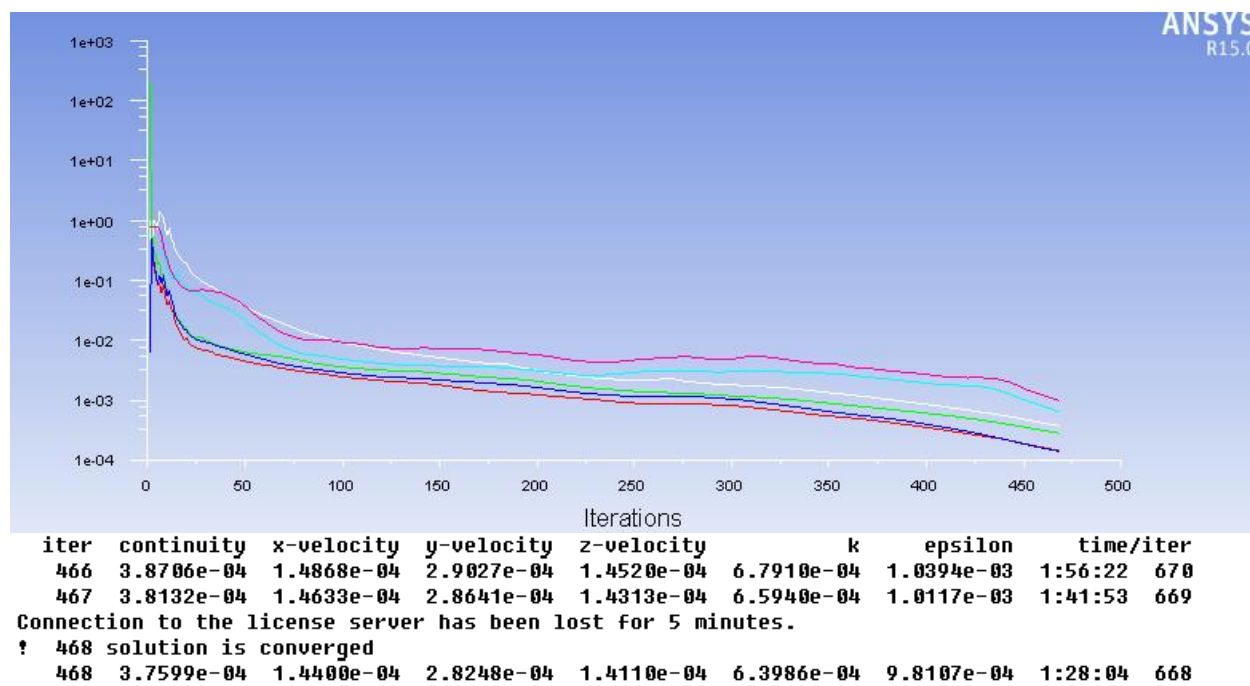
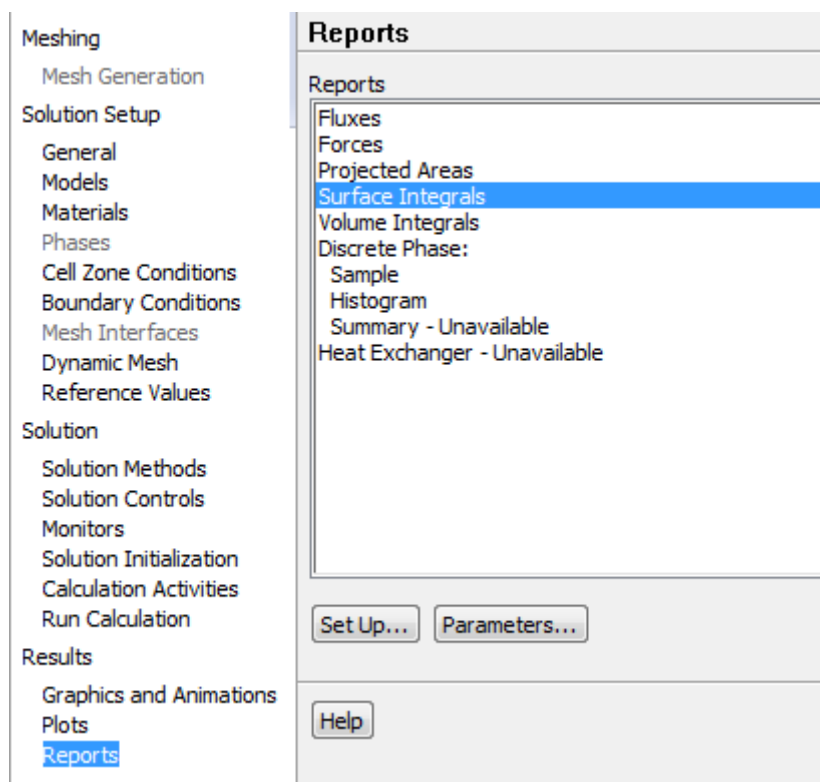


Рис. 21. Сходимость итерационного процесса

Заходим во вкладку "Reports" - "Surface Integrals". Во вкладке "Report Type" выбираем "Mass Flow Rate".



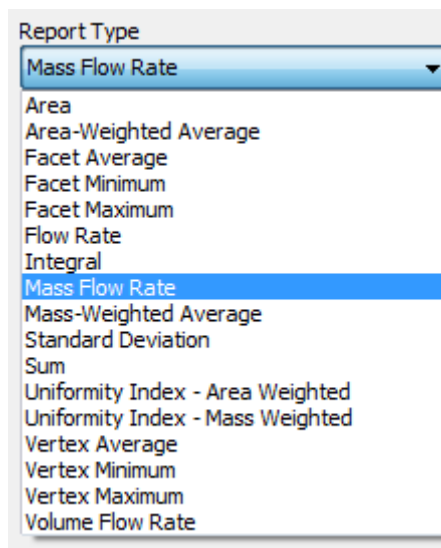


Рис. 22. Просмотр результатов моделирования

Далее последовательно выбираем все отверстия выхода "Vyh1" - "Vyh10" по одному и вычисляем значения массовых расходов через данные отверстия. В завершение рекомендуется оценить уровень неравномерности распределения теплоносителя по отдельным трубкам проточной части данного коллекторного устройства

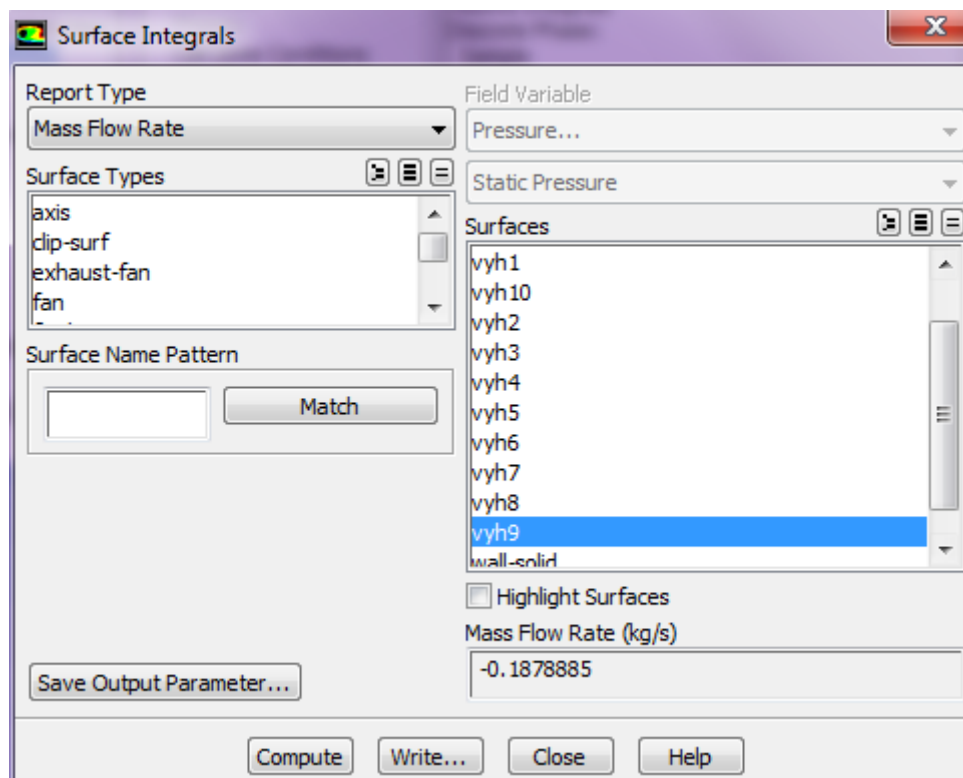


Рис. 23. Просмотр значения расхода через отверстие "Vyh9"

5. Необходимо провести моделирование для различных значений подводящего расхода, устанавливаемого в сечении "Vhod". Для каждого варианта моделирования посчитать значения расходов в отводящих трубках и построить зависимости значений расходов от номера трубки при различных значениях расхода на входе.

Выводы по работе

В ходе реализации методики численного моделирования турбулентных течений в раздаточном коллекторе решены следующие задачи:

- заданы параметры модели турбулентности;
- сформированы граничные условия;
- осуществлено моделирование и получены параметры неравномерности распределения рабочего тела по трубкам трубной решетки для однорядного коллектора.

При выполнении работ реализован сценарий процедуры моделирования, представляющий собой последовательность операций по созданию модели расчета, заданию граничных условий, заданию допустимых ошибок итерационного процесса решения систем сеточных уравнений для уравнений неразрывности, импульса, уравнений модели турбулентности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отчет о лабораторной работе должен отражать результаты комплекса работ по реализации методики профилирования и численного расчета гидродинамических процессов в проточной части трубопроводной системы.

Реализованный конструкторский инструментарий обеспечивает возможность оптимизации параметров трубной решетки за счет интеграции созданных проектных процедур с модулями компьютерной динамики жидкости среды ANSYS Workbench.

Реализована методика профилирования проточной части непосредственно в ANSYS "DesignModeler" и построения сетки в модуле "Meshing".

Практические результаты, полученные при использовании методики, позволят, в итоге, сократить сроки проектно-конструкторской и технологической подготовки производства и повышения качества продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валухов С. Г., Кретинин А. В. Математическое моделирование гидродинамических процессов в проточной части центробежного насоса с использованием нейросетевых алгоритмов / Насосы. Турбины. Системы. 2011, № 1. – С. 53-60.
2. Кузнецов А. В., Панайотти С. С., Савельев А. И. Автоматизированное проектирование центробежного насоса: методическое пособие / Под ред. С. С. Панайотти. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2002. – 48 с.
3. Ломакин А. А. Центробежные и осевые насосы. – М.–Л.: Машиностроение, 1966. – 364 с.
4. Овсянников Б. В., Селифонов В. С., Черваков В.В. Расчет и проектирование шнекоцентробежного насоса. – М.: МАИ, 1996. – 72 с.
5. Овсянников Б. В., Яловой Н. С. Моделирование и оптимизация характеристик высокооборотных насосных агрегатов. – М.: Машиностроение, 1992. – 378 с.
6. Панайотти С. С. Основы расчета и автоматизированное проектирование лопастных насосов с высокой всасывающей способностью. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 48 с.
7. Проектировочный гидравлический расчёт проточной части насоса МНН 7500. Технический отчет № 311-02-10. ФГУП «Турбонасос», 2010 г.
8. Проектирование проточной части насосов МНН 7500/249, 5250/264, 5250/211, 4500/247 и 4500/190. Технический отчет № 311-03-10. ФГУП «Турбонасос», 2010 г.
9. Создание высокотехнологичного производства магистральных нефтяных насосов нового поколения с использованием методов многокритериальной оптимизации и уникальной экспериментальной базы. Технический проект. Пояснительная записка. Магистральные нефтяные насосы типа МНН. МНН.00.00.00-00.000ПЗ. НИИ ЛМ, 2013 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Формирование 3D модели проточной части и генерация расчетной сетки с использованием модулей «Design Modeler» и «Meshing».....	3
Лабораторная работа № 2. Численный расчет изотермического турбулентного течения в раздаточном коллекторе.....	12
Заключение.....	19
Библиографический список.....	20

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Прикладная гидромеханика»
для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
(профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения
нефти, газа и продуктов переработки»)
всех форм обучения

Составители:
Валюхов Сергей Георгиевич
Галдин Дмитрий Николаевич
Кретинин Александр Валентинович

Издается в авторской редакции
Компьютерный набор Д. Н. Галдина

Подписано к изданию 18.05.2022.
Уч.-изд. л. 1,0.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84