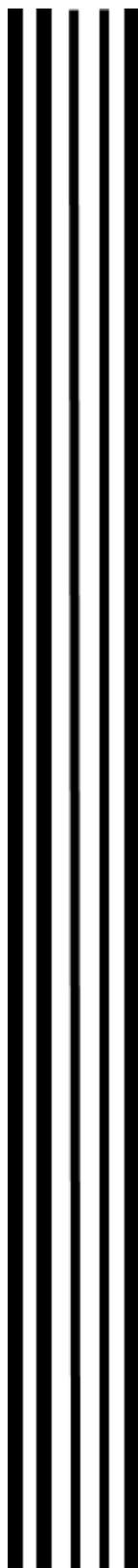


КФЭУ



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

Практикум

Казань
2021

УДК 004.94
ББК 22.31
К63

*Рекомендуется к изданию Методическим советом
Института теплоэнергетики КГЭУ*

К63 Компьютерные технологии в теплофизических процессах :
практикум / составители : В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Г. Р. Бадретдинова. –
Казань : КГЭУ, 2021. – 95 с.

Практикум содержит краткие теоретические сведения, описание построения трехмерных моделей, проведение численного моделирования.

Предназначен для обучающихся очной формы обучения по образовательной программе направления подготовки 16.03.01 Техническая физика, направленность (профиль) «Теплофизика».

УДК 049.94
ББК 22.31

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день неперенным условием повышения эффективности управленческого труда являются компьютерные технологии, обладающие гибкостью, мобильностью и адаптивностью к внешним воздействиям. Учебная дисциплина «Компьютерные технологии в теплофизических процессах» предполагает умение грамотно работать с информацией и вычислительной техникой.

Под компьютерными технологиями понимают сочетание процедур, реализующих функции сбора, получения, накопления, хранения, обработки, анализа и передачи информации в организационной структуре с использованием средств вычислительной техники или, иными словами, совокупность процессов циркуляции и переработки информации и описание этих процессов.

Целью практикума «Компьютерные технологии в теплофизических процессах» является формирование у обучающихся знаний по проектированию теплофизических процессов, деталей и сборочных единиц теплотехнического оборудования с использованием систем автоматизированного проектирования.

В процессе подготовки к лабораторной работе обучающийся должен усвоить теоретический материал, относящийся к данной лабораторной работе, изучить и ясно представить себе содержание и порядок выполнения лабораторной работы, знать принципы действия и особенности моделируемых конструкций, правила техники безопасности, знать ответы на приведенные в практикуме контрольные вопросы, а также выполнить необходимый по заданию объем предварительных расчетов, заготовить необходимые таблицы и рисунки, оформить отчет.

В результате выполнения лабораторных работ у обучающихся формируются:

- знания основных фундаментальных законов термодинамики и физики, понятия и определение основных понятий в технической физике, основы математического анализа и теории дифференциальных уравнений;

- умения пользоваться нормативно-методической документацией и справочниками системы автоматизированного проектирования технологических процессов;

- навыки в области информационных технологий – использование программных средств общего пользования: Microsoft Office, Corel Draw, Adobe Photoshop и т. д., специализированные программные средства: AutoCAD, MathCAD, Matlab, ANSYS Fluent.

Обучающиеся получают свой вариант задания в соответствии с порядковым номером в журнале преподавателя.

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. К работе с персональным компьютером допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом работы и краткими теоретическими сведениями практикума.

2. Вход в лабораторию осуществляется только по разрешению преподавателя.

3. На первом занятии преподаватель проводит инструктаж по технике безопасности и напоминает обучающимся о бережном отношении к лаборатории и о материальной ответственности каждого из них за сохранность оборудования и обстановки лаборатории.

4. При ознакомлении с рабочим местом необходимо проверить наличие комплектности оборудования и соединительных проводов. В случае отсутствия какого-либо элемента необходимо немедленно сообщить об этом преподавателю.

5. Если во время проведения работы замечены какие-либо неисправности оборудования, необходимо немедленно сообщить об этом преподавателю.

6. После окончания лабораторной работы привести в порядок рабочее место.

Лабораторная работа № 1

ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ В SPACESCLAIM

Цель работы – ознакомление с программным комплексом ANSYS Fluent, построение трехмерной модели детали в соответствии с приведенными вариантами.

Краткие теоретические сведения

Программный модуль ANSYS Fluent имеет широкий спектр возможностей моделирования течений жидкостей и газов для промышленных задач с учетом турбулентности, теплообмена, химических реакций. Во Fluent моделируют такие задачи, как горение в печах, течение внутри барботажной колонны, внешнее обтекание нефтедобывающих платформ, течение в кровеносной системе, конвективное охлаждение сборки полупроводника, вентиляция в помещениях, моделирование промышленных стоков. Специализированные модели горения, аэроакустики, вращающихся/неподвижных расчетных областей, многофазных течений серьезно расширяют области применения базового продукта.

ANSYS Fluent – это удобный, отказоустойчивый инструмент, позволяющий достигать высокой производительности труда. Интеграция модуля ANSYS Fluent в рабочую среду ANSYS Workbench, а также возможность использования модуля ANSYS CFD-Post для обработки результатов создает комплексное решение для выполнения инженерного анализа в области моделирования течений жидкостей и газов.

ANSYS Fluent полностью интегрирован в рабочую среду ANSYS Workbench – платформу, объединяющую весь набор средств инженерного моделирования компании ANSYS. Адаптивная архитектура позволяет пользователю выполнять любые действия от стандартного анализа течения жидкости или газа до обработки сложных взаимодействующих систем, используя простые операции *drag-and-drop* («перетащи и оставь»).

Турбулентность. ANSYS постоянно устанавливает и предъявляет новые требования к моделированию турбулентности, предлагая широкий набор моделей. В ANSYS Fluent доступны несколько распространенных *k-epsilon* и *k-omega* моделей, модель турбулентных напряжений Рейнольдса для сильных вихревых или анизотропных потоков, модели турбулентности для расчета больших вихрей (*LES*-модели) и модели изолированных вихрей (*DES*), подходящие для промышленных задач, Scale-Adaptive Simulation TM (*SAS*), предназначенная для течений, в которых недостаточно использования статических моделей турбулентности.

Теплообмен, фазовый переход, теплообмен излучением. ANSYS Fluent предлагает полный набор инструментов для моделирования конвективного, кондуктивного и лучистого теплообмена. Доступны модели для анализа излучений в оптически толстой (участвующей) среде, а также модель «поверхность-поверхность» (основанная на коэффициентах излучения) для прозрачной (неучаствующей) среды. Модель дискретных ординат подходит для любой среды, в том числе для стекла. Модель тепловой нагрузки от солнечного излучения позволяет решать задачи управления микроклиматом в помещениях. Другие возможности, тесно связанные с теплообменом, включают в себя модели кавитации, модели сжимаемых жидкостей, теплообменников, оболочечной проводимости, реальных газов, влажного пара, таяния и застывания. Испарение капель или влажных частиц, выход летучих компонентов из угля можно моделировать при помощи модели дискретных фаз (*DPM*-модель).

Течения с химическими реакциями. Комплексное моделирование химических реакций, особенно в условиях турбулентности, с самого начала являлось отличительной чертой ANSYS Fluent. Принцип рассеяния вихря, перенос функций распределения вероятности (*PDF*), модели химических реакций с конечной скоростью в совокупности с основополагающими компонентами технологии ANSYS Fluent, такими как модели фракций равновесных смесей, диффузного пламени, горения заранее смешанных компонентов, являются необходимыми при выполнении расчетов горения газообразного, жидкого топлива, угля. Модели реакций между газами и твердыми поверхностями, прогнозирование образования NO_x , SO_x и других загрязнителей также широко используются и являются настраиваемыми. В ANSYS Fluent модели реакций могут быть использованы совместно с моделями турбулентности больших вихрей (*LES*-модель) и изолированных вихрей (*DES*-модель).

Многофазные потоки. Технология моделирования многофазных потоков ANSYS Fluent дает возможность заглянуть внутрь исследуемого объекта (работающей машины, аппарата, узла). Модель многофазных течений Эйлера использует отдельные системы уравнений для каждой взаимно проникающей фазы. Для случая, когда одна из сред гранулированная, может применяться специальная физическая модель. Во многих случаях для гранулированных и негранулированных смесей можно использовать более экономичную модель смеси. Возможно моделирование неограниченного числа фаз для любого сочетания жидкостей, газов, твердых тел. Также становится возможным моделирование реактора с орошаемым слоем и реактора типа барботажных колонн, можно рассчитать теплоперенос

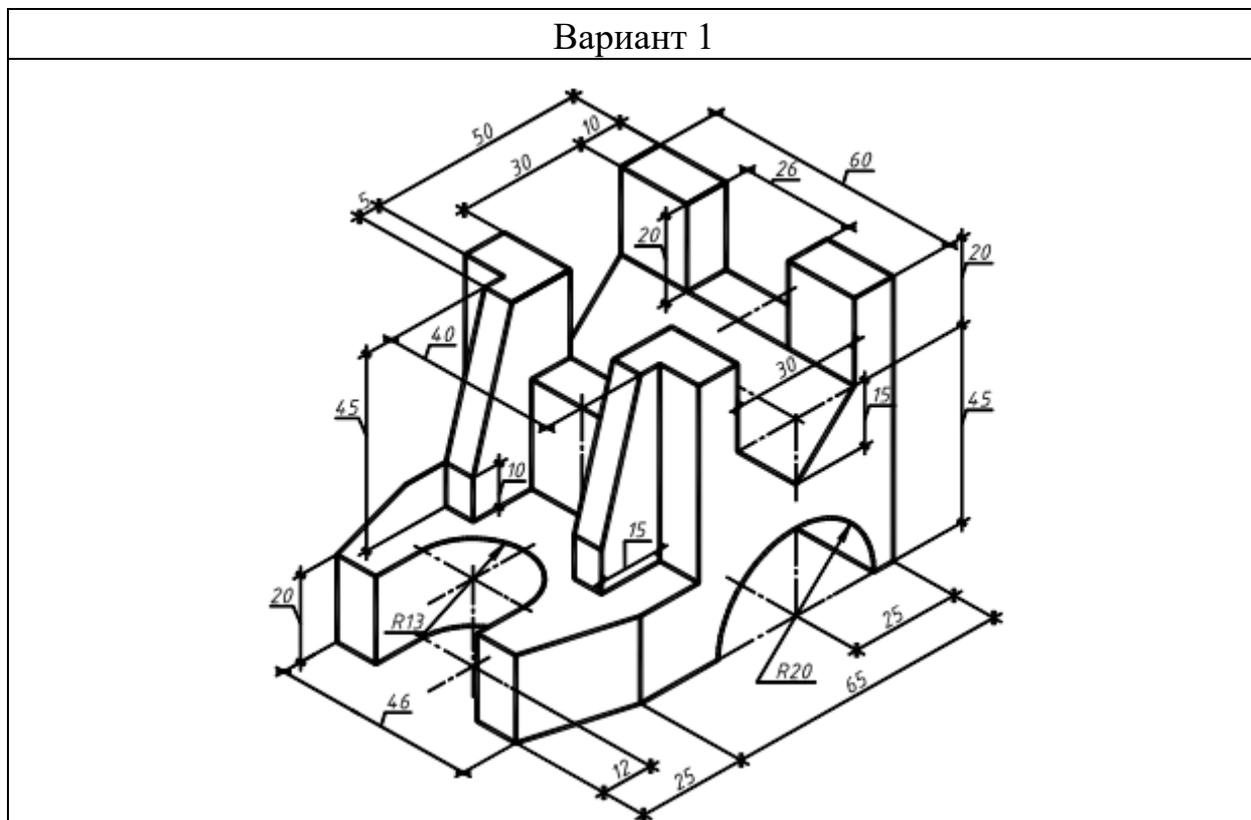
и массоперенос между фазами, что необходимо для моделирования гомогенных и гетерогенных реакций. Возможно отслеживание распределения размеров пузырей с использованием интегрированных моделей баланса заполнения. Для потоков со свободной поверхностью, например, для волн океана, где важно спрогнозировать поверхность раздела фаз, доступна модель объема жидкости (*Volume of Fluid*).

Модель дискретных фаз (*DPM*-модель) и модель Лагранжа являются применимыми к некоторым задачам многофазных потоков, таким как моделирование распылительной сушилки, угольной топки, непрерывного вытягивания волокна, распыления жидкого топлива. При впрыске частиц, пузырей, каплей может учитываться теплоперенос, массоперенос, перенос импульса с основной фазой.

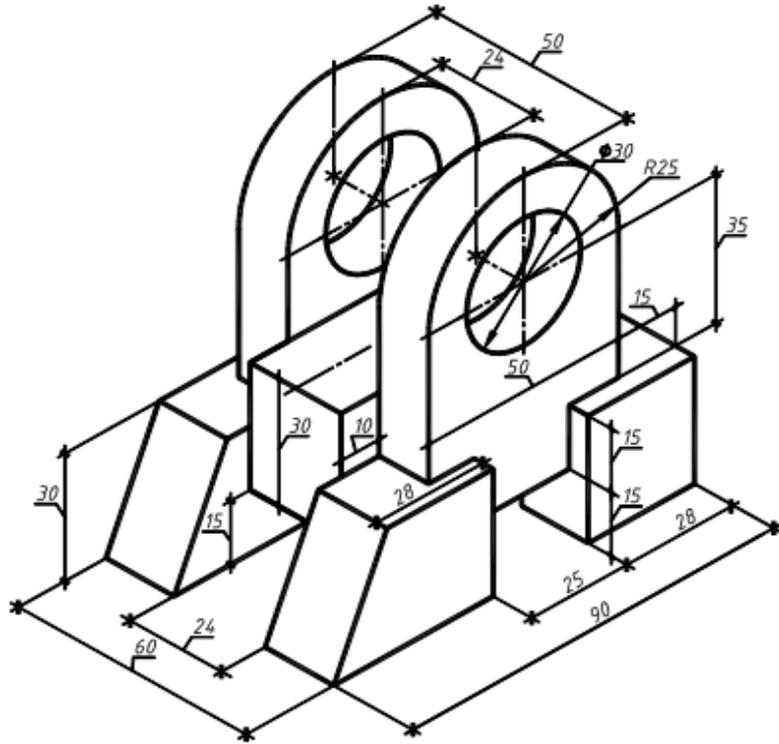
Таким образом, ANSYS Fluent позволяет быстро получать точные решения в области вычислительной гидрогазодинамики [1].

Задание на выполнение лабораторной работы

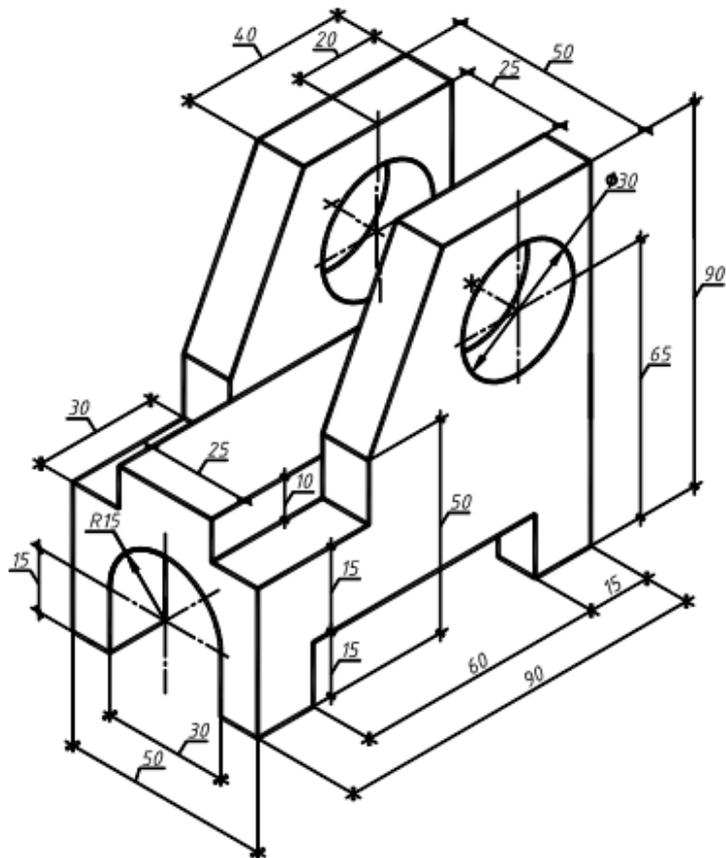
Осуществите типовое построение трехмерной модели в соответствии со своим вариантом.



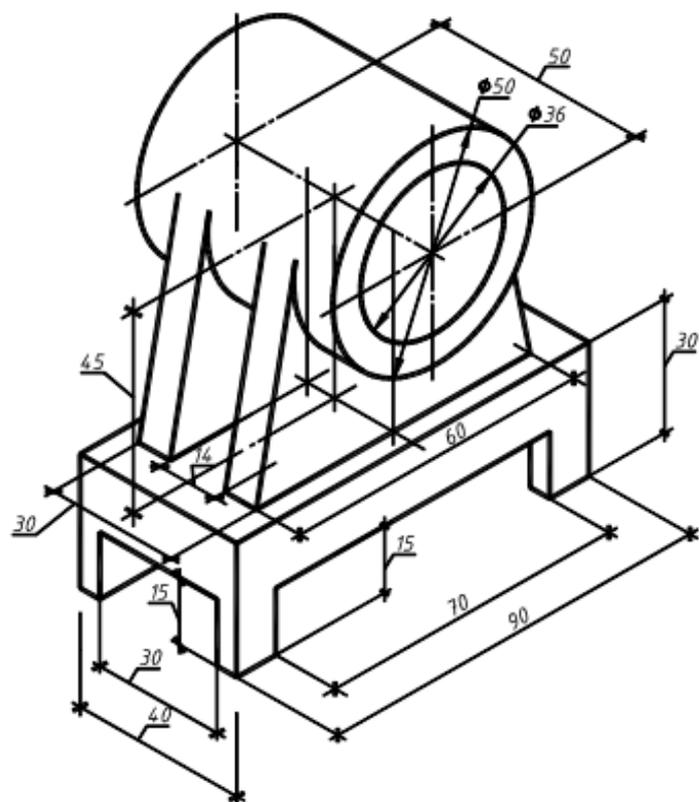
Вариант 2



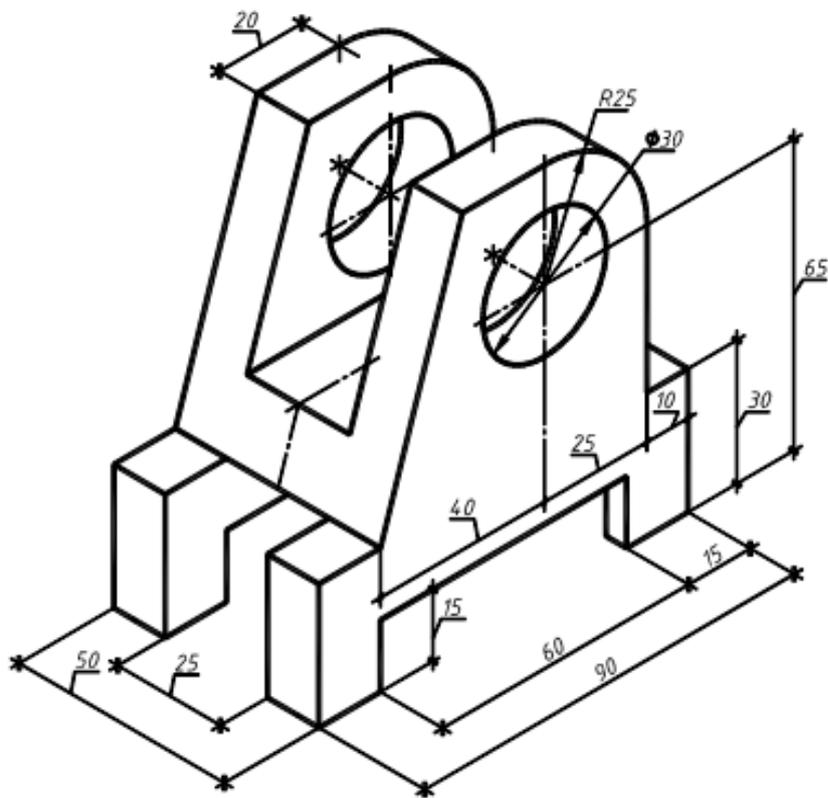
Вариант 3



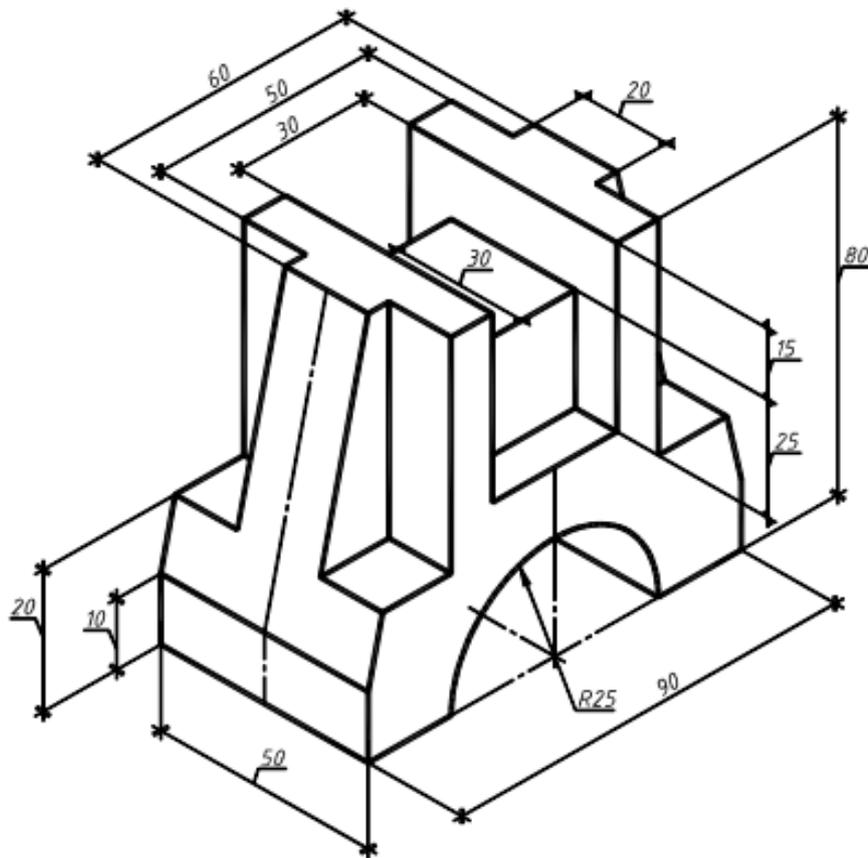
Вариант 4



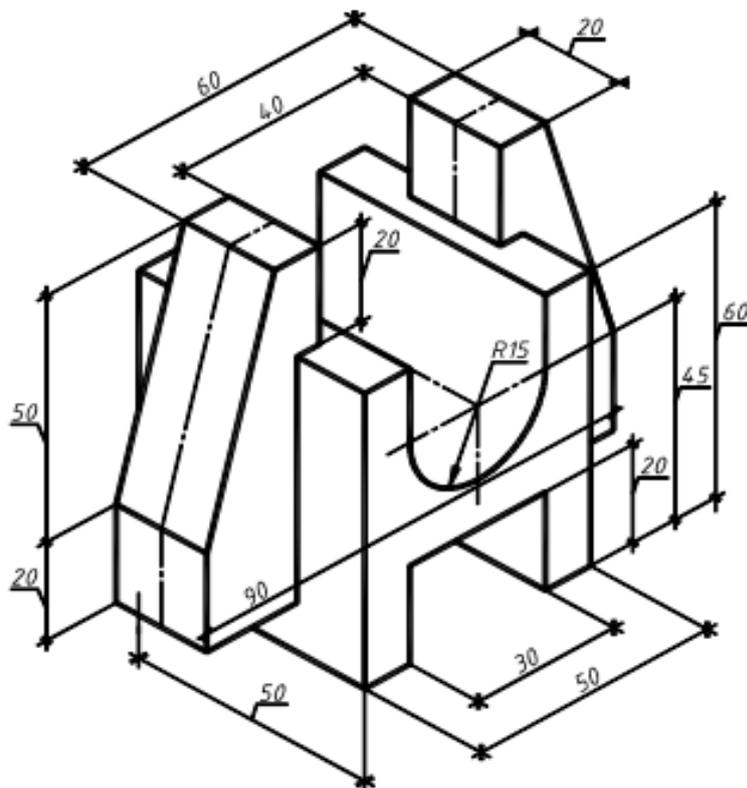
Вариант 5



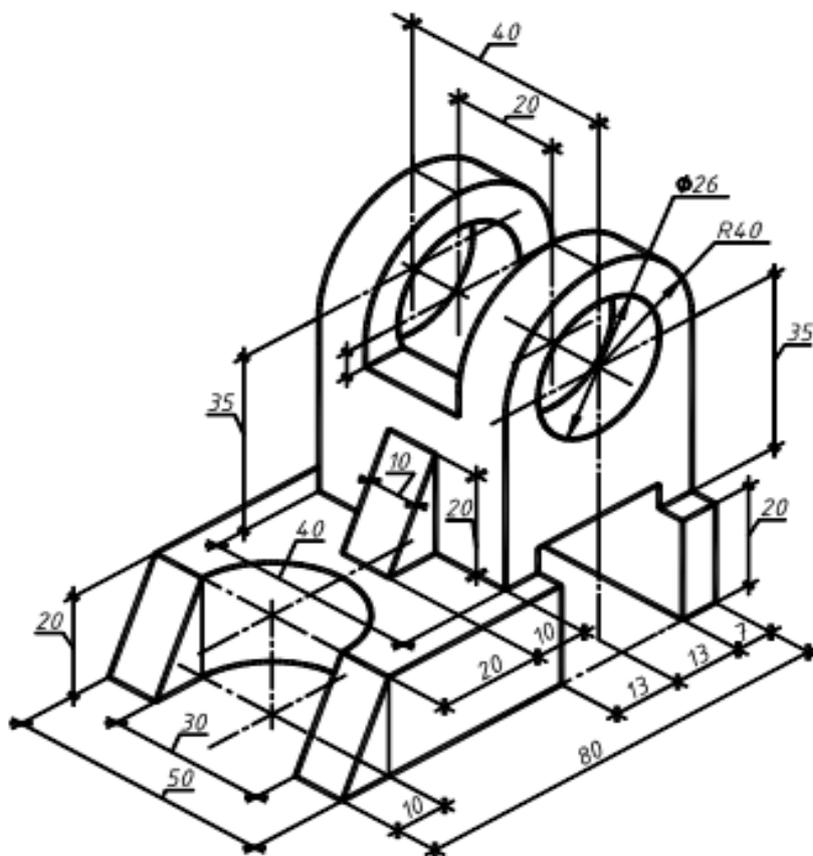
Вариант 6



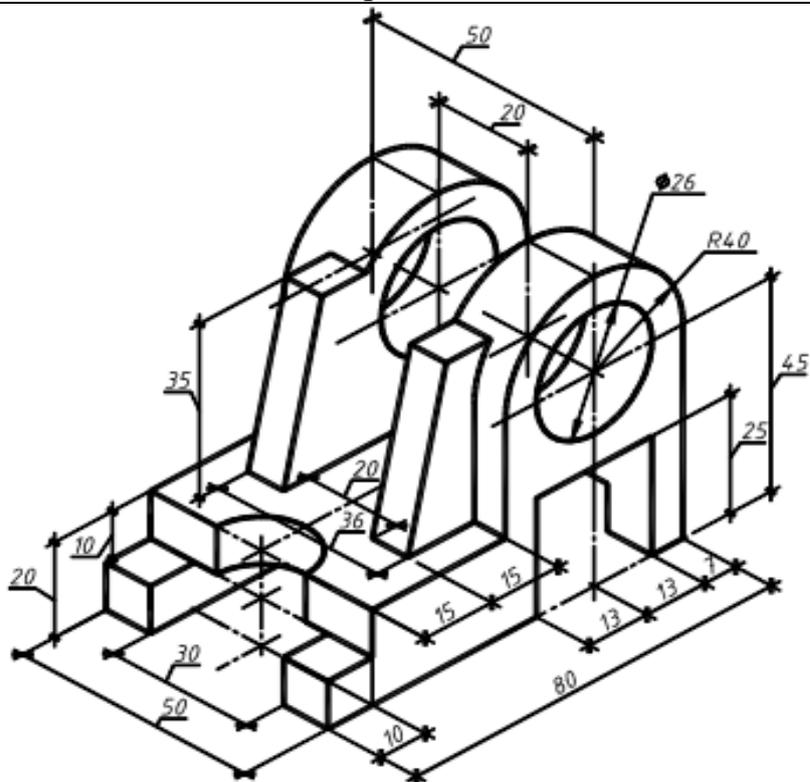
Вариант 7



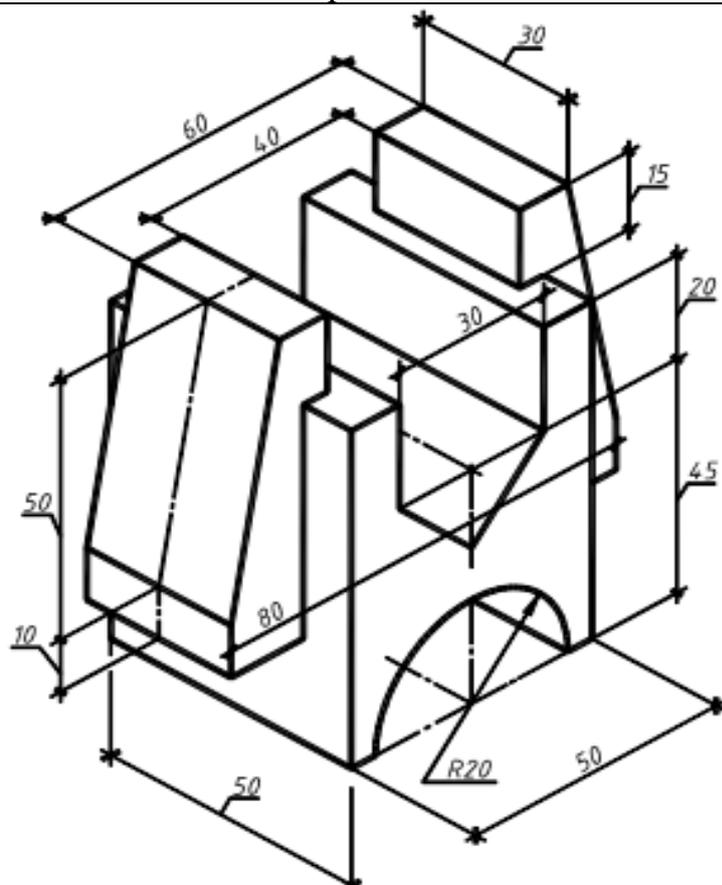
Вариант 8



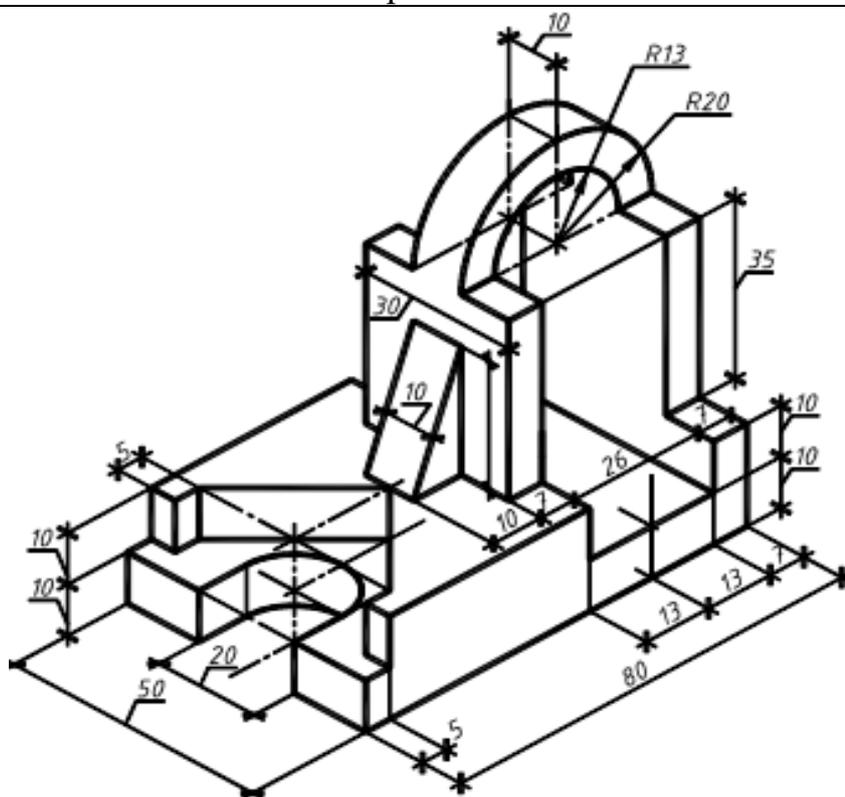
Вариант 9



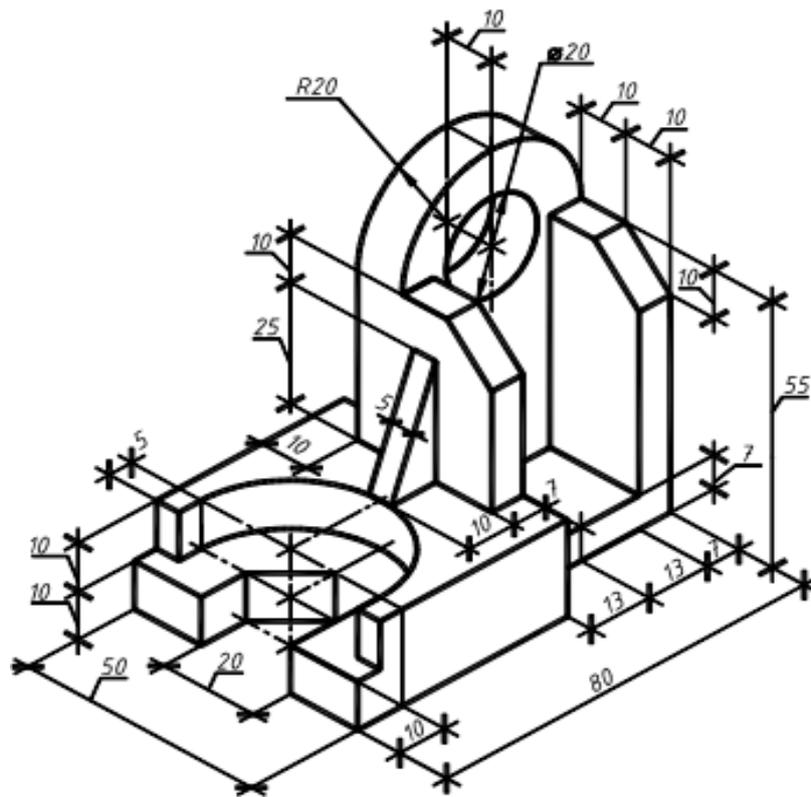
Вариант 10



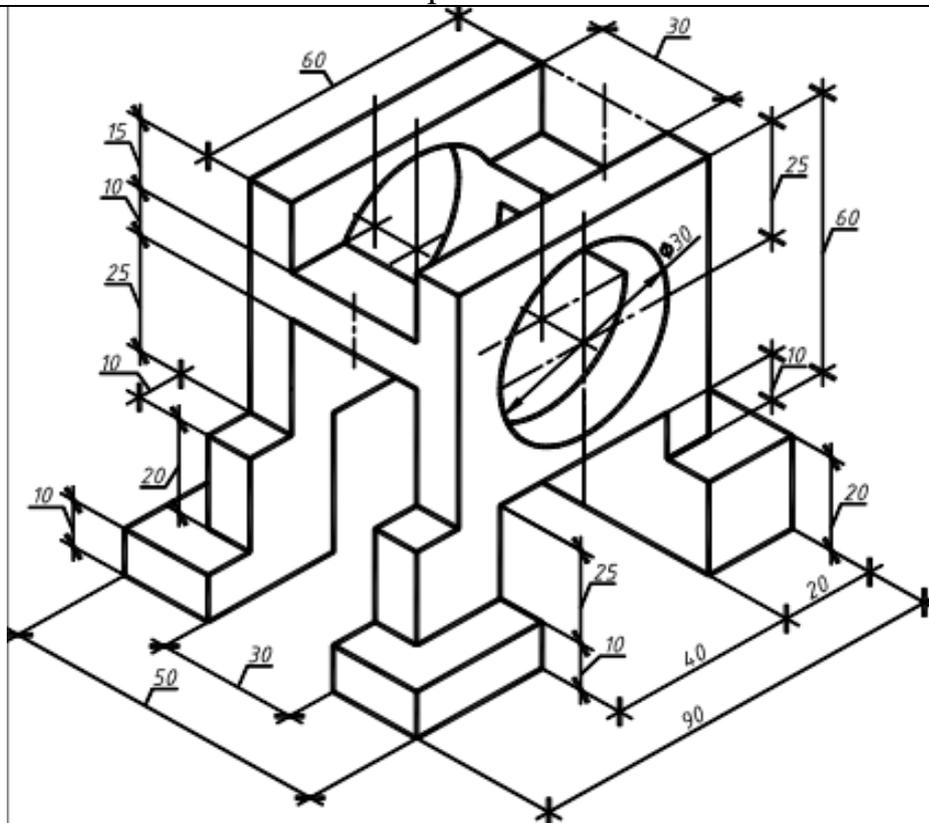
Вариант 11



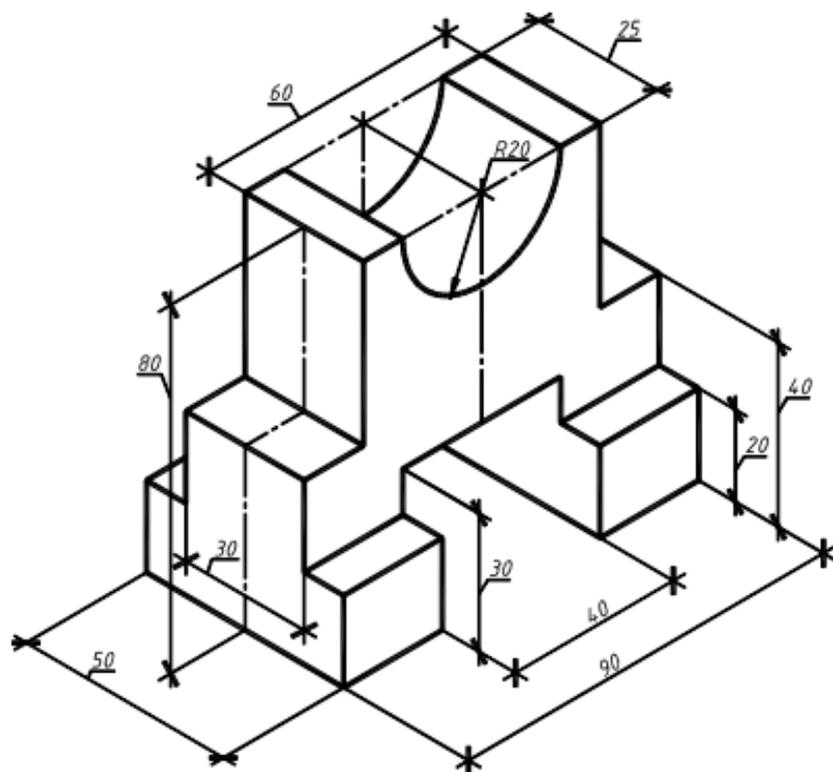
Вариант 12



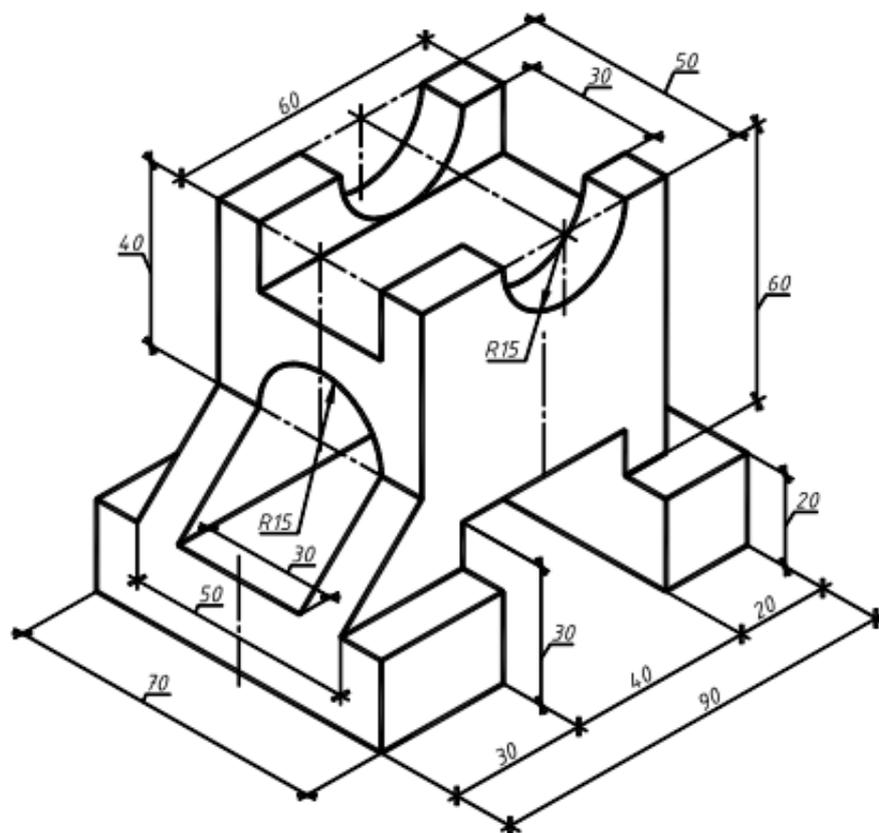
Вариант 13



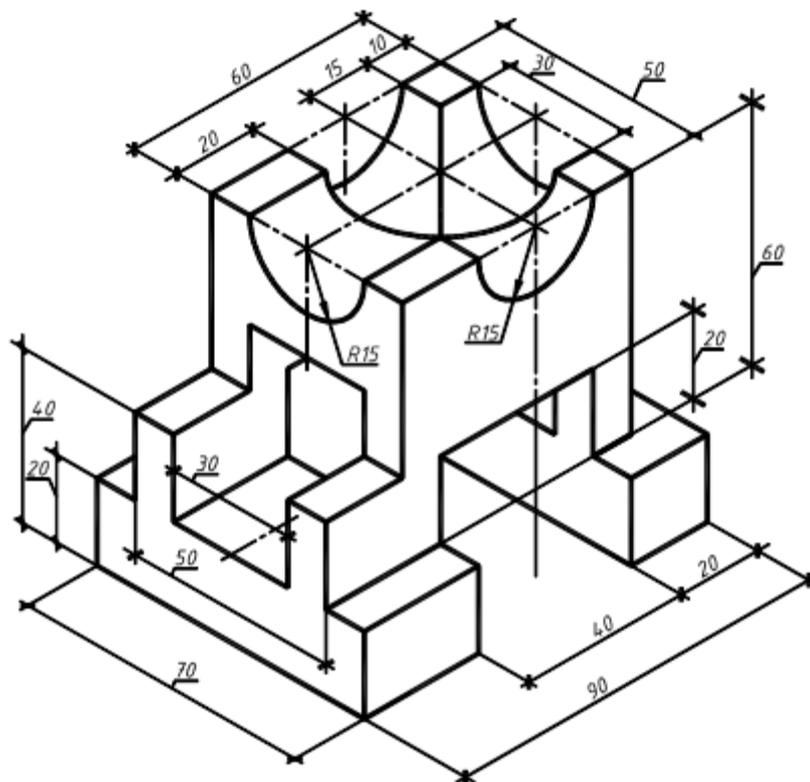
Вариант 16



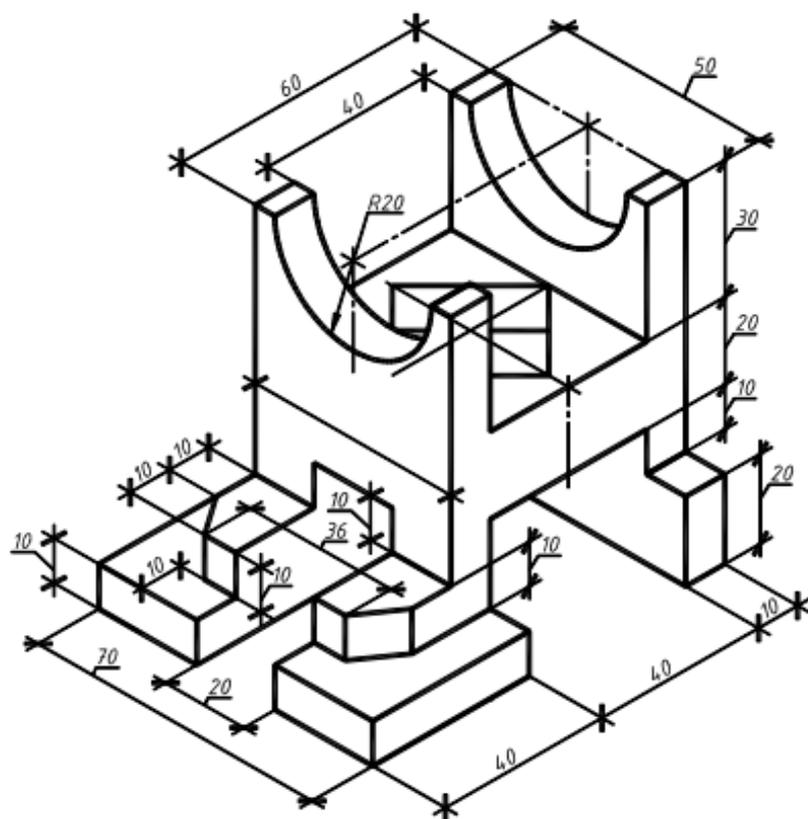
Вариант 17



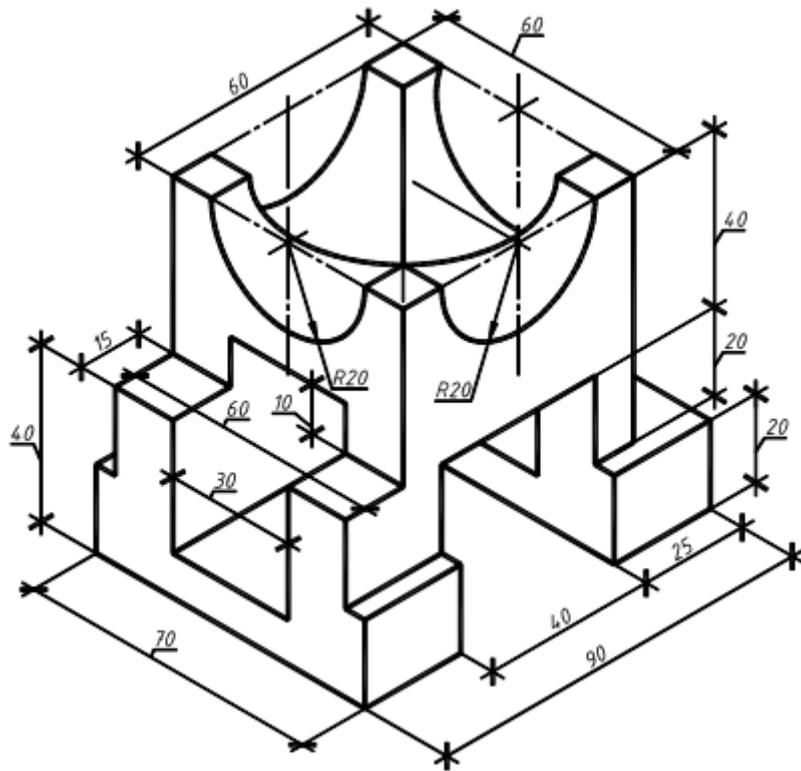
Вариант 18



Вариант 19



Вариант 20



Методика выполнения лабораторной работы

Рассмотрим на конкретном примере (рис. 1.1) построение трехмерной модели в программе SpaceClaim.

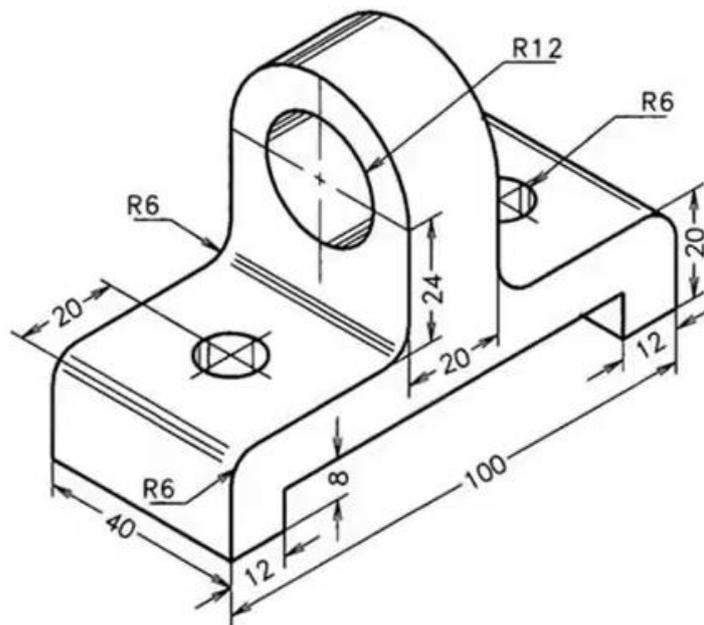


Рис. 1.1. Исходная трехмерная модель

1. Откройте программу SpaceClaim (рис. 1.2).

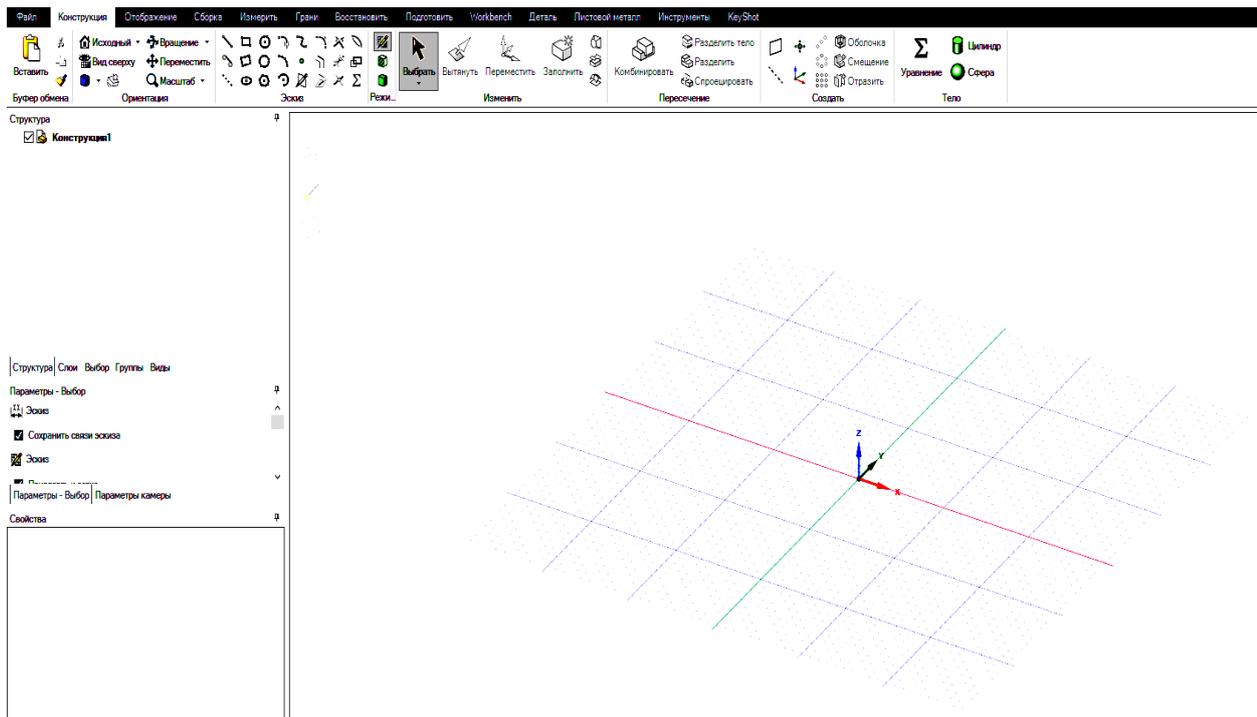


Рис. 1.2. Трехмерная модель

2. Создайте прямоугольник в эскизе с размерами $100 \times 40 \times 20$. Для этого в верхней панели управления в блоке «Эскиз» выберите «Прямоугольник» и произвольно его нарисуйте с размерами 100×40 (рис. 1.3). Переключение между размерами осуществляется клавишей «TAB». Для того чтобы отключить активную команду, нажмите клавишу «ESC».

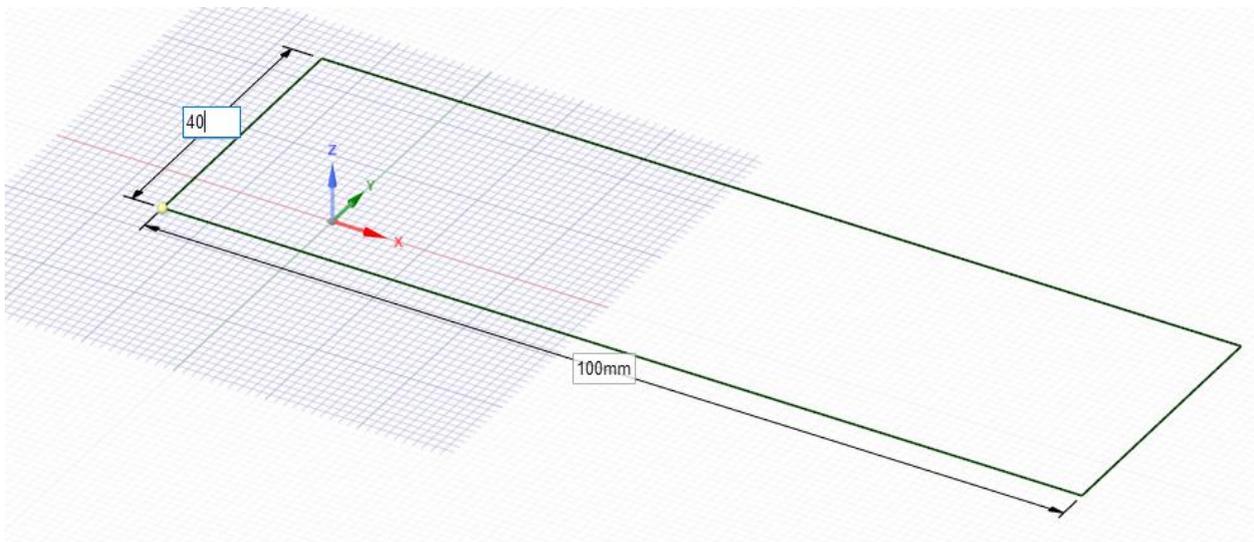


Рис. 1.3. Создание прямоугольника с размерами 100×40

3. Придайте толщину пластине – 20 мм. Для этого в верхней панели управления в блоке «Изменить» активируйте функцию «Вытянуть». Далее наведите на прямоугольник и левой кнопкой мыши вытяните пластину, указав при этом значение «20 мм» (рис. 1.4).

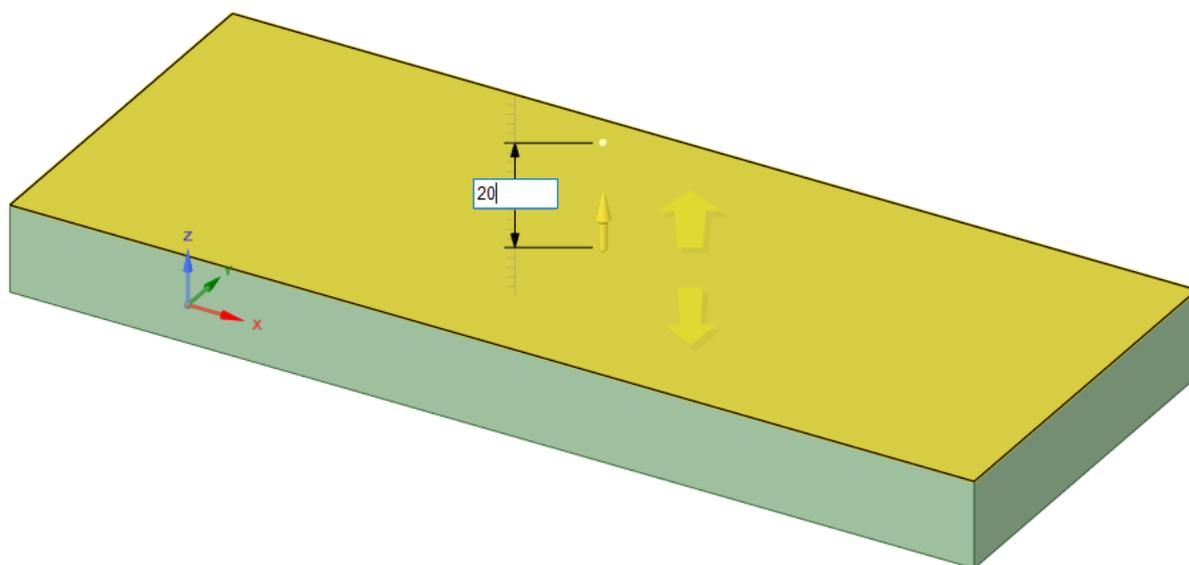


Рис. 1.4. Создание пластины с размерами 100×40×20 мм

4. Для создания выреза в нижней части трехмерной модели, представленной на рис. 1.1, выделите боковую грань пластины и создайте на ней эскиз (рис. 1.5). Создание эскиза можно активировать горячей клавишей «K» или в верхней панели управления выбрать «Режим эскиза».

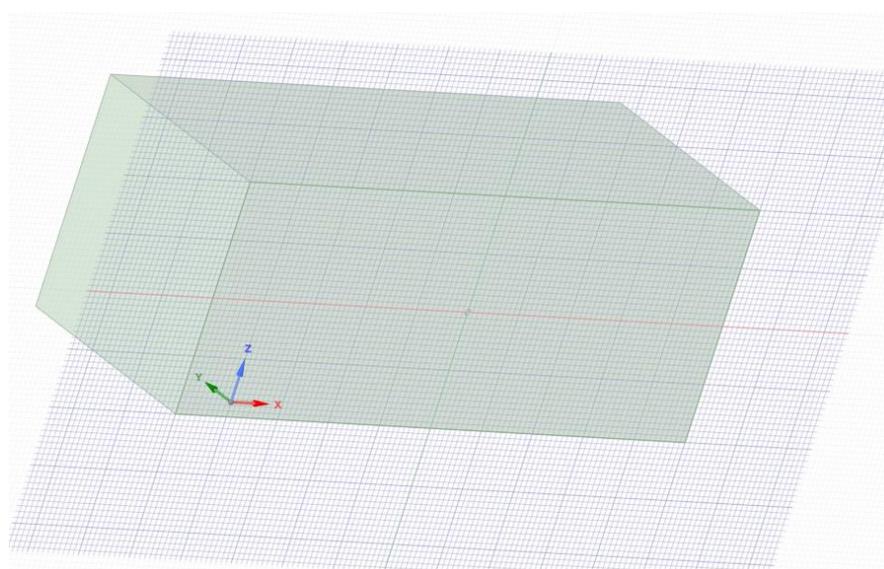


Рис. 1.5. Создание эскиза на боковой грани пластины

5. Для удобства построения геометрии в новом эскизе измените ориентацию трехмерной модели. Выберите «Вид сверху» во вкладке «Ориентация» в верхней панели управления (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Изменение ориентации

6. Согласно рис. 1.1 создайте в эскизе прямоугольник размерами 76×8 мм. Для того чтобы создать прямоугольник из центральной точки, можно активировать функцию «Задать прямоугольник от центра» в структуре проекта в левой части (рис. 1.7).

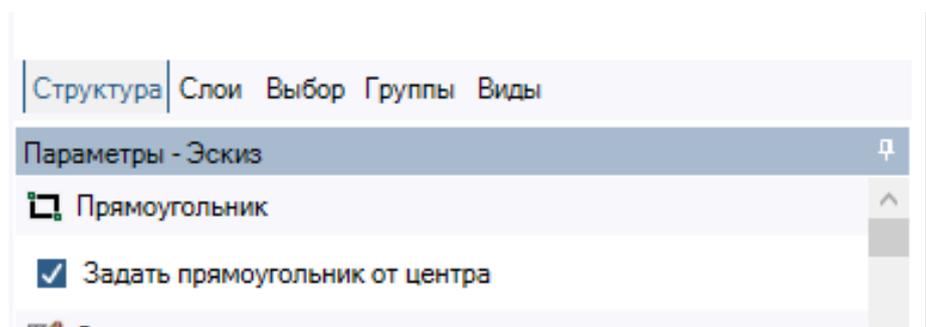


Рис. 1.7. Создание прямоугольника от центра

7. Применяв операцию «Вытянуть» левой кнопкой мыши, выделите нарисованный прямоугольник и удалите его, удерживая левую кнопку мыши (рис. 1.8).

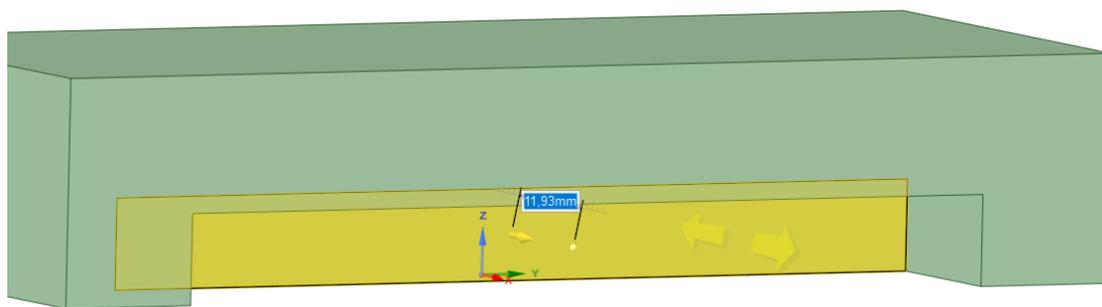


Рис. 1.8. Применение операции «Вытянуть»

Для создания скруглений выберите боковые ребра и с помощью операции «Вытянуть» задайте радиус скругления 6 мм (рис. 1.9).

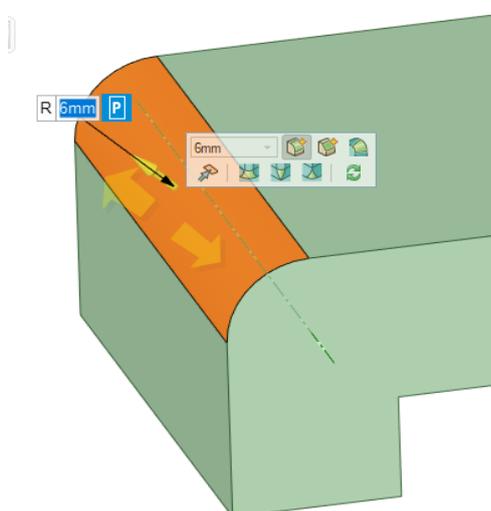


Рис. 1.9. Создание скруглений радиусом 6 мм

Аналогично сделайте с другой стороны (рис. 1.10).

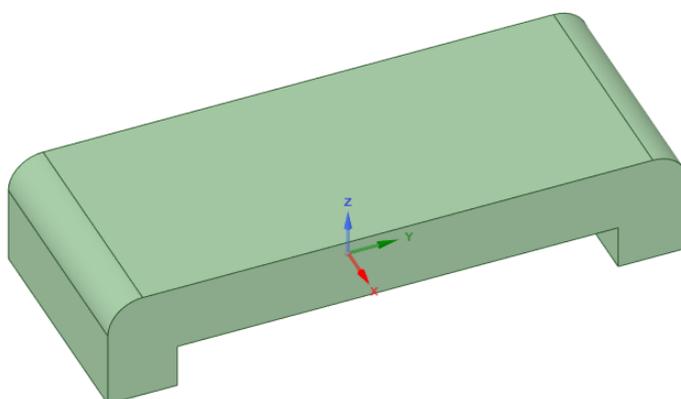


Рис. 1.10. Создание скруглений с противоположной стороны

8. Далее создайте два отверстия радиусом 6 мм согласно рис. 1.1. Для этого выберите новый эскиз и на расстоянии 20 мм от ребра создайте окружности. Для удобства после вхождения в режим эскиза необходимо нажать «Вид сверху» (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Создание эскиза и применение операции «Вид сверху»

9. Далее выберите в верхней панели управления во вкладке «Эскиз» создание окружностей («Окружность»). После чего в левой части экрана в структуре выберите «Декартовы размеры», которые позволят задать расстояние от ребер модели до необходимого центра окружностей (рис. 1.12).

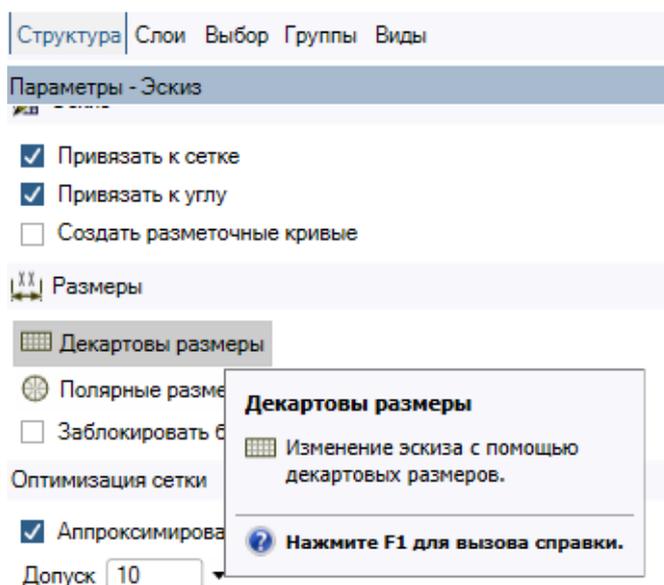


Рис. 1.12. Изменение эскиза с помощью декартовых размеров

10. Далее выберите в эскизе крайнюю правую верхнюю точку в качестве начала отсчета (рис. 1.13).

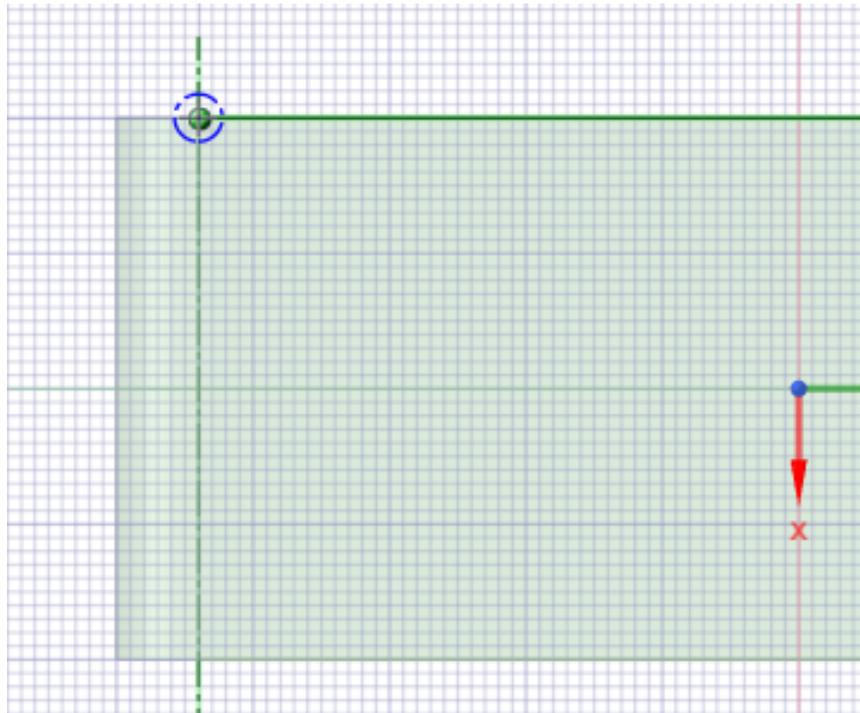


Рис. 1.13. Выбор крайней верхней правой точки

Согласно размерам на рис. 1.1 задайте расстояние 20 и 20 мм (рис. 1.14).

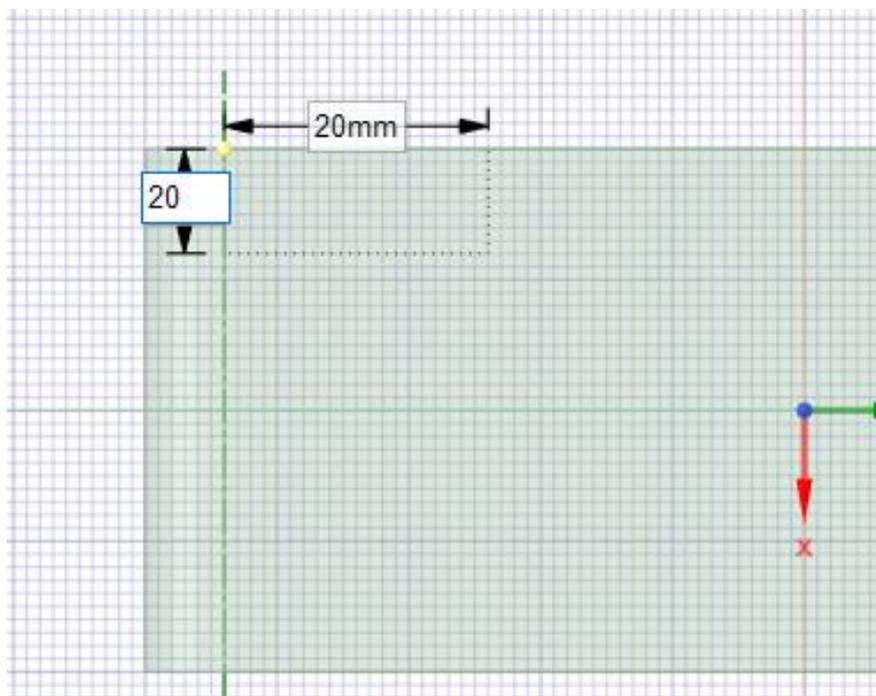


Рис. 1.14. Создание центра окружности с помощью команды «Декартовы размеры»

11. Создайте окружность радиусом 6 мм (рис. 1.15).

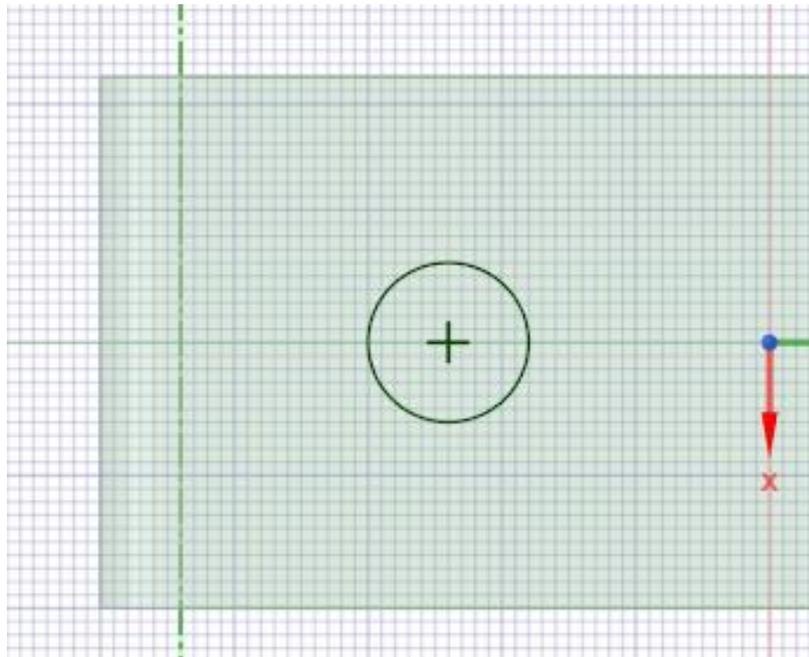


Рис. 1.15. Создание первой окружности

Аналогично создайте вторую окружность. Далее с помощью команды «Вытянуть» создайте 2 отверстия (рис. 1.16). Для того чтобы выделить две окружности, при создании отверстий необходимо зажать клавишу «CTRL».

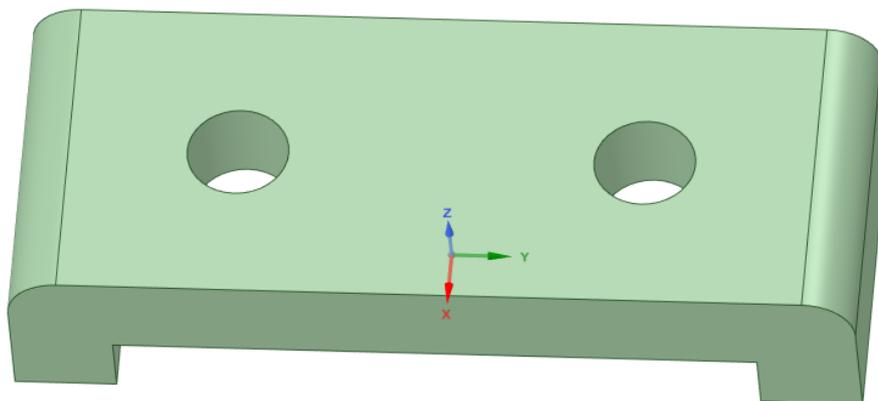


Рис. 1.16. Создание отверстий

12. Создайте центральную часть трехмерной модели согласно рис. 1.1. Для этого перейдите в режим эскиза и создайте в центральной части модели прямоугольник с размерами 40×20 мм (рис. 1.17). Для удобства можно активировать команду «Прямоугольник от центра» в левой части экрана в структуре дерева.

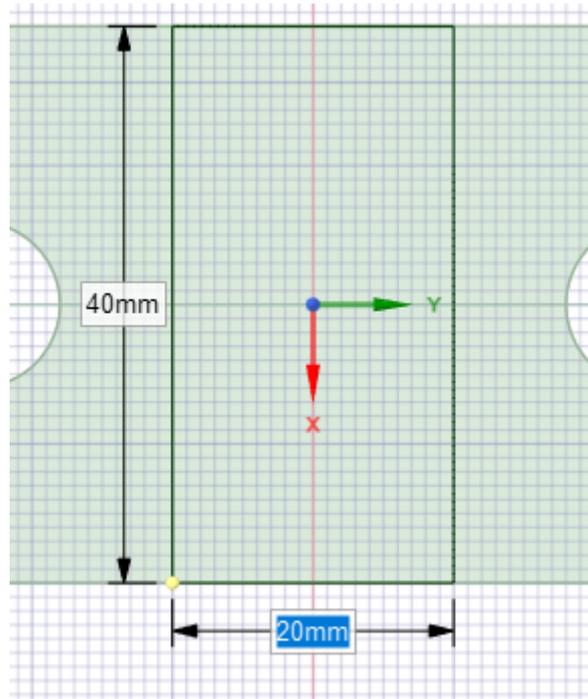


Рис. 1.17. Создание прямоугольника в эскизе в центральной части модели

13. С помощью команды «Вытянуть» преобразуйте эскиз в трехмерный прямоугольник (рис. 1.18).

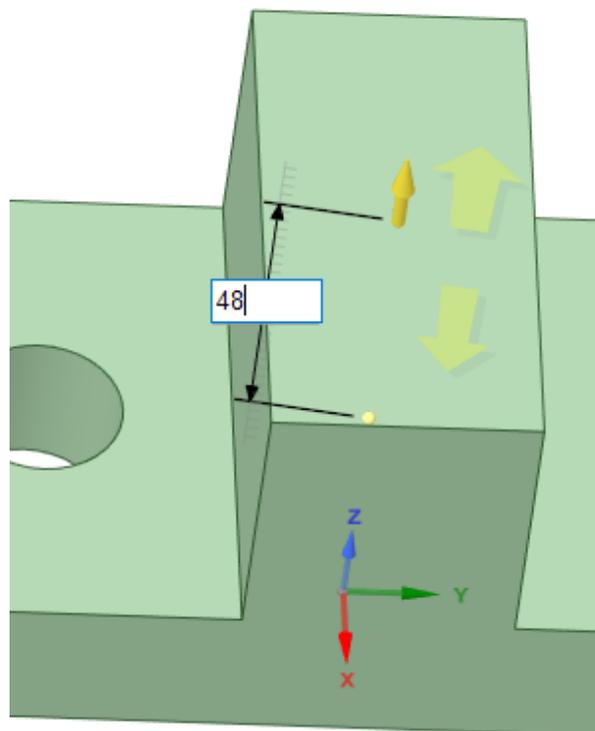


Рис. 1.18. Создание центральной части трехмерной модели

14. Перейдите к созданию отверстия в созданном прямоугольнике. Для этого выберите одну из наибольших граней прямоугольника и перейдите в режим эскиза (рис. 1.19).

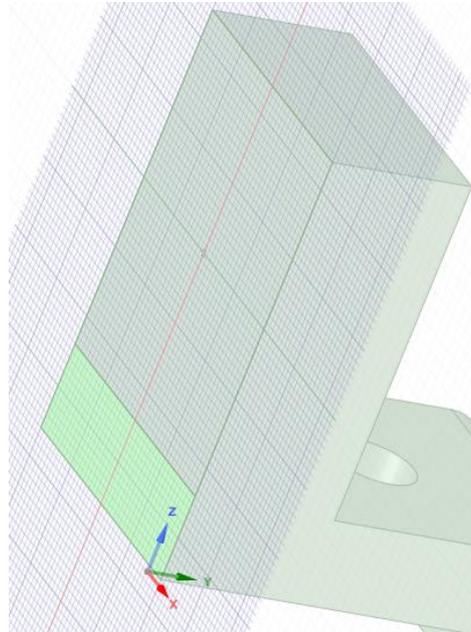


Рис. 1.19. Создание эскиза

15. Для удобства нажмите «Вид сверху». Далее выберите создание окружности и с помощью дополнительной операции «Декартовы координаты» задайте центр окружности согласно рис. 1.1 (рис. 1.20) и создайте окружность радиусом 12 мм.

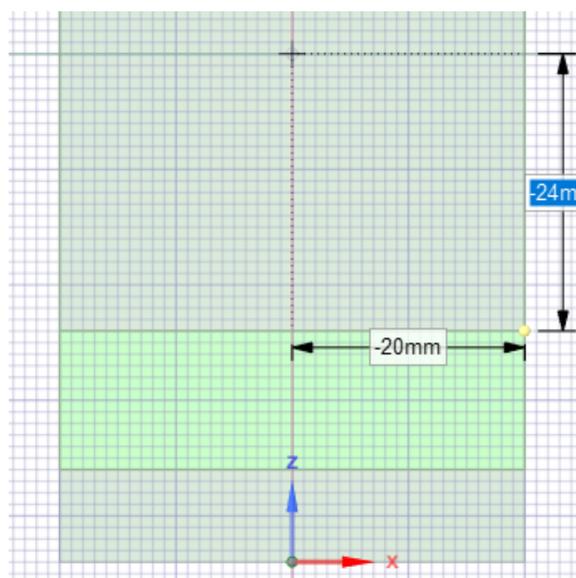


Рис. 1.20. Создание центра окружности

16. Далее с помощью операции «Вытянуть» создайте отверстие (рис. 1.21).

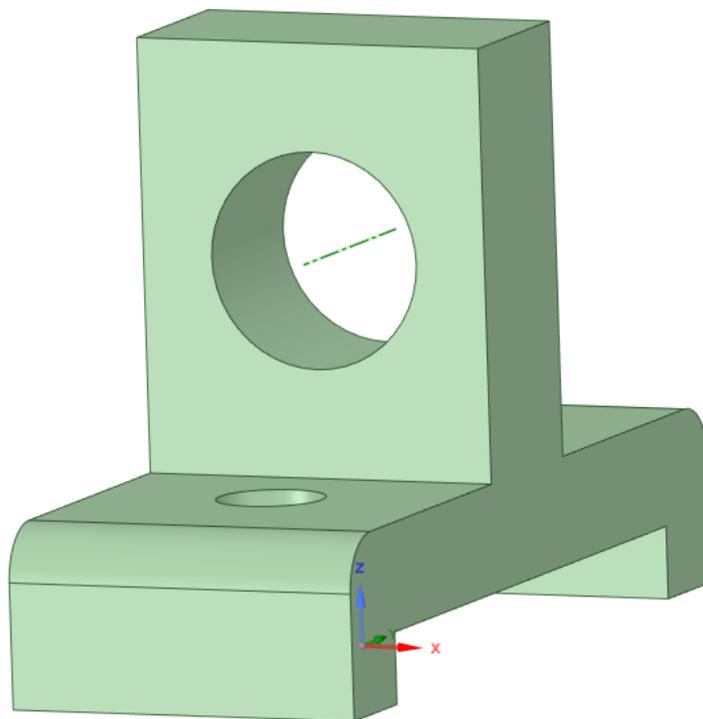


Рис. 1.21. Создание центрального отверстия

17. Создайте скругления в нижней части прямоугольника. Для этого выберите нижнее ребро и активируйте команду «Вытянуть», задайте значение 6 мм (рис. 1.22).

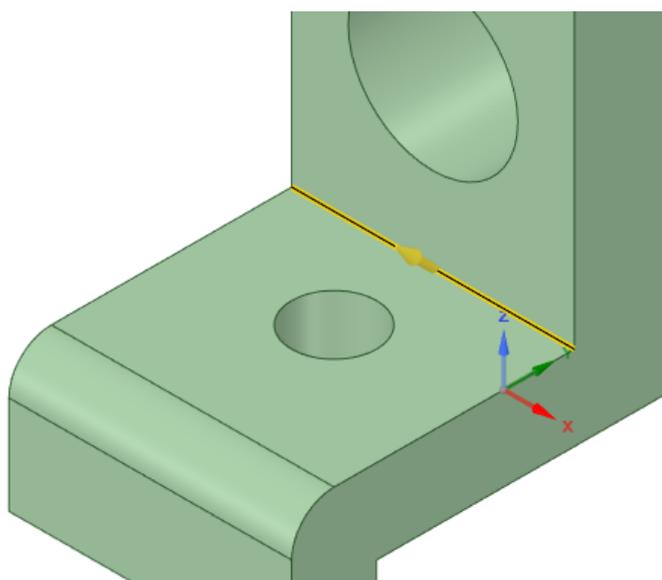


Рис. 1.22. Создание скруглений с помощью команды «Вытянуть»

Произведите данную операцию с двух сторон согласно рис. 1.1 (рис. 1.23).

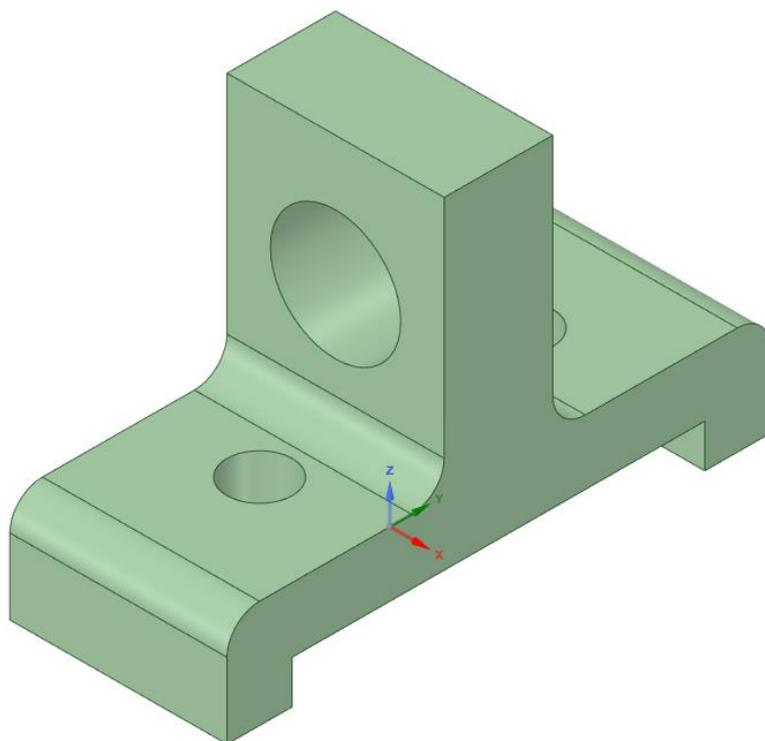


Рис. 1.23. Создание скруглений в нижней части прямоугольника

18. Для создания верхнего скругления выделите два верхних ребра и активируйте команду «Вытянуть» (рис. 1.24).

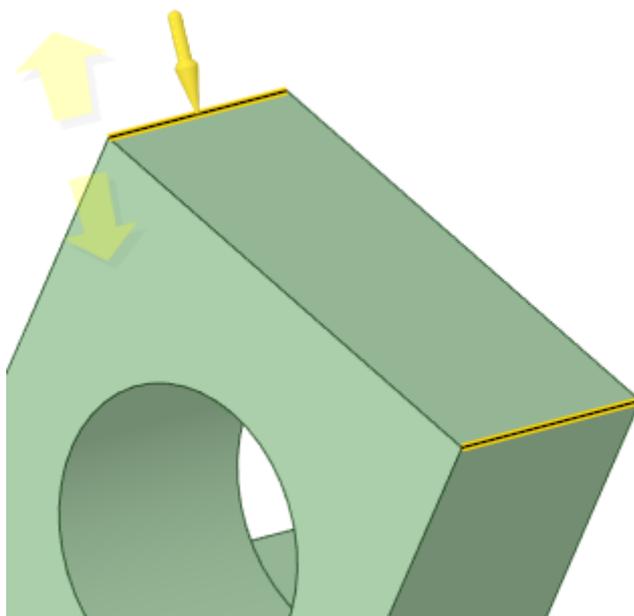


Рис. 1.24. Создание верхнего скругления

19. Далее, зажав левую кнопку мыши, создайте скругление радиусом 20 мм. На этом создание трехмерной модели закончено (рис. 1.25).

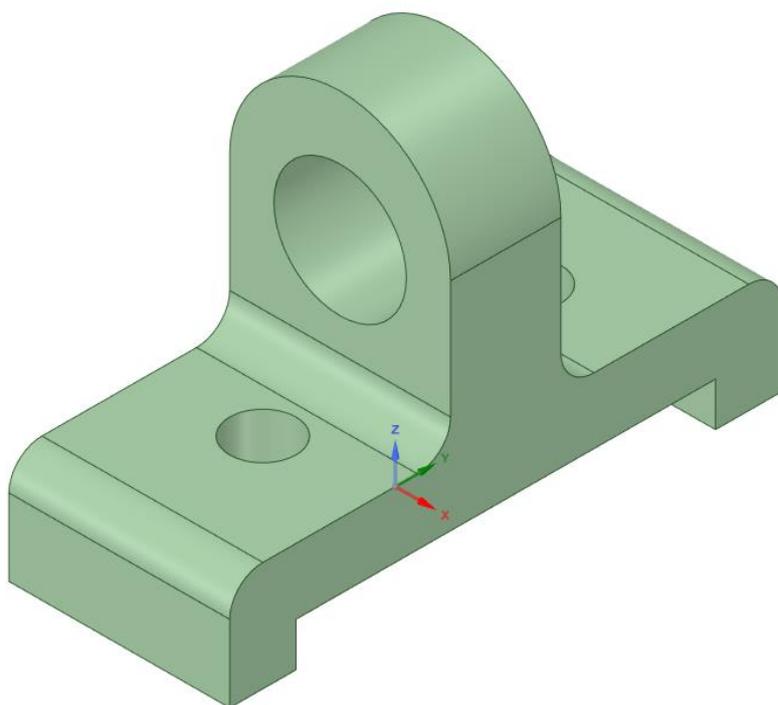


Рис. 1.25. Создание верхнего скругления радиусом 20 мм

Требования к отчету о проделанной работе

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать:

- краткое описание теоретической части;
- трехмерную модель детали;
- вывод по результатам проведенной работы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите возможности программного модуля ANSYS fluent.
2. Какие задачи моделирует ANSYS Fluent?
3. Перечислите основные модели турбулентности, используемые при моделировании течения потоков газов и жидкости.
4. Расскажите об инструментах для моделирования конвективного, кондуктивного и лучистого теплообмена. Перечислите основные модели, связанные с теплообменом.
5. Опишите, какое комплексное моделирование течения с химическими реакциями в условиях турбулентности используется в ANSYS Fluent.

6. Что такое многофазные потоки? Какие возможности предоставляет ANSYS Fluent при моделировании многофазных потоков?

7. Какую функцию необходимо активировать в верхней панели управления в блоке «Изменить» для создания толщины модели?

8. Перечислите действия создания выреза в трехмерной модели.

9. Перечислите действия создания скругления боковых ребер в трехмерной модели.

10. Перечислите действия создания отверстия в трехмерной модели.

Лабораторная работа № 2

СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАТОРА

Цель работы – изучение конструкции и принципа действия классификатора. Построение трехмерной модели классификатора в соответствии с приведенными вариантами.

Краткие теоретические сведения

В настоящее время практически во всех отраслях промышленности используются мелкодисперсные порошки. От степени их измельчения и распределения размеров зависят свойства продукта, который из них изготовлен. Даже самые высокотехнологичные мельницы при дроблении частиц создают очень широкий спектр их размеров. Разделить по размерам крупные частицы позволяют различные сита, но при классификации мелкодисперсных частиц они не могут эффективно работать. В развитых странах классификаторы мелкодисперсных частиц имеют сложные конструкции, большие габаритные размеры и требуют дорогостоящего обслуживания.

Реализация качественной классификации мелкодисперсного измельченного порошкового материала мельницами на различные фракции является неотъемлемой задачей большинства промышленных объектов [2, 3]. В настоящее время для решений данной задачи применяется большое количество разнообразных модификаций классификаторов и воздушных сепараторов. Помимо технических требований на выбор определенной модели аппарата влияют комплексные сведения технологических параметров объекта, теплофизических параметров газовой смеси и конструктивных особенностей аппарата. Главной задачей исследователей в данной области является повышение селективности классификации мелкодисперсного материала.

В настоящее время на большинстве промышленных предприятий используются воздушно-проходные, сочетающие в себе сепаратор, циклон и вентилятор, воздушно-циркуляционные с замкнутым потоком воздуха сепараторы. Следует отметить, что большинство применяемых аппаратов для классификации различных материалов требуют серьезной модернизации вследствие двух факторов: частичный или полный износ аппаратов из-за долгого эксплуатационного срока использования; падение селективности

классификаторов вследствие использования новых технологий, определяющих повышенные требования к измельченным фракциям частиц. В частности, на многих промышленных объектах необходимы мелкодисперсные порошки с содержанием концентраций иных фракций не более 1–2 %.

Данный сегмент рынка не стоит на месте. Некоторые зарубежные компании интенсивно производят исследования в данной области и выпускают современные высокотехнологические аппараты для классификации порошков. Например, немецкая компания «NETZSCH Proven Excellence» изготавливает классификаторы тонкого разделения CFS 5 и CFS 8, применяющиеся для разделения порошков, которые не могут быть разделены на традиционном оборудовании из-за тонины помола. Такие конструктивные особенности, как поддув воздуха в зазоре ротора классификатора, обеспечивающий исключение попадания крупных частиц в продукт, внутренние элементы ротора, обеспечивающие лучшую тонину помола и не мешающие работе с крупными фракциями, являются достоинствами данных аппаратов. Однако сложность конструкции, сложные эксплуатационные требования и высокая стоимость являются существенными недостатками [4].

Данная проблематика приобретает большую актуальность и широкую значимость как на территории Российской Федерации, так и во всем мире. Исследователи М.А. Юровский, А.Е. Лебедев и В.К. Леонтьев в своей работе рассматривали задачу повторного применения материала, который можно использовать при производстве катализаторов, пигментов, цемента, бетона и др. [5].

Таким образом, исследования в области классификации порошков по различным фракциям являются актуальными. В то же время все вышеописанные способы и устройства имеют сложную конструкцию.

Классификатор представляет собой цилиндрический корпус 6, внутри которого располагается цилиндрическая труба с прямоугольными щелями 3, предназначенными для выхода из данной трубы газового потока, внутренняя труба окружена решеткой с отверстиями 2, нижняя часть трубы имеет конусообразную форму с отверстием 4, предназначенным для ссыпания улавливаемого материала в бункер 7. Также конструкция имеет входной 1 и выходной 5 патрубки.

Принцип действия классификатора можно описать следующим образом: запыленный газовый поток попадает в устройство через входной патрубок 1, после чего опускается вниз по внутренней цилиндрической трубе до прямоугольных щелей 3, далее траектория движения газового потока

резко изменяется перпендикулярно трубе, в ходе движения запыленного газа по данным траекториям часть частиц выпадает из структуры потока и падает в бункер 7 через отверстие 4. При выходе газового потока из каждой прямоугольной щели 3 он разделяется на 2 струи, которые в одинаковых пропорциях двигаются в правую и левую стороны, достигая внутреннюю стенку цилиндрического корпуса 6, струи газа разворачиваются и в завихрении движутся в верхнюю часть устройства, при завихрениях возникают центробежные силы, отбрасывающие частицы сыпучего материала из структурированного потока к поверхностям устройства, выбитые частицы падают в пылевой бункер 7. При движении газового потока в верхнюю часть устройства он проходит через решетку с соосно расположенными трубами, которая является дополнительным сепарационным элементом, выбивающим частицы сыпучего материала из структуры потока, после чего они также падают в бункер 7. Очищенный газовый поток от частиц сыпучего материала размером до 30 мкм выходит из классификатора с соосно расположенными трубами через выходное отверстие 5 (рис. 2.1).

Задание на выполнение лабораторной работы

Постройте трехмерную модель классификатора (рис. 2.1) с параметрами, представленными ниже в табл. 2.1 в зависимости от варианта. Остальные параметры возьмите произвольные.

Таблица 2.1

Числовые значения параметров

№ варианта	Значения параметров
1	2
1	Количество круглых отверстий в шайбе – 10 Количество прямоугольных отверстий – 8
2	Количество круглых отверстий в шайбе – 8 Количество прямоугольных отверстий – 10
3	Количество круглых отверстий в шайбе – 12 Количество прямоугольных отверстий – 6
4	Диаметр внешнего корпуса – 180 мм Диаметр внутреннего корпуса – 100 мм
5	Диаметр внешнего корпуса – 160 мм Диаметр внутреннего корпуса – 120 мм
6	Диаметр внешнего корпуса – 180 мм Диаметр внутреннего корпуса – 80 мм

Окончание табл. 2.1

1	2
7	Расположение шайбы на расстоянии от верхней грани бункера – 100 мм
8	Расположение шайбы на расстоянии от верхней грани бункера – 120 мм
9	Расположение шайбы на расстоянии от верхней грани бункера – 80 мм
10	Диаметр внутреннего корпуса – 50 мм Количество прямоугольных отверстий – 12
11	Диаметр внутреннего корпуса – 80 мм Количество прямоугольных отверстий – 14
12	Диаметр внутреннего корпуса – 100 мм Количество прямоугольных отверстий – 10
13	Диаметр внутреннего корпуса – 120 мм Количество прямоугольных отверстий – 8
14	Диаметр внешнего корпуса – 300 мм Диаметр выходного патрубка – 100 мм
15	Диаметр внешнего корпуса – 250 мм Диаметр выходного патрубка – 80 мм
16	Диаметр внешнего корпуса – 240 мм Диаметр выходного патрубка – 85 мм
17	Диаметр конусообразного отверстия – 10 мм Количество круглых отверстий в шайбе – 10
18	Диаметр конусообразного отверстия – 14 мм Количество круглых отверстий в шайбе – 8
19	Диаметр конусообразного отверстия – 10 мм Количество круглых отверстий в шайбе – 12
20	Диаметр конусообразного отверстия – 16 мм Количество круглых отверстий в шайбе – 14

Методика выполнения лабораторной работы

1. Откройте программу SpaceClaim. Создайте внешний корпус и бункер. Геометрические размеры задайте произвольные. Создайте эскиз в плоскости ZX и нажмите «Вид сверху» в верхней панели управления во вкладке «Конструкция» (рис. 2.2).

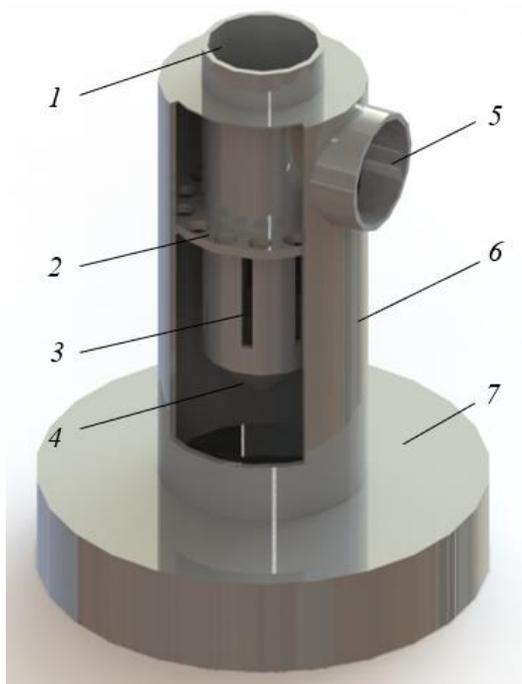
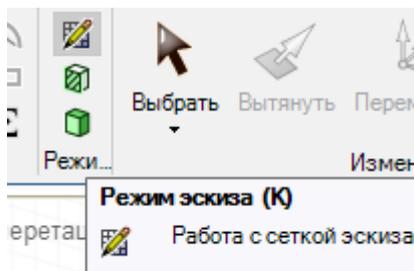
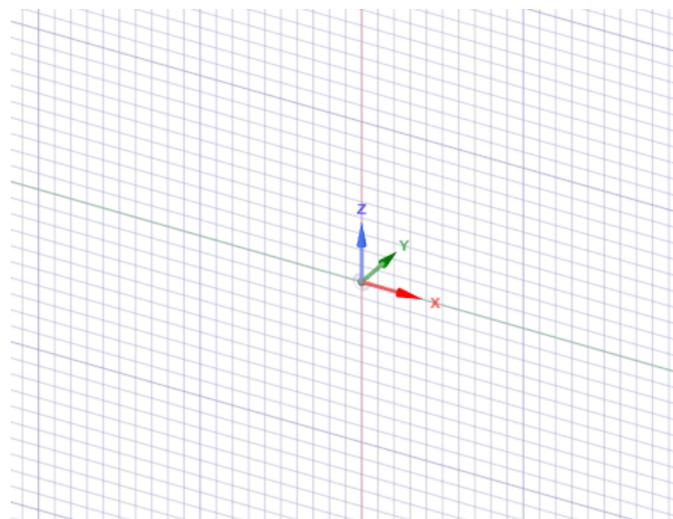


Рис. 2.1. Трехмерная модель классификатора:
 1 – входной патрубок, 2 – решетка с соосно расположенными трубами,
 3 – прямоугольные щели, 4 – отверстие, 5 – выходной патрубок,
 6 – корпус устройства, 7 – бункер



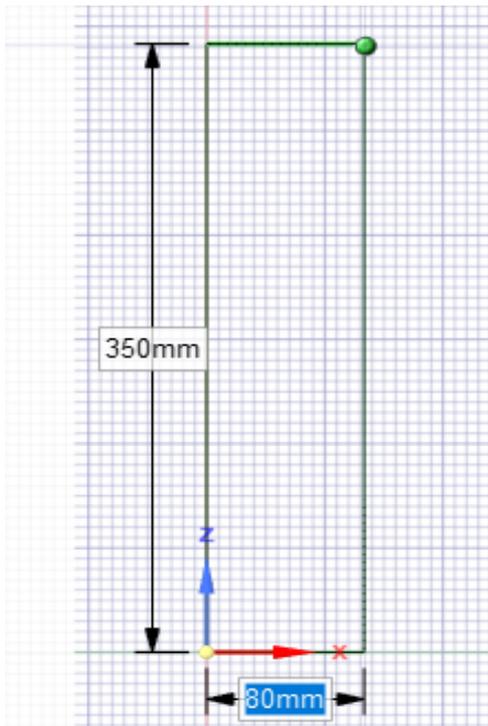
a



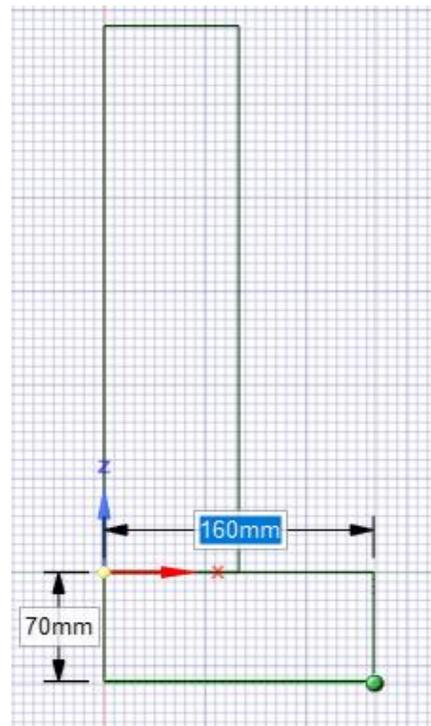
б

Рис. 2.2. Создание эскиза:
a – применение команды «Режим эскиза»; *б* – плоскость ZX

2. Диаметр внешнего корпуса составляет 160 мм, высота корпуса 350 мм, диаметр бункера 320 мм, высота бункера 70 мм. Нарисуйте в плоскости два прямоугольника: первый – шириной 80 мм и высотой 350 мм и второй – шириной 160 мм и высотой 70 мм (рис. 2.3).



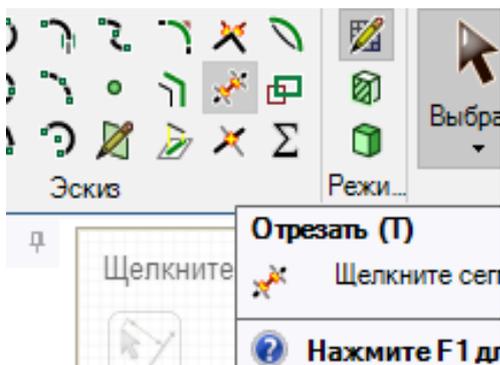
a



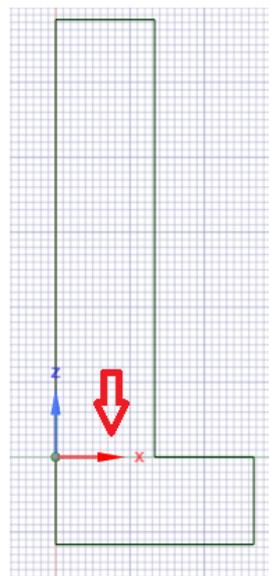
б

Рис. 2.3. Создание внешнего корпуса:
a – прямоугольник размерами 80×350 мм;
б – прямоугольник размерами 160×70 мм

3. Удалите общую линию (рис. 2.4).



a



б

Рис. 2.4. Удаление общей линии:
a – выполнение команды «Отрезать»; *б* – выбор линии

4. Далее воспользуйтесь командой «Вытянуть», выберите созданный эскиз с помощью команды «Повернуть», выберите центральную ось (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Операция «Вытягивание»:

а – выполнение команды «Вытянуть», *б* – выполнение команды «Повернуть»;
в – выбор центральной оси

5. Выберите «Полное растяжение» (рис. 2.6.)



Рис. 2.6. Операция «Полное растяжение»

6. Воспользуйтесь командой «Оболочка», чтобы задать толщину стенки – 1 мм (рис. 2.7).

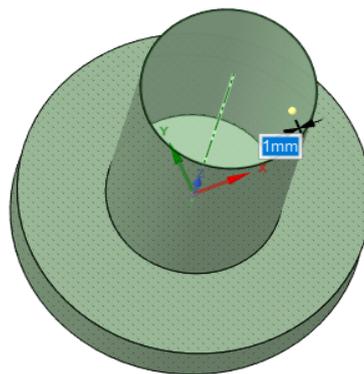
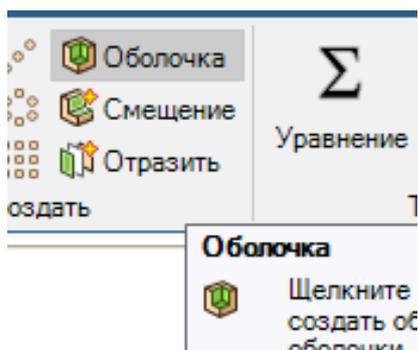


Рис. 2.7. Операция «Оболочка»

7. Перейдите к созданию внутреннего цилиндра с конусообразным нижним отверстием. Для этого создайте эскиз в плоскости ZX и нажмите «Вид сверху» (рис. 2.8).

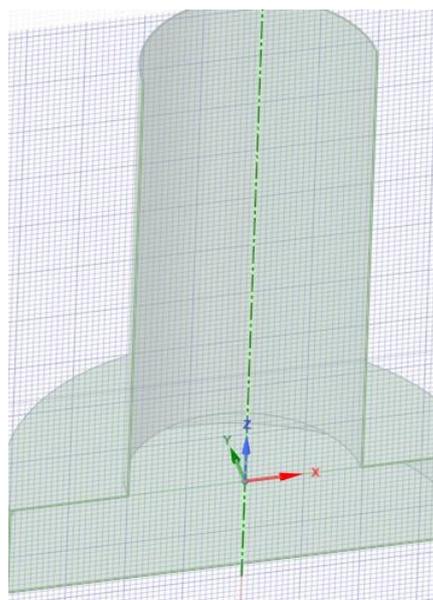
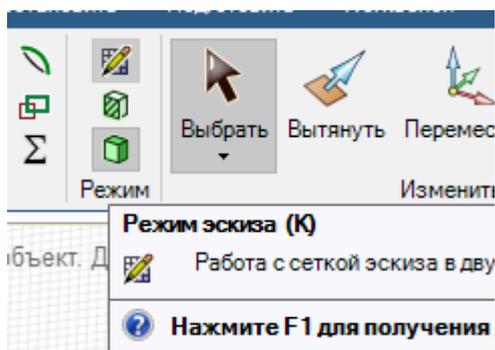


Рис. 2.8. Создание эскиза в плоскости ZX

8. Примите диаметр 90 мм и общую высоту 290 мм. При этом расстояние от крайней верхней точки внешнего корпуса до крайней верхней точки внутреннего цилиндра составляет 30 мм, глубина погружения равна 260 мм. Диаметр конусообразного отверстия 20 мм и высота 30 мм.

Исходя из этого нарисуйте первый прямоугольник – высотой 30 мм и шириной 45 мм, второй прямоугольник – глубиной 260 мм и шириной 45 мм, половину трапеции – высотой 30 мм с основанием 15 мм (рис. 2.9).

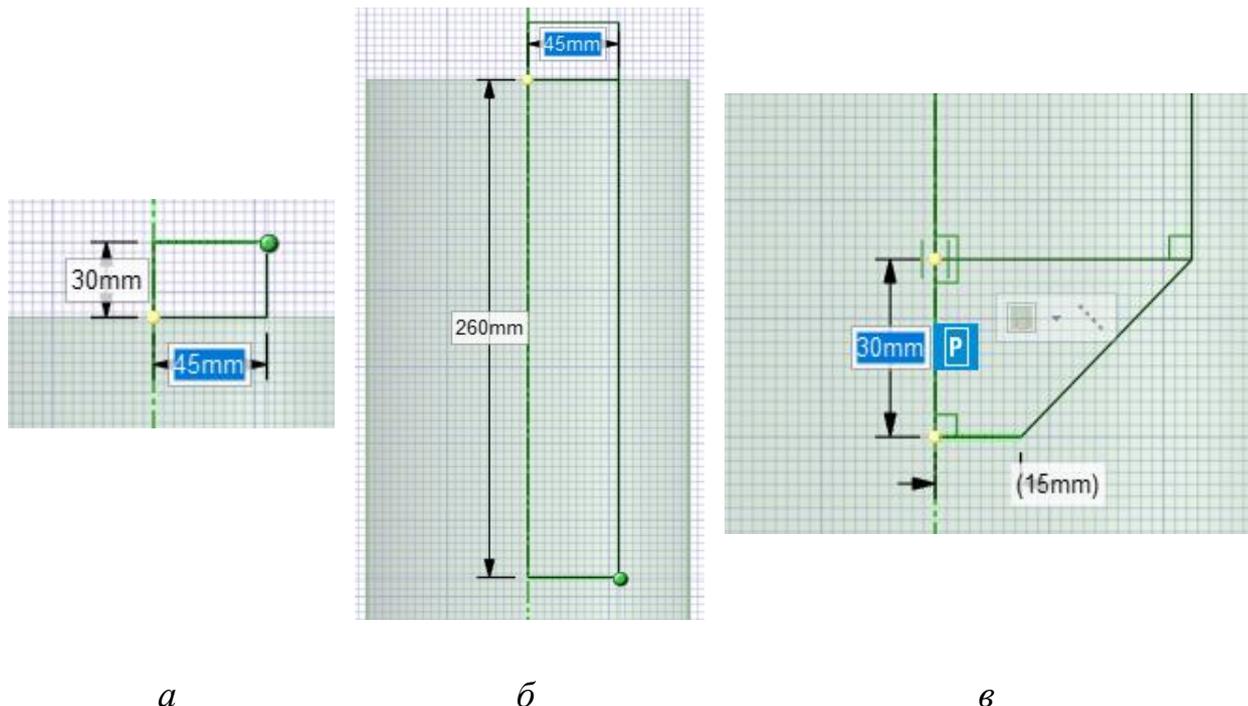


Рис. 2.9. Создание внутреннего цилиндра:
a – построение первого прямоугольника; *б* – построение второго
 прямоугольника; *в* – построение половины трапеции

9. Удалите общие линии (рис. 2.10).

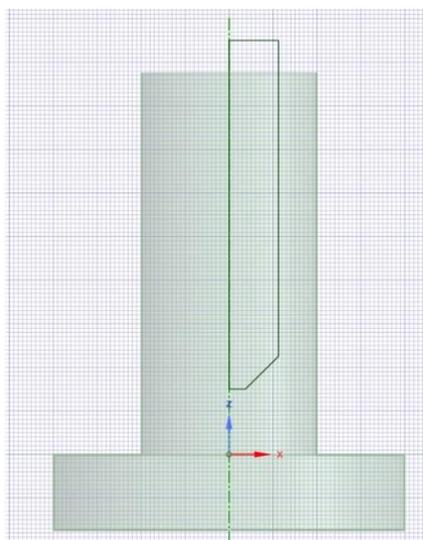


Рис. 2.10. Удаление общих линий

10. С помощью команды «Вытянуть» выберите созданный эскиз. Далее выберите «Повернуть» и нажмите на центральную ось, выберите «Полное растяжение». В результате получите следующую модель (рис. 2.11). Следует отметить, что для наглядности включен режим сечения.

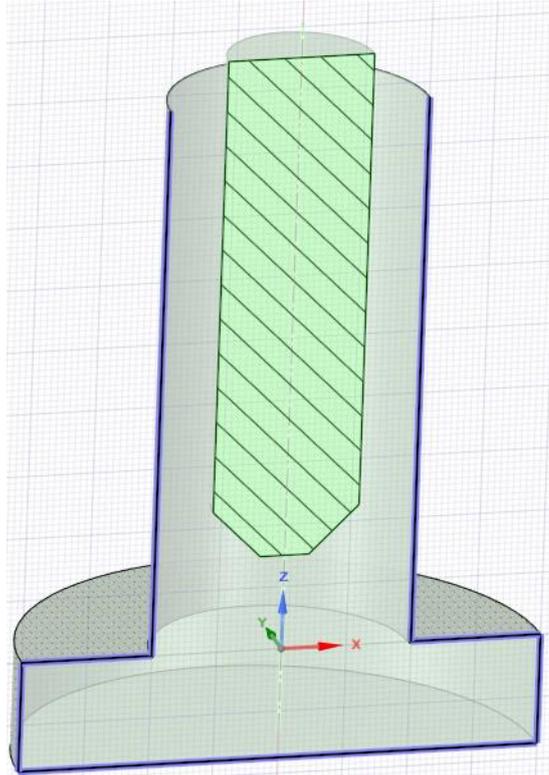
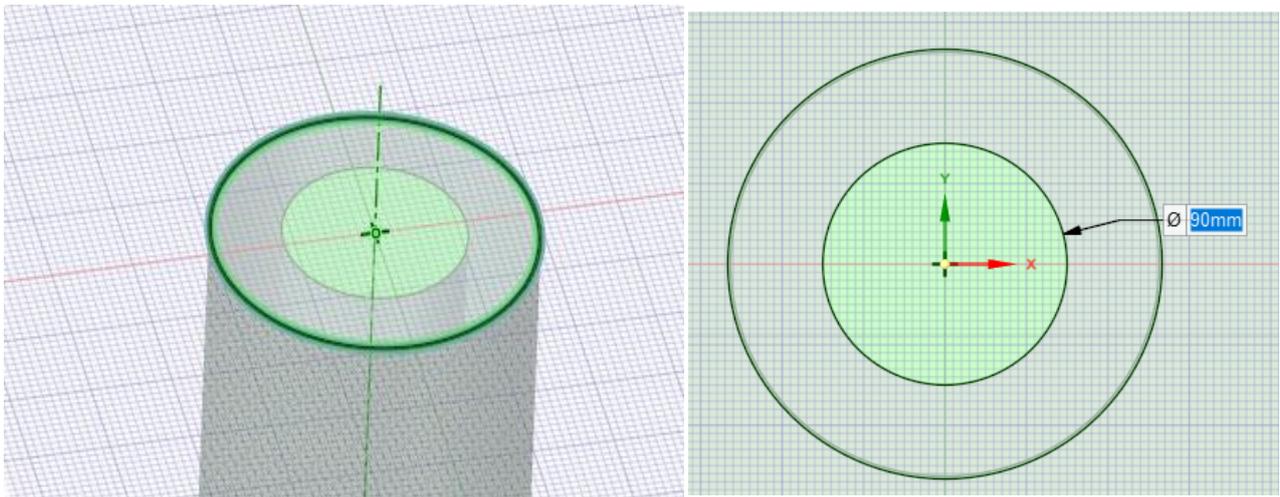


Рис. 2.11. Вид в сечении

11. Далее создайте поверхность в верхней части цилиндра. Для этого создайте эскиз и нарисуйте 2 окружности диаметром 160 и 90 мм (рис. 2.12).



a

б

Рис. 2.12. Создание поверхности:
a – построение окружности радиусом 160 мм;
б – построение окружности радиусом 90 мм

12. Далее вернитесь в трехмерный режим и получите поверхность (рис. 2.13).

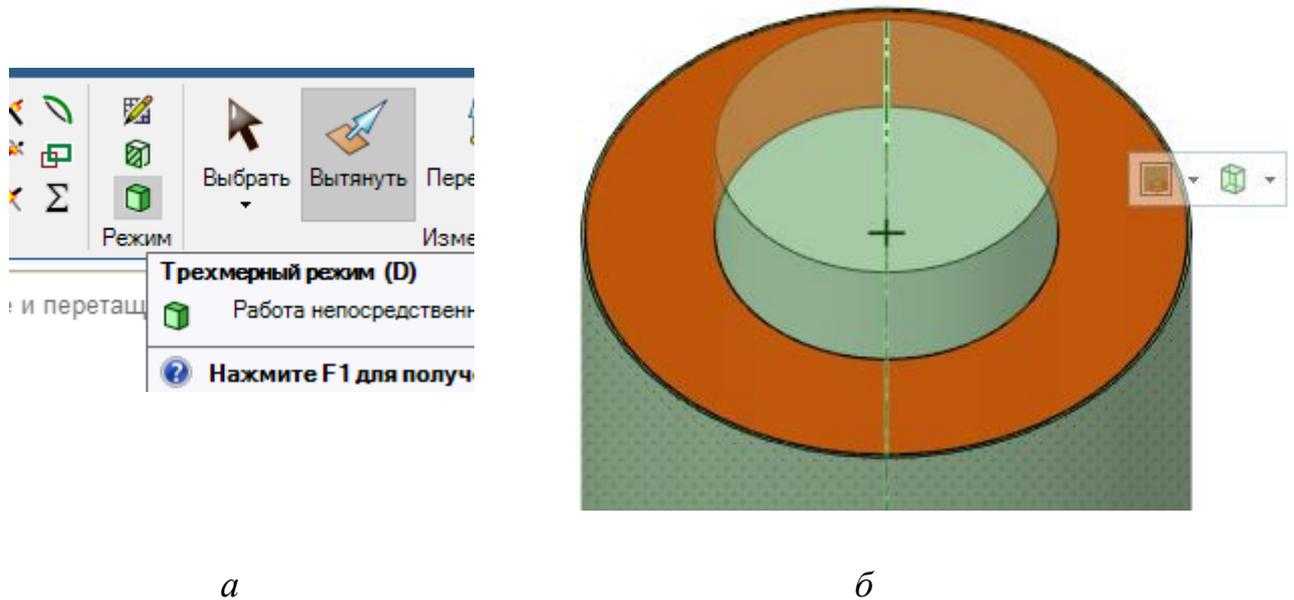


Рис. 2.13. Создание поверхности:
а – работа в трехмерном режиме; *б* – получение поверхности

13. С помощью команды «Вытянуть» выберите созданную поверхность и задайте толщину 1 мм (рис. 2.14).

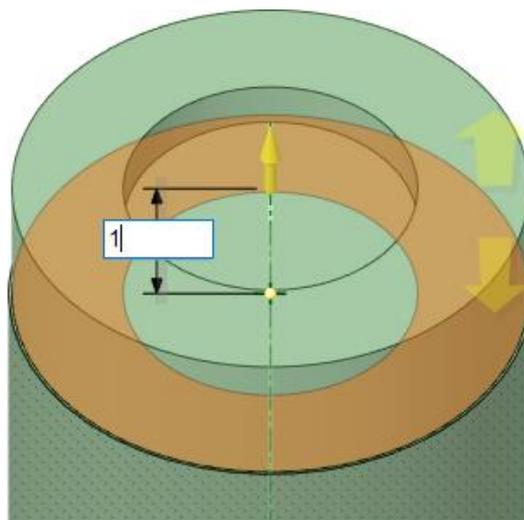


Рис. 2.14. Применение операции «Вытянуть»

14. Поверхность можно удалить (рис. 2.15).

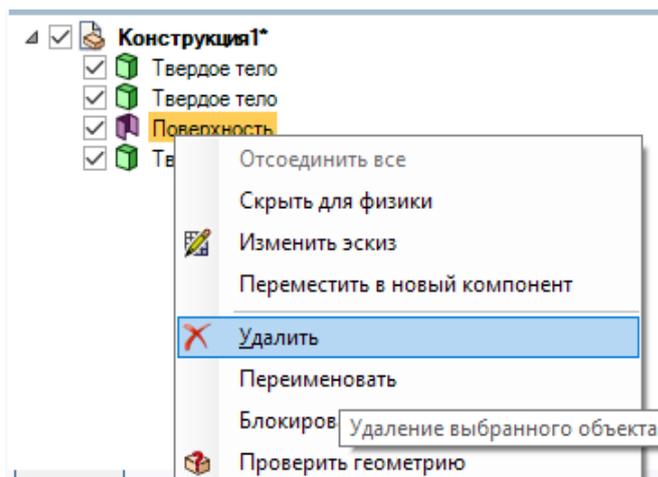
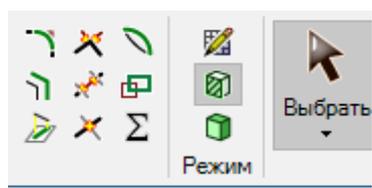


Рис. 2.15. Удаление поверхности

15. Воспользуйтесь командой «Оболочка» и задайте толщину стенки внутреннего цилиндра 1 мм. Для этого сперва перейдите в режим сечения и выберите ось X (рис. 2.16).



Щелкните объект. Дважды щелкните

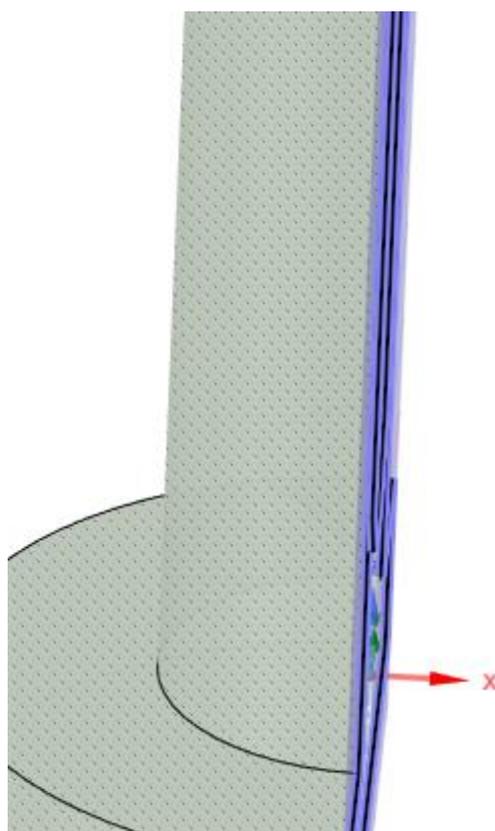


Рис. 2.16. Режим сечения

16. Далее выберите операцию «Оболочка» и верхнюю и нижнюю грани внутреннего цилиндра (рис. 2.17).

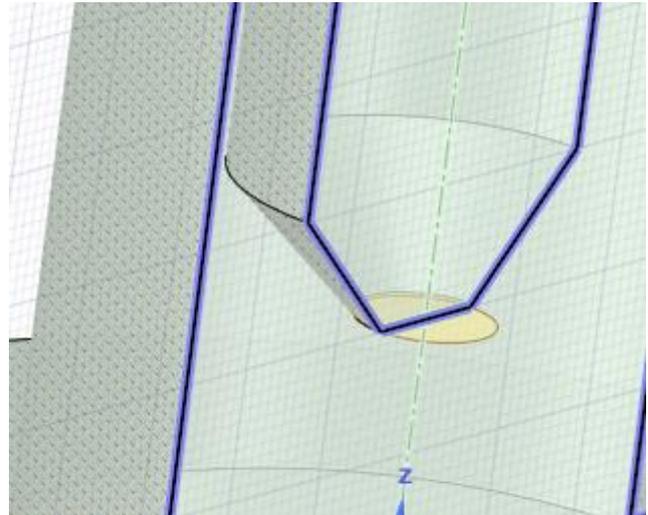
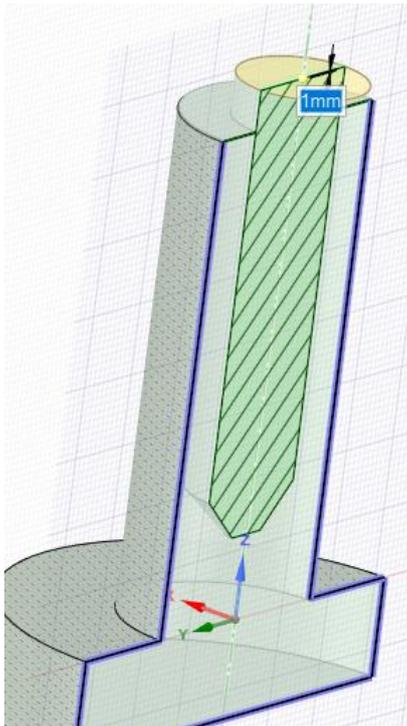


Рис. 2.17. Применение команды «Оболочка»

17. Создайте шайбу с отверстиями. Для этого постройте вспомогательную плоскость на расстоянии 160 мм от крайней верхней точки бункера. Сначала выберите «Плоскость» и верхнюю грань бункера (рис. 2.18).

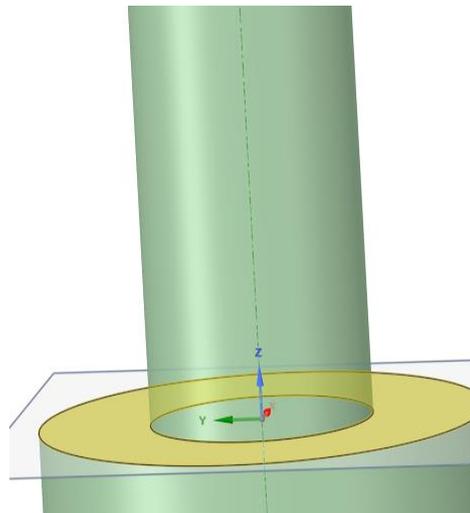
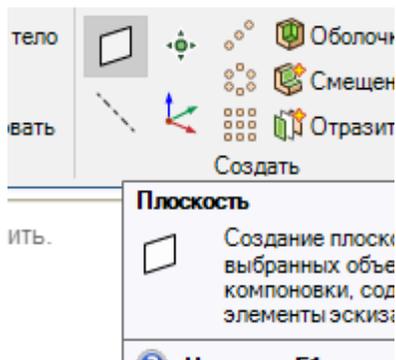


Рис. 2.18. Вспомогательная плоскость

18. Далее переместите плоскость на расстоянии 160 мм. Выделите плоскость и нажмите «Переместить», укажите 160 мм (рис. 2.19).

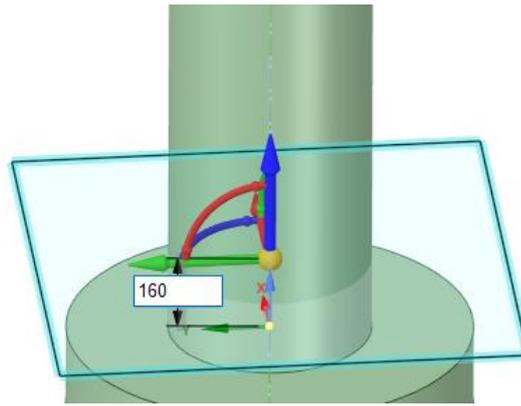
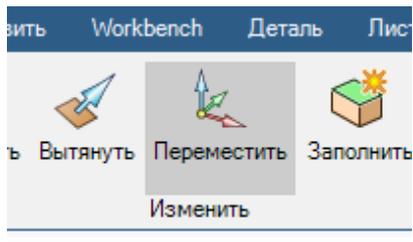


Рис. 2.19. Перемещение вспомогательной плоскости

19. Выберите созданную плоскость и перейдите в режим эскиза (рис. 2.20).

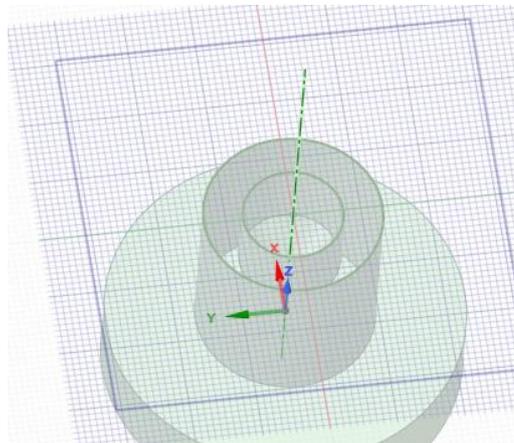


Рис. 2.20. Создание эскиза

20. Создайте две окружности диаметрами 90 и 158 мм (рис. 2.21).

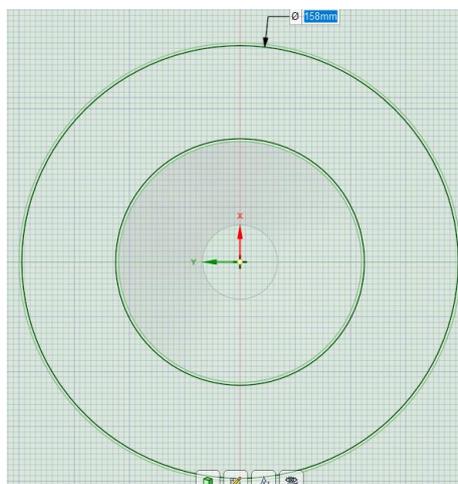


Рис. 2.21. Создание двух окружностей

21. Вернитесь в трехмерный режим и выберите режим сечения, выделите созданную поверхность (рис. 2.22).

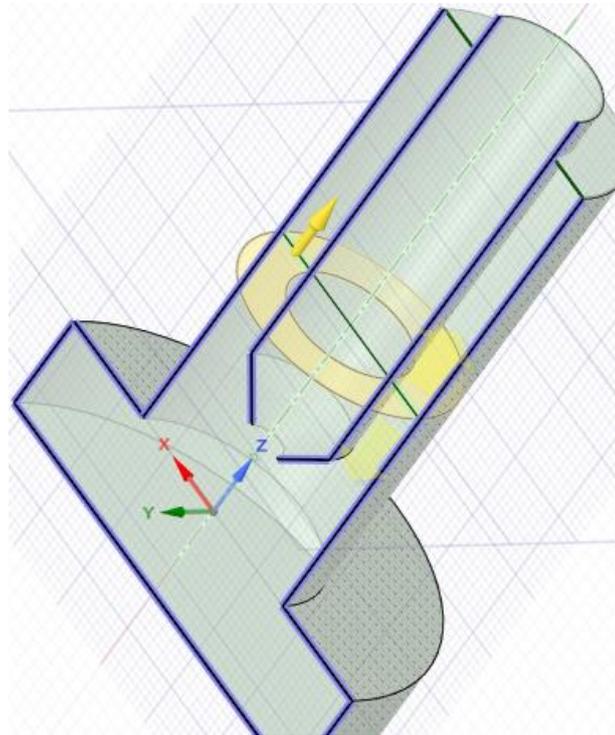


Рис. 2.22. Выделение поверхности

22. С помощью команды «Вытянуть» задайте толщину шайбы 10 мм (рис. 2.23).

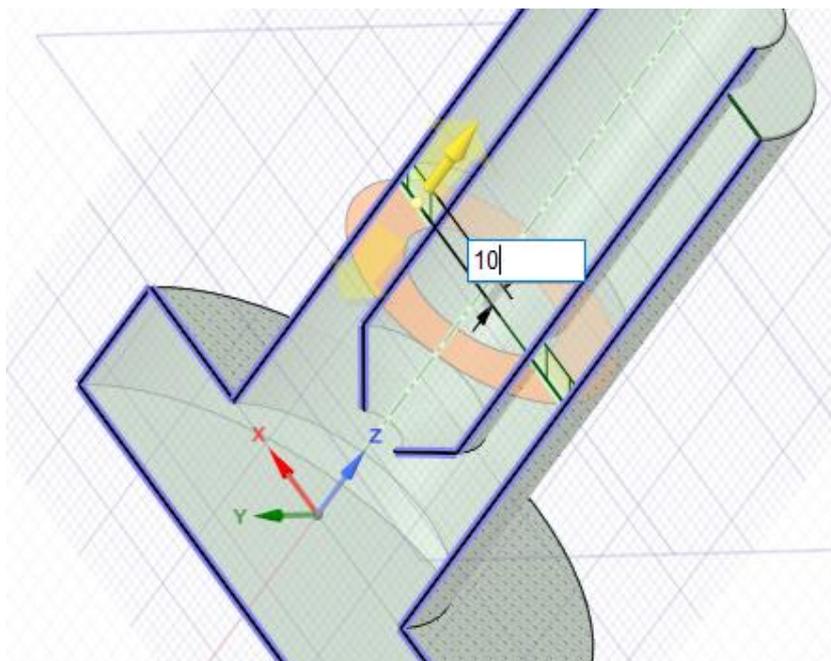


Рис. 2.23. Создание шайбы

23. Перейдите в режим сечения на шайбе (рис. 2.24).

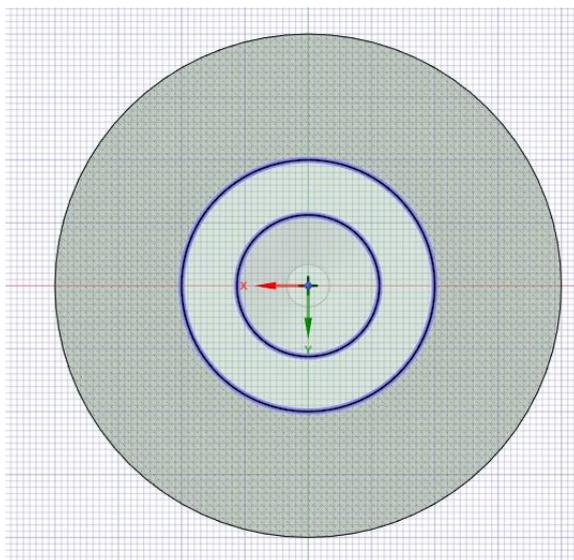


Рис. 2.24. Создание эскиза на верхней грани шайбы

24. Создайте окружность диаметром 15 мм. Учитывая, что расстояние в межтрубном пространстве составляет 34 мм, создайте окружность через «Декартовы размеры». Выберите центр, как показано на рис. 2.25, и укажите значение, равное -17.

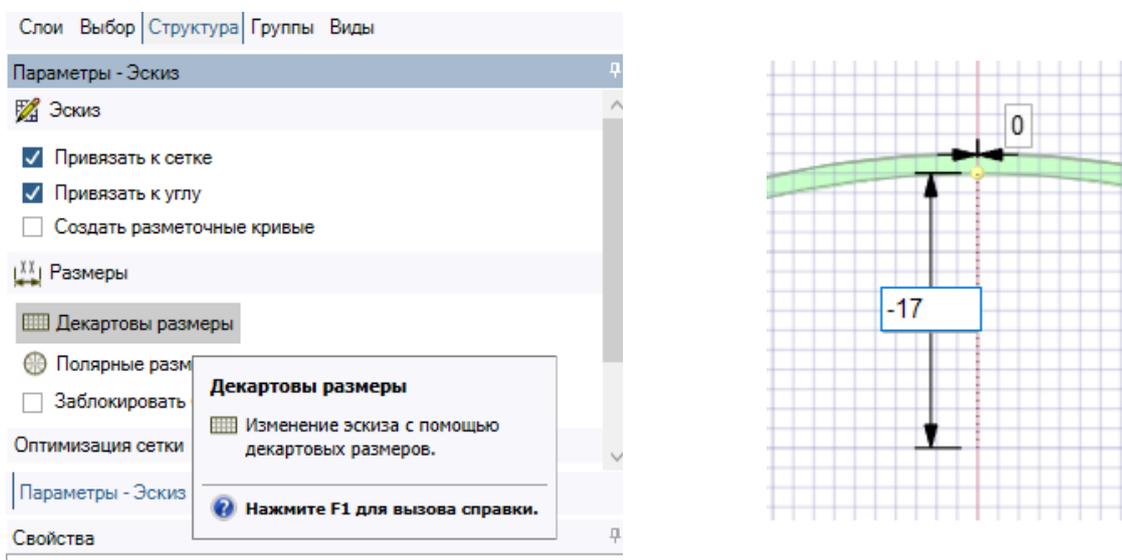


Рис. 2.25. Построение окружности с помощью декартовых размеров

25. Постройте окружность диаметром 15 мм. Выделите окружность и нажмите «Круговой массив», в котором укажите количество окружностей 12. При выборе направляющей укажите любую окружность (рис. 2.26).

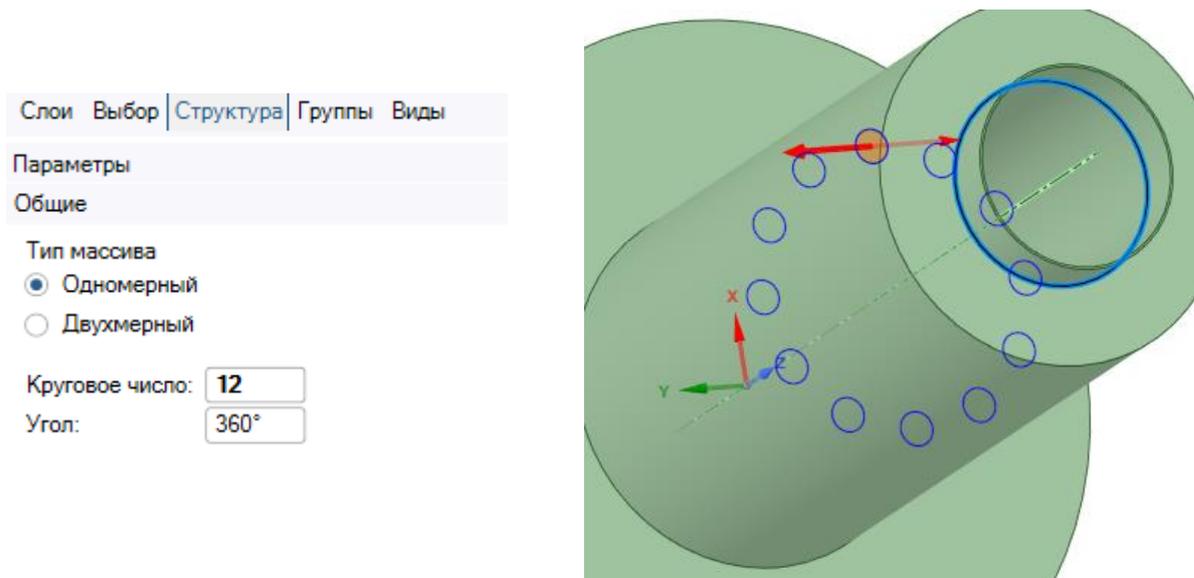


Рис. 2.26. Построение окружностей с помощью операции «Круговой массив»

26. В режиме сечения примените команду «Вытянуть» и создайте отверстия (рис. 2.27).

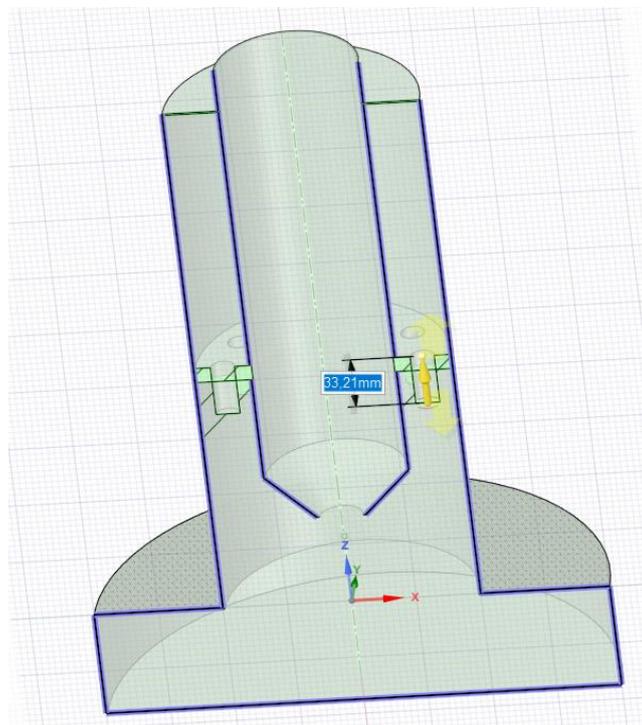


Рис. 2.27. Создание отверстий

27. Создайте прямоугольные отверстия. Для удобства перейдите в каркасный режим (рис. 2.28).

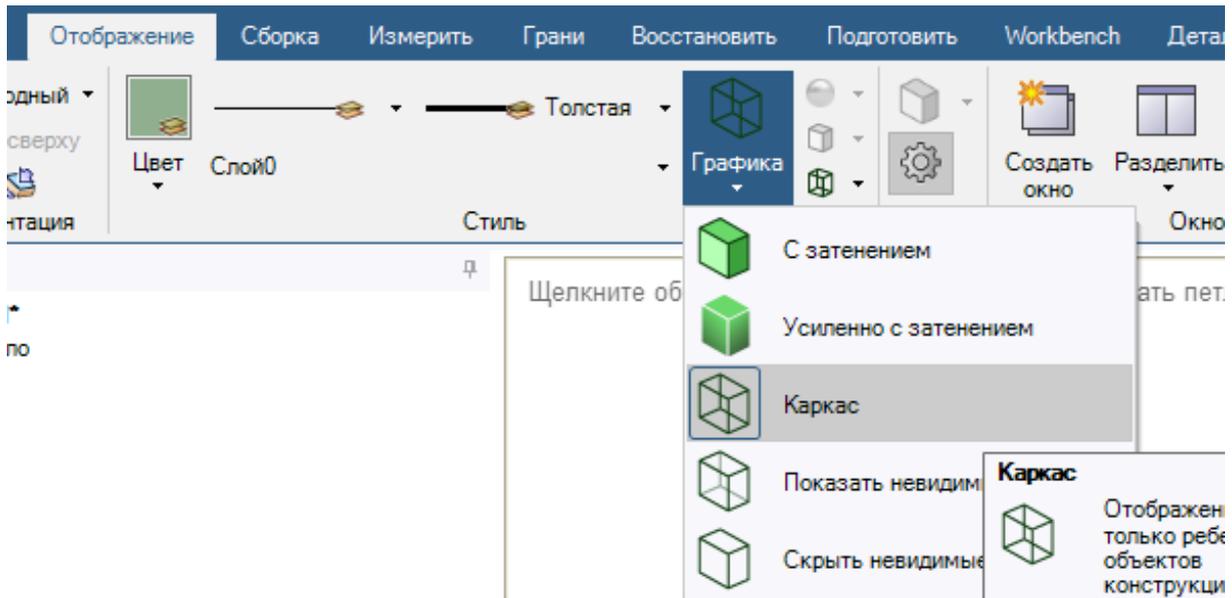


Рис. 2.28. Каркасный режим

28. Далее создайте вспомогательную плоскость на плоскости ZX и переместите ее на 20 мм (рис. 2.29).

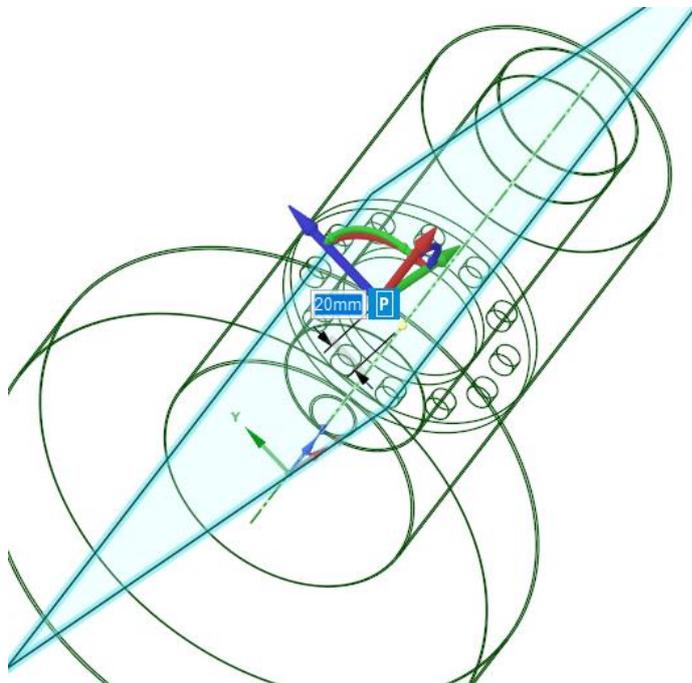


Рис. 2.29. Создание вспомогательной плоскости

29. Нарисуйте прямоугольник шириной 20 мм и высотой 30 мм на расстоянии 20 мм от нижней грани шайбы по центру с помощью команды «Декартовы размеры» (рис. 2.30).

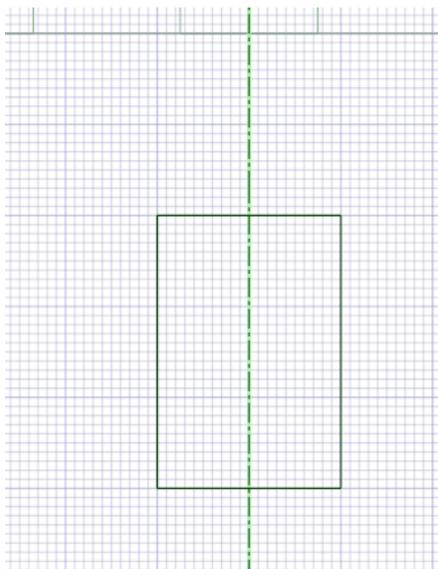


Рис. 2.30. Создание прямоугольника

30. Далее перейдите в трехмерный режим и выделите созданную поверхность (рис. 2.31).

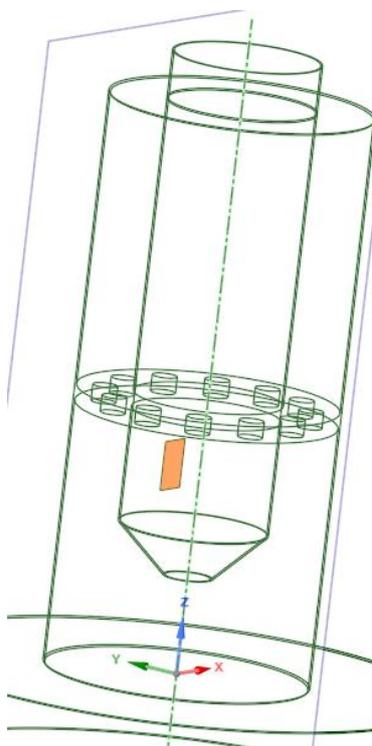


Рис. 2.31. Выделение поверхности

31. С помощью команды «Круговой массив» создайте четыре прямоугольника (рис. 2.32).

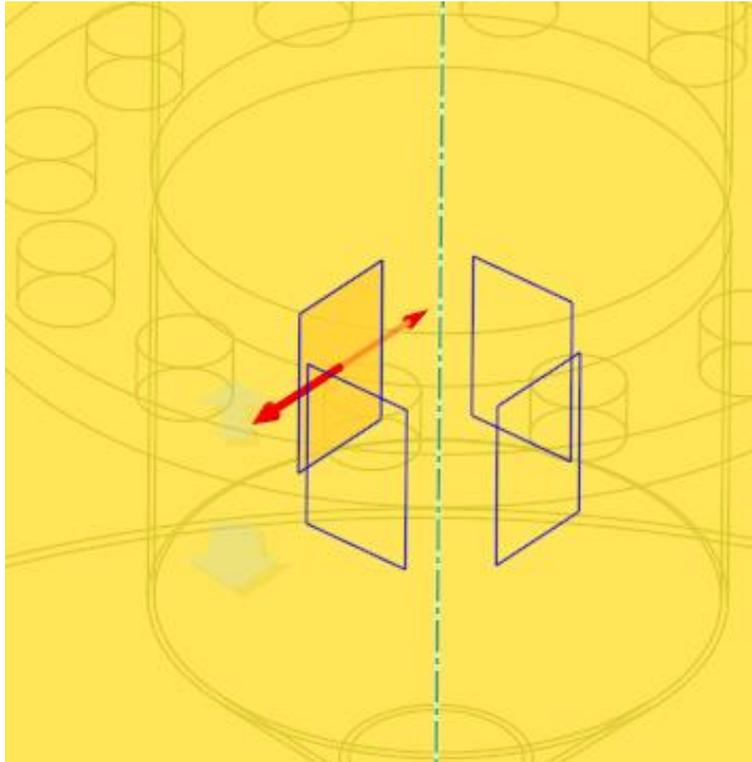


Рис. 2.32. Применение кругового массива

32. Далее перейдите в режим сечения и примените команду «Вытянуть» для создания отверстий (рис. 2.33).

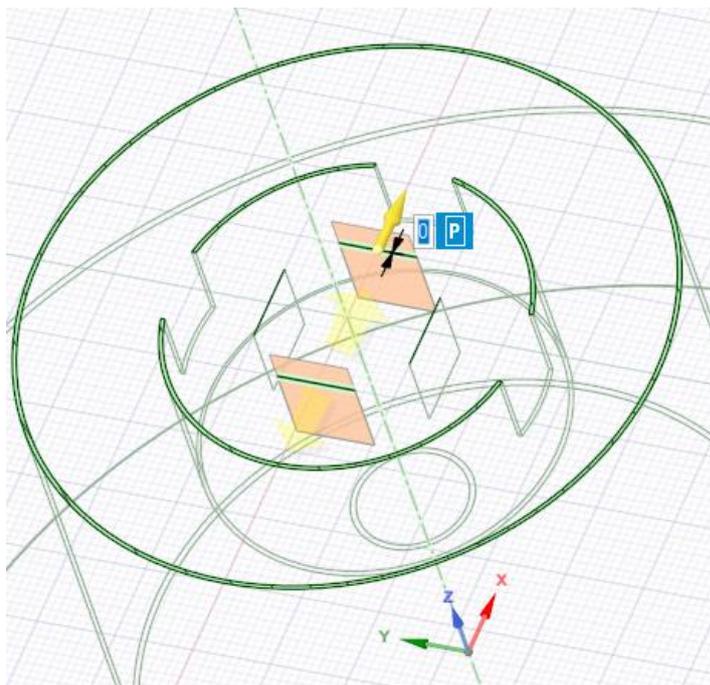


Рис. 2.33. Создание прямоугольных отверстий

33. Вернитесь в трехмерный режим и удалите «Плоскость» и «Массив» (рис. 2.34).

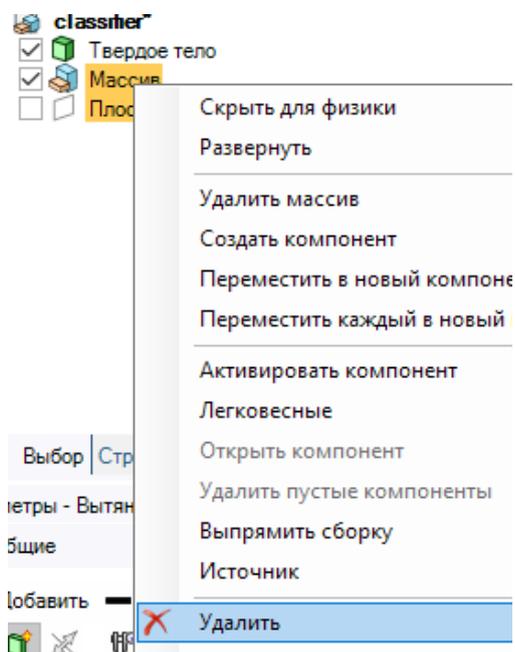


Рис. 2.34. Удаление лишних элементов

34. Создайте патрубок сбоку устройства (рис. 2.1). Для этого создайте вспомогательную плоскость на плоскости ZX и переместите ее на радиус бункера, т. е. на 160 мм (рис. 2.35).

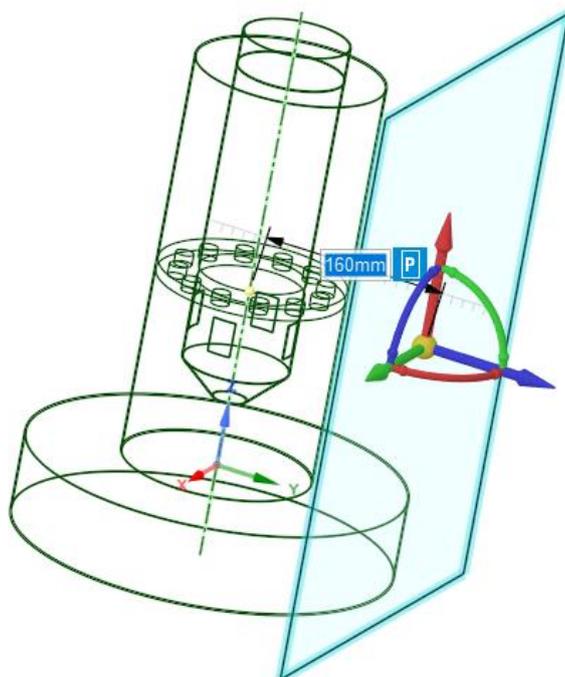


Рис. 2.35. Построение вспомогательной плоскости

35. На вспомогательной плоскости в режиме эскиза создайте окружность диаметром 90 мм на расстоянии 90 мм от верхней грани внешнего корпуса с помощью «Декартовых размеров» (рис. 2.36).

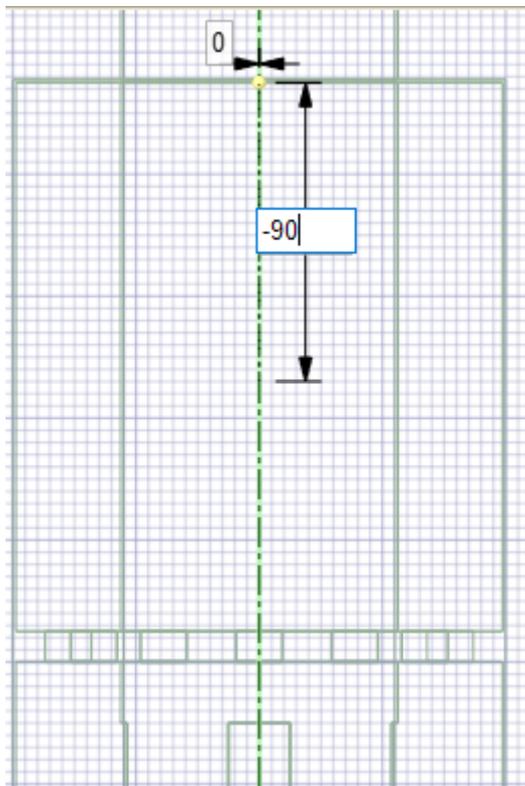


Рис. 2.36. Построение окружности

36. Далее в режиме «Трехмерный режим» нажмите команду «Вытянуть», выберите созданную окружность, и с помощью дополнительной команды «До» укажите внешний корпус классификатора (рис. 2.37).



Рис. 2.37. Построение выходного патрубка

37. Удалите плоскость и воспользуйтесь командой «Оболочка» в режиме сечения, чтобы воспользоваться данной командой с двух сторон (рис. 2.38).

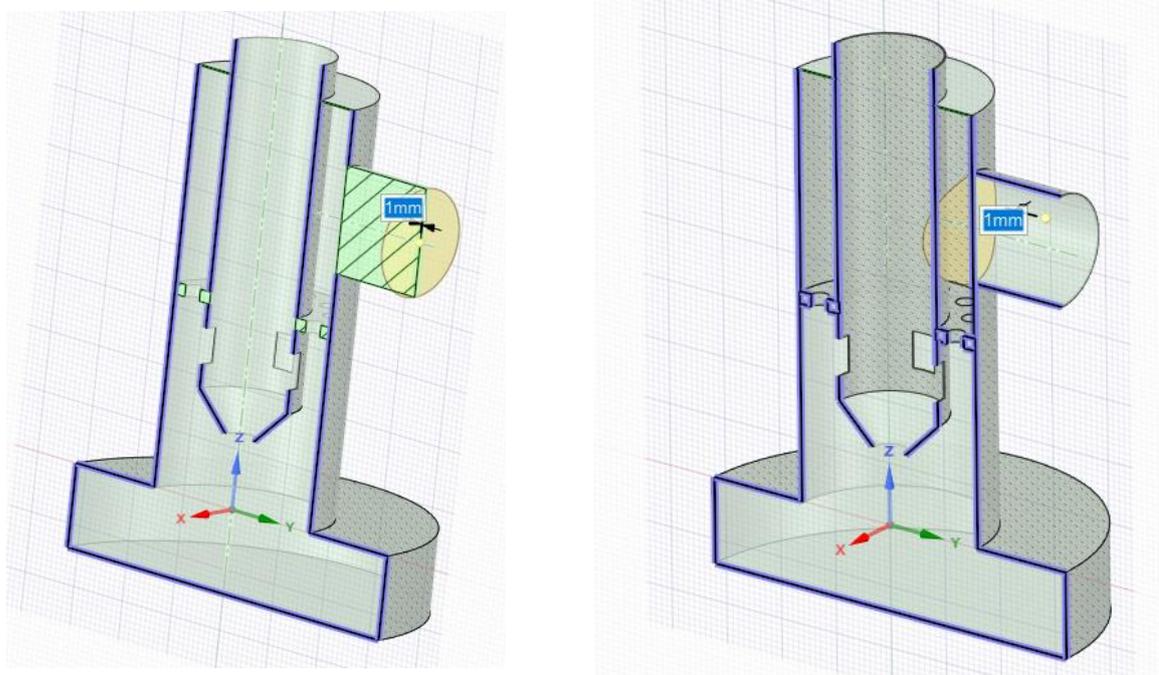


Рис. 2.38. Создание выходного патрубка

Классификатор создан (рис. 2.39).

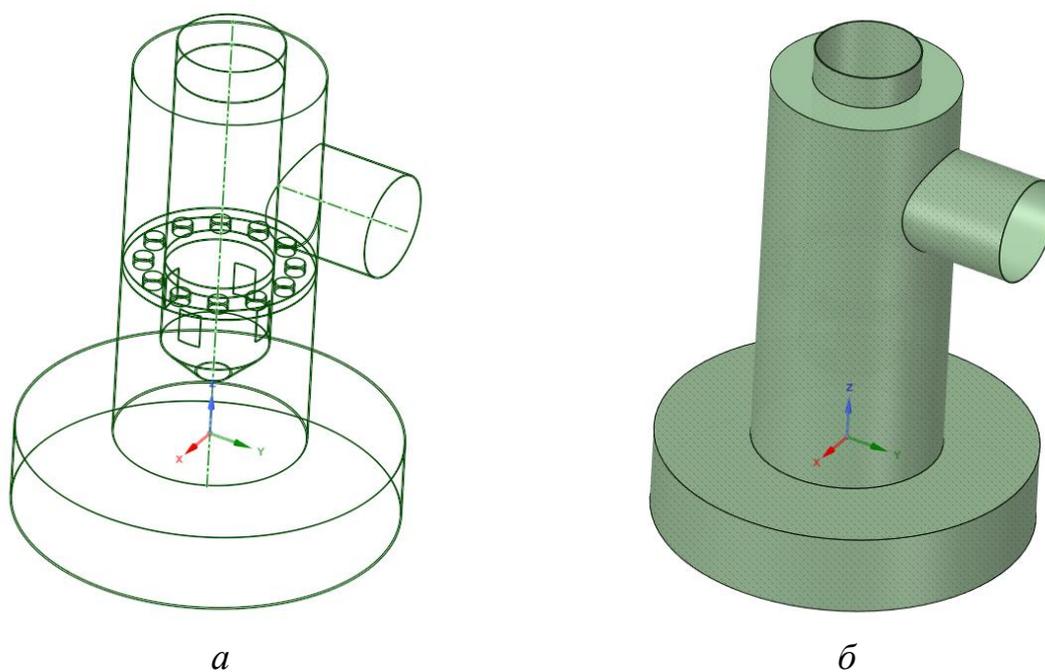


Рис. 2.39. Модель классификатора:
a – в каркасном режиме; *б* – в трехмерном режиме

Требования к отчету о проделанной работе

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать:

- краткое описание теоретической части;
- трехмерную модель детали;
- вывод по результатам проведенной работы.

Контрольные вопросы

1. Какая проблема возникает в промышленности при классификации мелкодисперсных порошков?

2. Какие решения применяются для реализации качественной классификации мелкодисперсного измельченного порошкового материала мельницами на различные фракции?

3. Перечислите факторы, требующие серьезной модернизации применяемых аппаратов для классификации различных материалов. Мелкодисперсные порошки какой концентрации необходимы на промышленных объектах?

4. Расскажите о современных высокотехнологических аппаратах для классификации порошков, выпускающиеся зарубежными компаниями.

5. Опишите конструкцию классификатора и его принцип действия.

6. Поясните принцип выполнения операции «Полное растяжение».

7. Поясните принцип построения кругового массива.

Лабораторная работа № 3

СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛООБМЕННИКА

Цель работы – изучение конструкции и принципа действия рекуперативного теплообменного аппарата, построение трехмерной модели устройства в соответствии с приведенными вариантами.

Краткие теоретические сведения

Рекуперативный теплообменник – теплообменник поверхностного типа для использования теплоты отходящих газов, в котором теплообмен между теплоносителями осуществляется непрерывно через разделяющую их стенку. В отличие от регенеративных теплообменников, трассы потоков теплоносителей в рекуператоре не меняются. Рекуператоры различают *по схеме относительного движения теплоносителей* – противоточные, перекрёстные, прямоточные и др.; *по конструкции* – трубчатые, пластинчатые, ребристые, оребрѐнные пластинчатые типа ОПТ и др.; *по материалу изготовления* – металлические, мембранные, пластиковые и др.; и *по назначению* – подогреватели воздуха, газа, жидкостей, испарители, конденсаторы и т. д.

Металлический оребрѐнный пластинчатый рекуператор. Оребрѐнный пластинчатый рекуператор состоит из тонкостенных оребрѐнных панелей, изготовленных методом высокочастотной сварки, соединѐнных поочередно с поворотом на 90°. За счёт конструкции, а также многообразия используемых материалов достигаются высокие температуры греющих сред, небольшие сопротивления, высокие показатели отношения теплопередающей площади к массе теплообменника, длительный срок службы, низкая стоимость и др. Часто используются для утилизации тепла отходящих газов.

Пластинчатые оребрѐнные рекуператоры позволяют:

- экономить до 40 % потребляемой энергии за счёт возврата тепловой энергии обратно в технологический цикл;
- улучшать горение топлива в печи за счёт использования подогретого воздуха вместо воздуха окружающей температуры и тем самым снижать его химический и механический недожог (при рекуперации в цикле печного нагрева). В результате при том же расходе топлива количество теплоты, получаемой в процессе горения, увеличивается на 10–15 %;
- охлаждать дымовые газы для обеспечения санитарных норм и экологических требований;

– подогревать уличный воздух для отопления помещений теплом отходящих газов;

– охлаждать газы для их использования в технологических процессах, требующих более низких температур.

Оребренные пластинчатые рекуператоры обладают следующими преимуществами по сравнению с аналогичными роторными и традиционными пластинчатыми рекуператорами:

- большими предельными рабочими температурами (до 1250 °С);
- меньшими габаритами и массой;
- меньшей стоимостью;
- меньшими сроками окупаемости;
- низкими сопротивлениями по газовоздушным трактам;
- меньшей склонностью к зашлаковыванию;
- большим сроком службы;
- большим периодом между ремонтом и профилактическим обслуживанием;
- меньшими массогабаритными характеристиками (удешевляют монтаж и транспортировку рекуператоров).

Прямоточно-противоточный трубчатый рекуператор. Теплообмен в таком рекуператоре интенсифицируется за счет особого профиля тонкостенных сварных металлических трубок, пучок которых является основой устройства. Пристенный вихрь, формирующийся в каждой трубке, с одной стороны, обеспечивает увеличение теплообмена, а с другой – разрушается до того, как повышает сопротивление воздушного канала.

Основные отрасли применения прямоточных противоточных трубчатых рекуператоров:

- промышленность, в том числе пищевая, требующая «мягкого нагрева» одной из сред;
- военная и космическая отрасли машиностроения (рассеивание и/или утилизация тепла);
- классический возврат тепла в производственный цикл;
- бытовые проветриватели (в квартирах с герметичными пластиковыми окнами, экодомах).

Прямоточно-противоточные рекуператоры обычно монтируются в едином воздуховодном кожухе, что позволяет добиться следующих потребительских характеристик:

- особо низкое энергопотребление (бытовые рекуператоры потребляют от 8 Вт);

- уникальная для вентиляционного оборудования компактность, позволяющая осуществлять скрытую установку в жилых помещениях;
- высокая производительность;
- высокая (от нескольких лет) продолжительность безостановочной работы;
- невысокая сложность и стоимость обслуживания, простота чистки;
- отсутствие застойных зон.

Роторный рекуператор. Роторные рекуператоры относятся к классу регенеративных теплообменников. Наиболее широкое применение данные аппараты получили в системах приточно-вытяжной вентиляции. В роторном теплообменнике передача тепла от горячего газа к холодному осуществляется через вращающийся цилиндрический ротор, состоящий из пакета тонких металлических пластин. Горячий газ нагревает пластины, после чего они перемещаются в поток холодного газа, тем самым передавая ему тепло [6].

Роторные теплообменники также устанавливают в крупных котельных установках для утилизации тепла уходящих из котла дымовых газов (нагрева воздуха на входе в котёл).

Задание на выполнение лабораторной работы

Постройте упрощенную трехмерную модель рекуперативного теплообменника (рис. 3.1) по размерам, указанным в табл. 3.1 и 3.2.

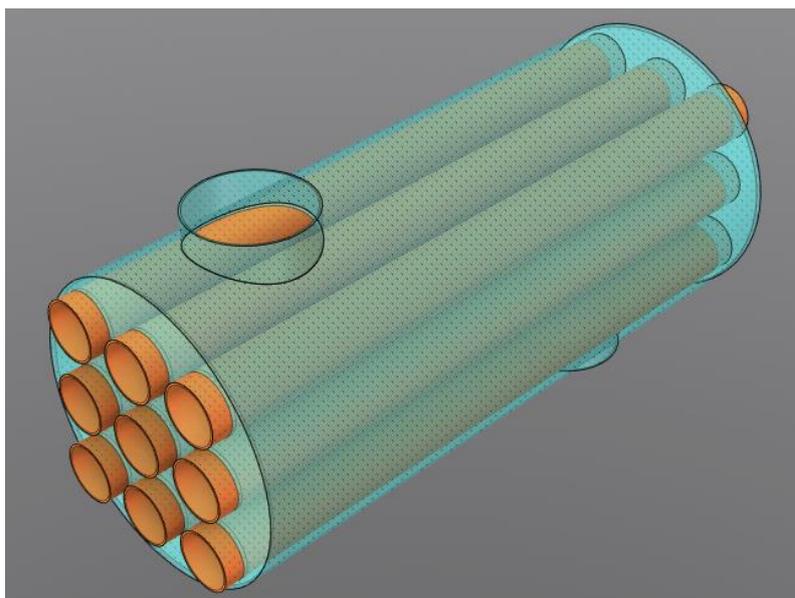


Рис. 3.1. Упрощенная трехмерная модель рекуперативного теплообменного аппарата

Таблица 3.1

Геометрические размеры теплообменника

Диаметр трубок, мм	$A + 10$
Количество трубок	9
Шаг между трубками, мм	$A + 5$
Длина трубок, мм	$B + 200$
Толщина трубок, мм	1
Диаметр внешнего цилиндра, мм	$3 \cdot (A + 10) + 2 \cdot (A + 5) + 10$
Диаметр патрубков, мм	$3 \cdot (A + 10)$

Таблица 3.2

Значения параметров А и В

№ варианта	Значения А и В
1	$A = 2; B = 20$
2	$A = 4; B = 30$
3	$A = 6; B = 40$
4	$A = 8; B = 50$
5	$A = 10; B = 60$
6	$A = 12; B = 70$
7	$A = 14; B = 80$
8	$A = 16; B = 90$
9	$A = 18; B = 100$
10	$A = 20; B = 110$
11	$A = 2; B = 120$
12	$A = 4; B = 10$
13	$A = -2; B = 50$
14	$A = 15; B = 30$
15	$A = -5; B = -20$
16	$A = 15; B = 100$
17	$A = 14; B = 70$
18	$A = 8; B = 200$
19	$A = 10; B = 30$
20	$A = 20; B = -50$

Методика выполнения лабораторной работы

1. Откройте программу ANSYS SpaceClaim. Для построения эскиза выберите плоскость ZX. В режиме эскиза нажмите правую кнопку мыши и выберите новую плоскость эскиза. Далее путем движения мыши выберите плоскость ZX (рис. 3.2).

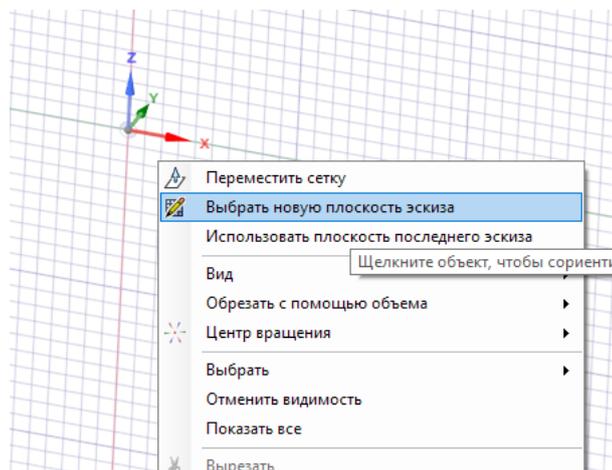


Рис. 3.2. Выбор плоскость ZX

2. Создайте массив внутренних трубок, по которым будет протекать первый теплоноситель (ТН). Для этого создайте окружность диаметром 30 мм и с помощью операции «Вытянуть» придайте длину 100 мм (рис. 3.3).

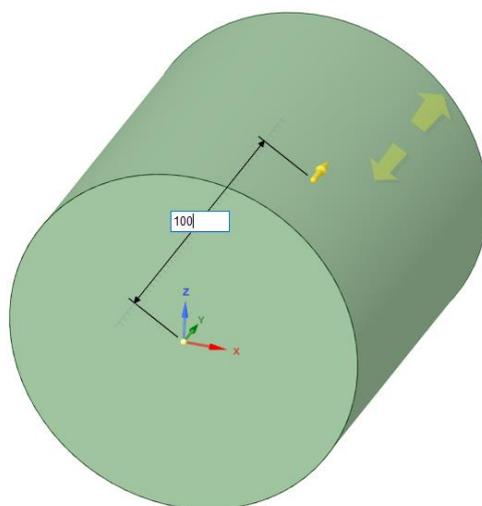


Рис. 3.3. Создание цилиндра

3. Вырежьте внутреннюю полость и придайте трубке толщину, равную 1 мм. Для этого воспользуйтесь командой «Оболочка» в верхней части панели управления в блоке «Создать» (рис. 3.4).

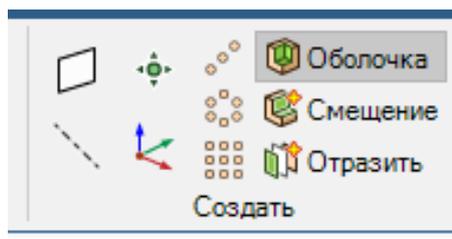


Рис. 3.4. Команда «Оболочка»

4. Далее выделите первую боковую грань цилиндра и задайте в активном поле значение 1 мм (рис. 3.5).

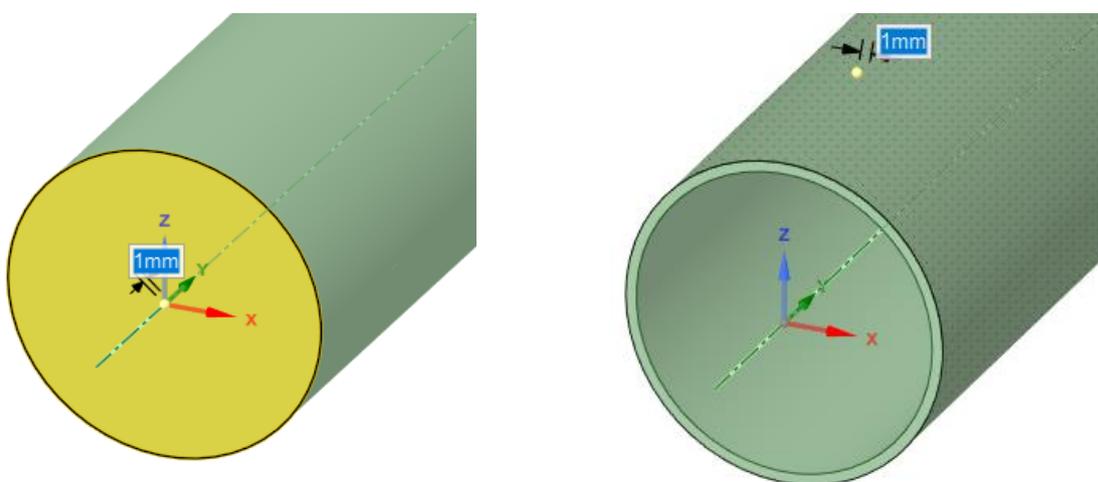


Рис. 3.5. Операция «Оболочка»

5. Сразу же выделите противоположную грань и нажмите «ENTER» (рис. 3.6).

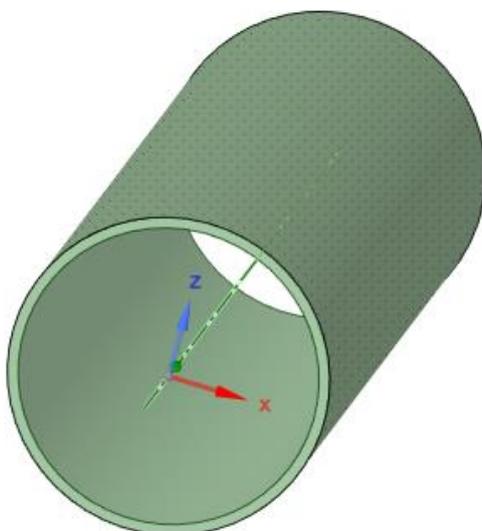


Рис. 3.6. Создание трубки

6. Создайте массив трубок. Для этого воспользуйтесь командой «Линейный массив» (рис. 3.7).

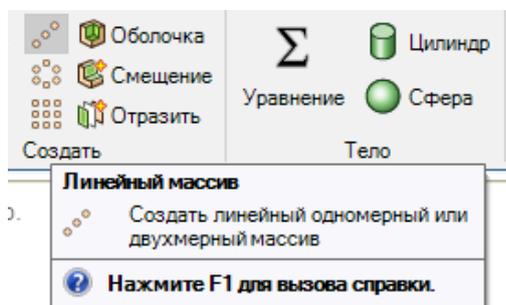


Рис. 3.7. Команда «Линейный массив»

7. Выберите объект – всё тело (рис. 3.8).

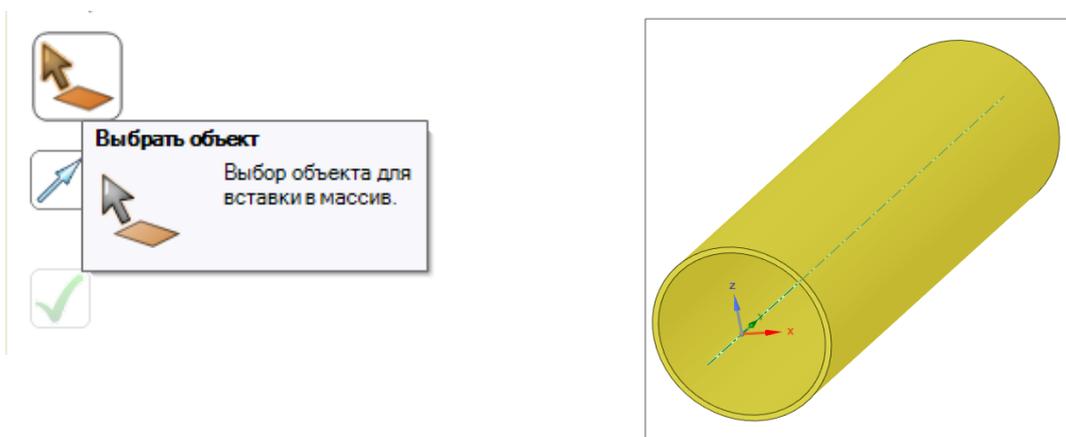


Рис. 3.8. Создание массива трубок

8. После чего перейдите к выбору направления (рис. 3.9). В качестве направления выберите ось X.

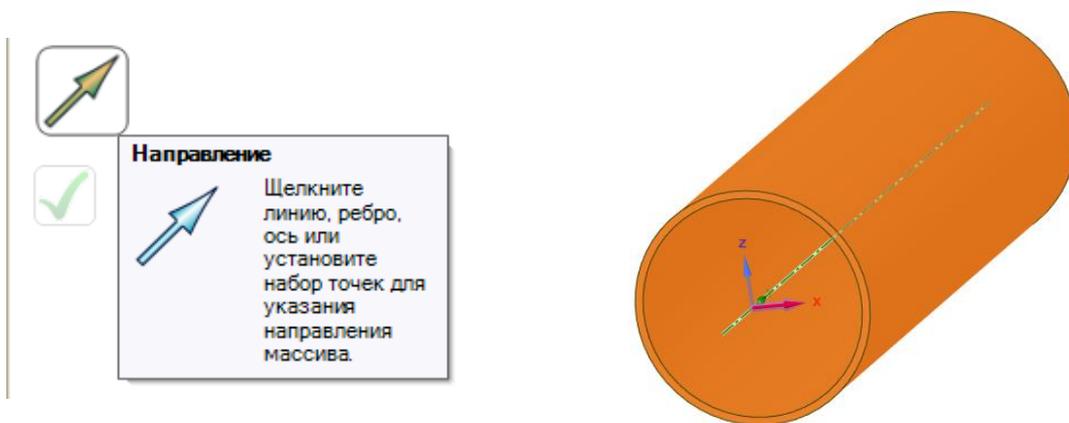


Рис. 3.9. Создание массива

9. В левой части экрана в структуре выберите «Одномерный массив». Количество элементов – 3. Шаг задайте 10 мм. Учитывая, что диаметр трубки – 30 мм, то «шаг по X» будет равен $10 + 30 = 40$ мм (рис. 3.10).

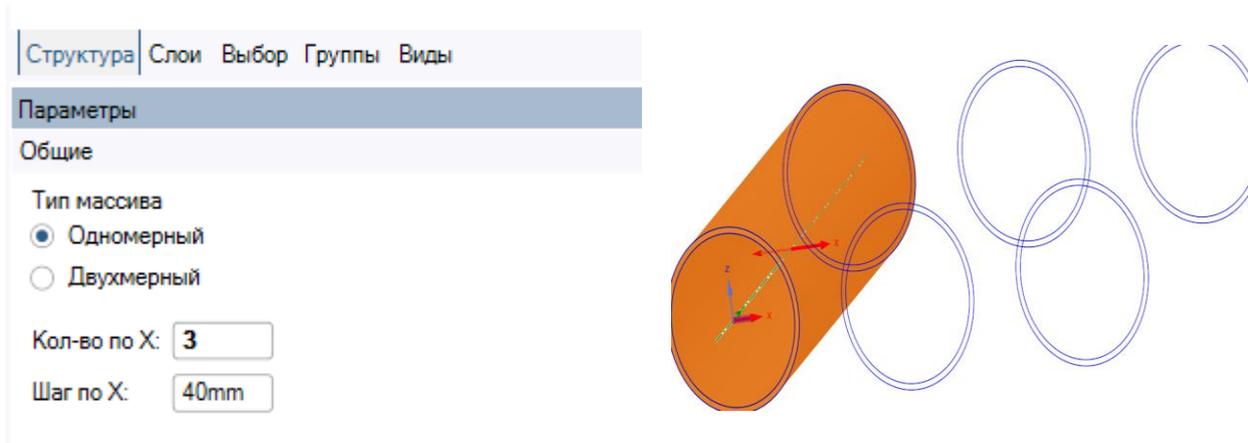


Рис. 3.10. Настройка массива

10. Для создания массива из 9 трубок произведите аналогичные операции. В качестве объекта выберите 3 трубки. В качестве направления выберите ось Z. Тип массива – одномерный. Количество – 3. Шаг – 10 мм (рис. 3.11).

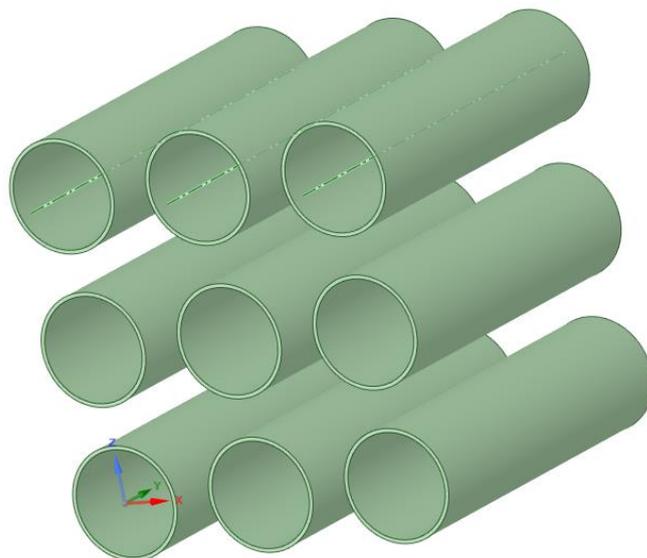


Рис. 3.11. Массив внутренних трубок

11. В случае, если вам необходимо удлинить длину трубок, то можно воспользоваться операцией «Вытянуть». Выделите кромку и задайте числовое значение – 250 мм (рис. 3.12).

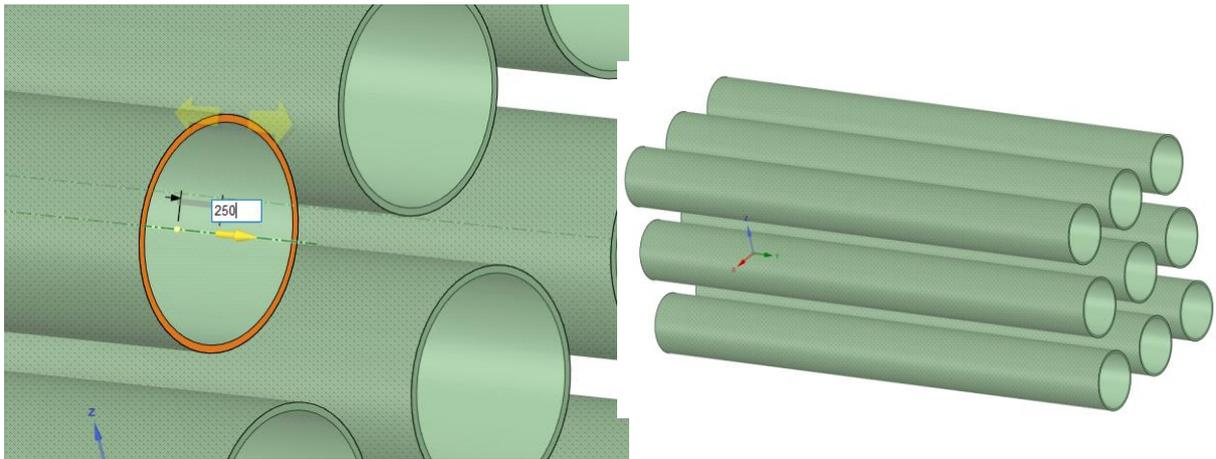


Рис. 3.12. Удлинение трубок

12. Постройте внешний корпус теплообменника. Для этого создайте вспомогательную плоскость для создания эскиза (рис 3.13). После выбора плоскости в панели управления необходимо левой кнопкой мыши выбрать кромку любой трубки.

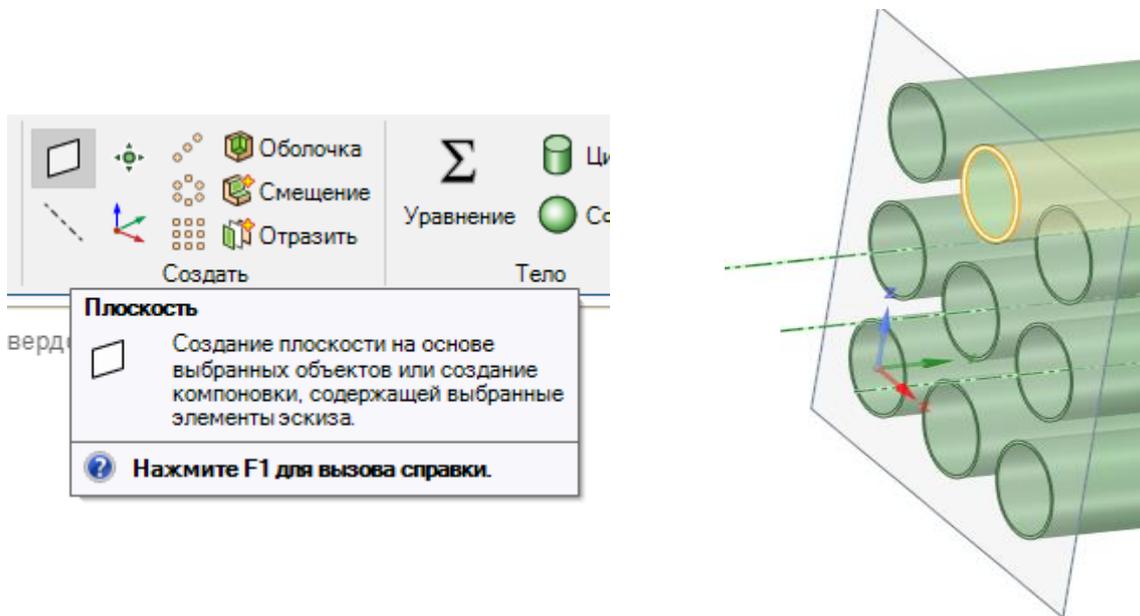


Рис. 3.13. Создание вспомогательной плоскости

13. С помощью операции «Переместить» переместите плоскость на 10 мм (рис. 3.14).

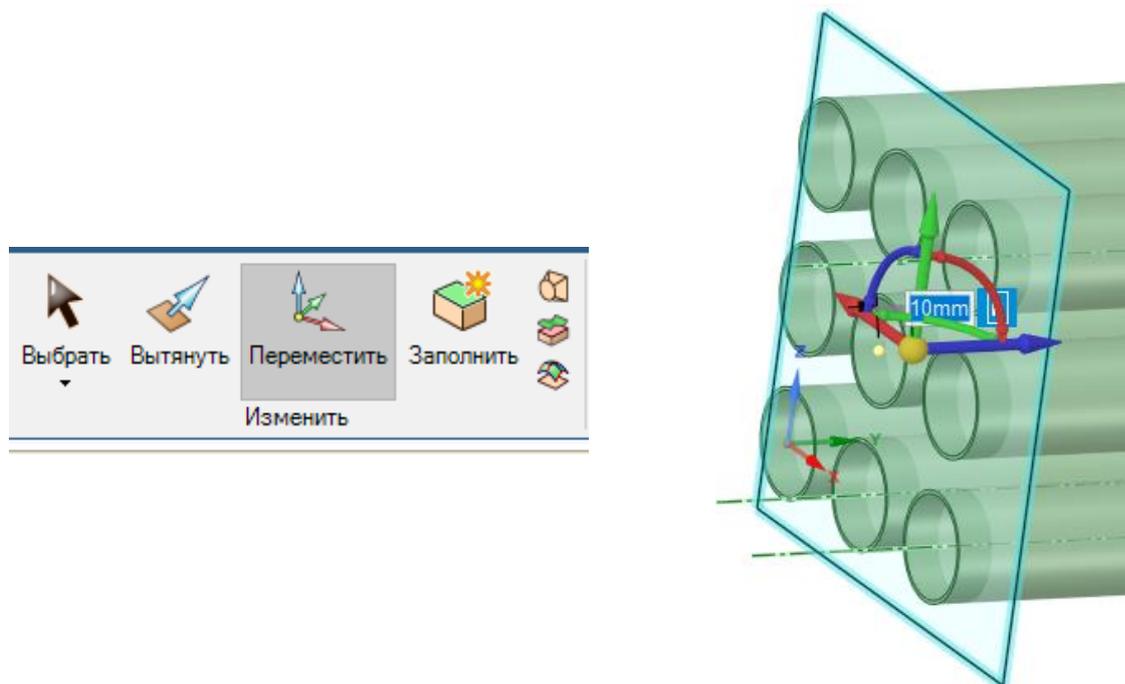


Рис. 3.14. Перемещение плоскости

14. Выберите созданную плоскость и перейдите в режим эскиза (горячая клавиша – К). Для удобства нажмите «Вид сверху» (рис. 3.15).

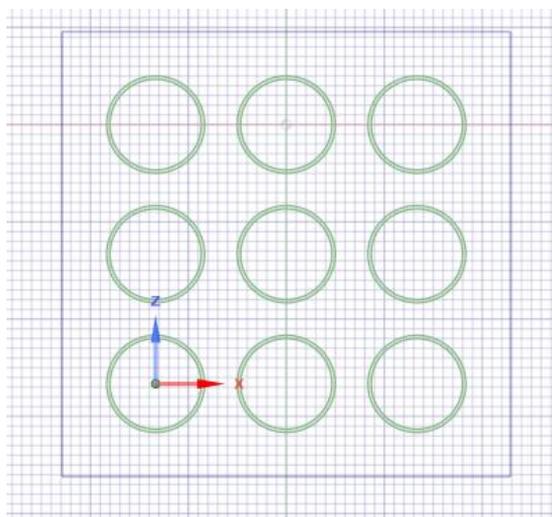


Рис. 3.15. Работа в эскизе

15. Для создания внешнего корпуса постройте из центра окружность диаметром 150 мм (рис. 3.16).

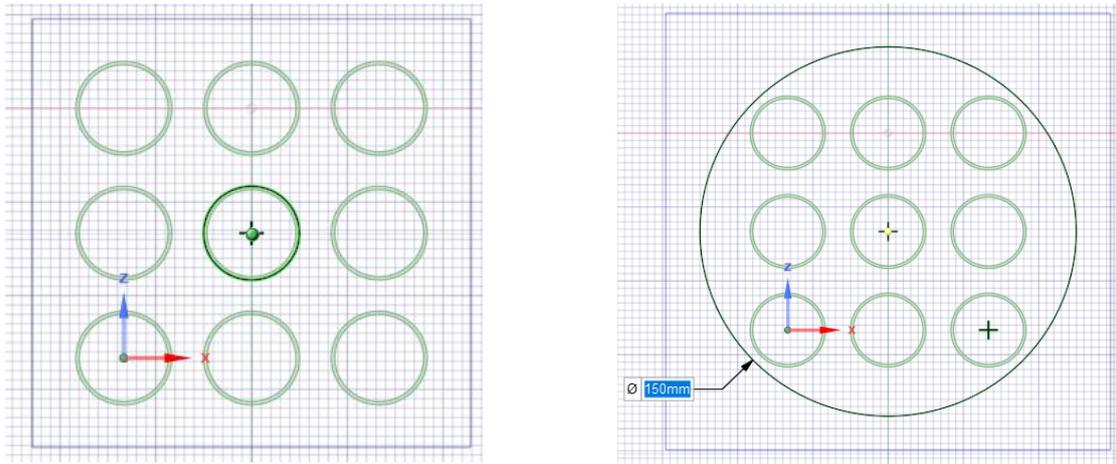


Рис. 3.16. Построение корпуса

16. С помощью операции «Вытянуть» вытяните окружность на 330 мм и примените операцию «Оболочка» с двух сторон цилиндра (рис. 3.17).

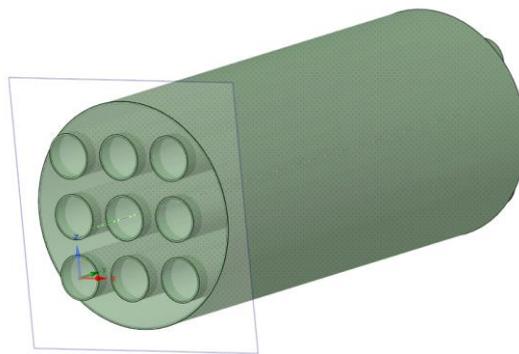


Рис. 3.17. Построение теплообменника

17. Далее создайте боковые основания. Для этого примените операцию «Вытянуть», укажите числовое значение, равное 2 мм (рис. 3.18).

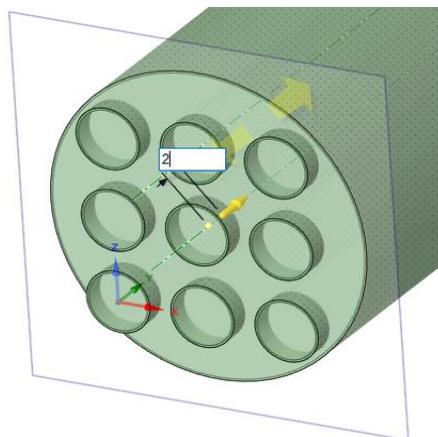


Рис. 3.18. Создание оснований с двух сторон

18. Для создания бокового основания с другой стороны создайте эскиз. На эскизе постройте окружность диаметром 150 мм и примените операцию «Вытянуть» на 2 мм (рис. 3.19).

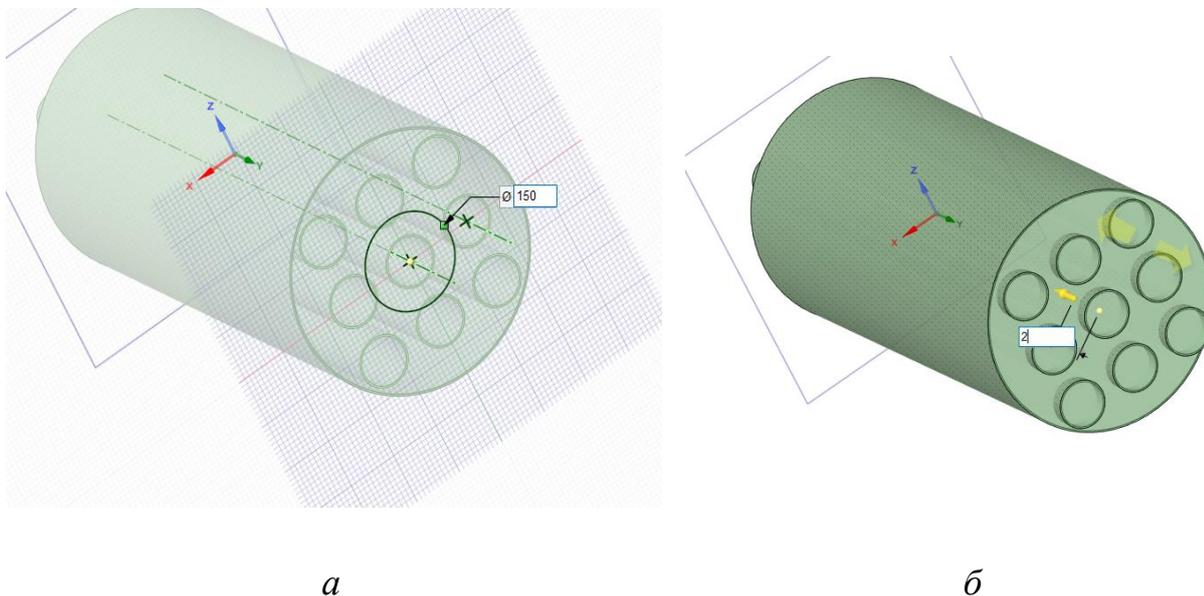


Рис. 3.19. Создание оснований:

а – построение бокового основания;

б – построение окружностей и применение операции «Вытянуть»

19. Для того чтобы скрыть плоскость, уберите галочку в структуре (рис. 3.20).

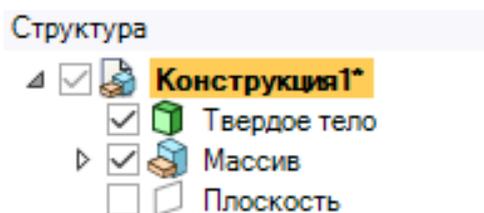
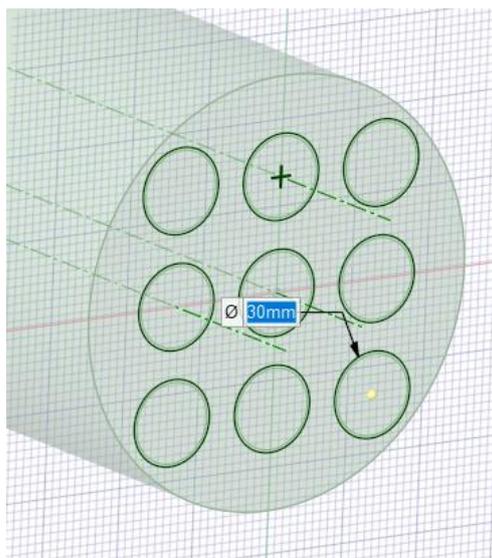
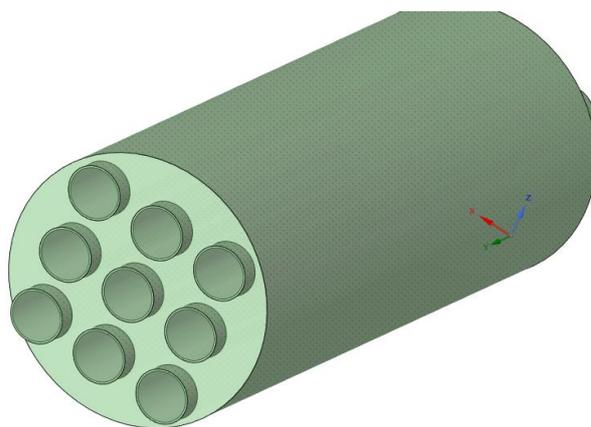


Рис. 3.20. Структура проекта

20. Прodelайте снова отверстия во внутренних трубках. Для этого с одной из сторон оснований цилиндра перейдите в режим эскиза и нарисуйте несколько окружностей с диаметром, равным диаметру трубок, в данном случае – 30 мм. С помощью команды «Вытянуть» создайте отверстия. Для того чтобы выделить несколько окружностей, нажмите клавишу «CTRL» (рис. 3.21).



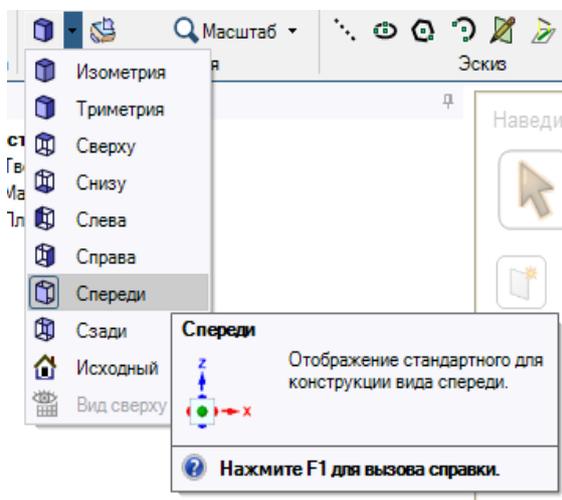
a



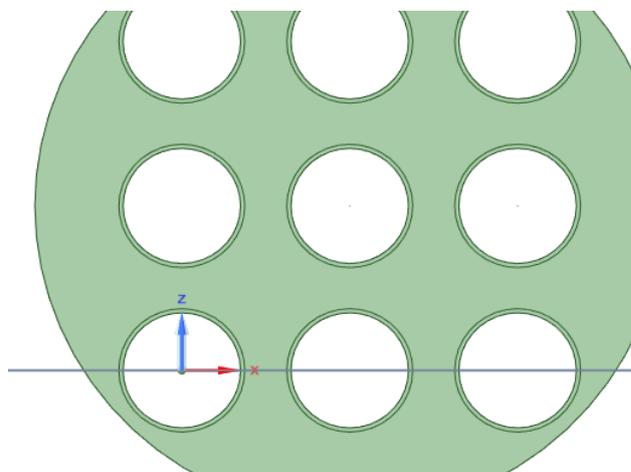
б

Рис. 3.21. Создание отверстий во внутренних трубках:
a – режим эскиза; *б* – применение команды «Вытянуть»

21. Создайте входной и выходной патрубки. Выберите вид спереди и создайте плоскость, перпендикулярную оси Z (рис. 3.22).



a



б

Рис. 3.22. Создание плоскости:
a – вид «Спереди»; *б* – плоскость, перпендикулярная оси Z

22. Выделите плоскость и примените команду «Переместить», укажите значение 130 мм (рис. 3.23).

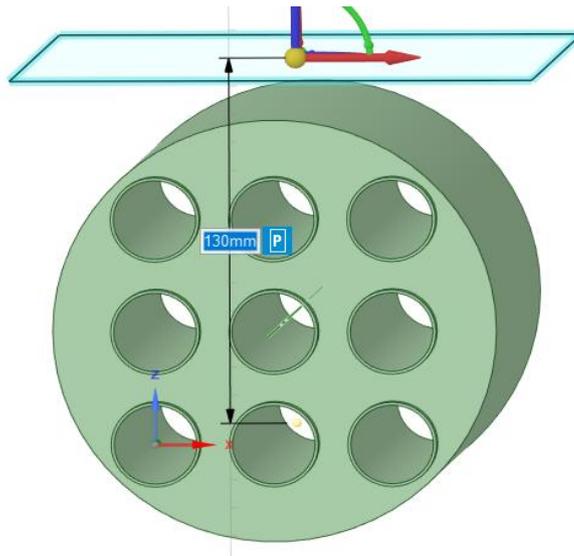


Рис 3.23. Создание вспомогательной плоскости

23. На созданной плоскости перейдите в режим эскиза. Для удобства необходимо нажать «Вид сверху». Создайте первый патрубок. Для этого выберите построить окружность и включите «Декартовы размеры». В качестве центра окружности укажите значения 75 и 60 мм. Постройте окружность с диаметром 60 мм (рис. 3.24).

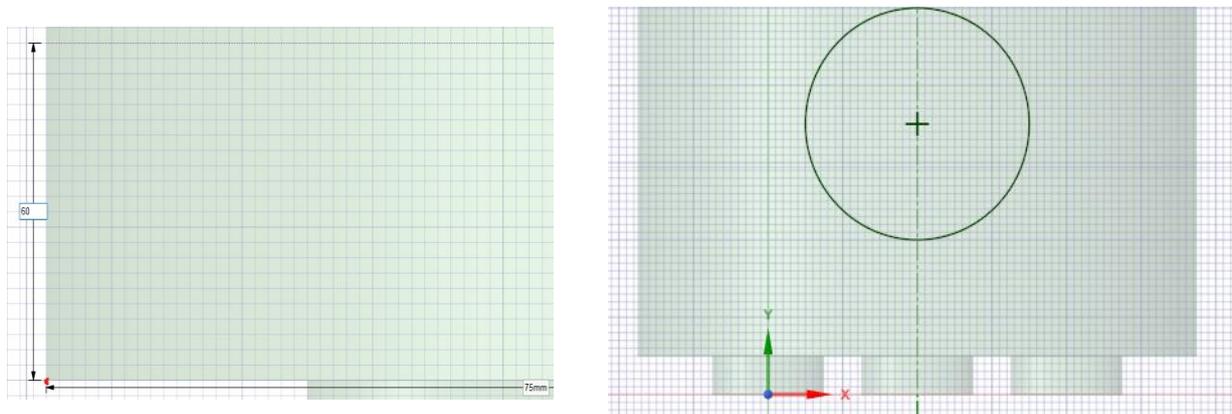


Рис. 3.24. Построение входного патрубка

24. Далее нажмите на команду «Вытянуть», после чего выберите окружность, в настройках команды выберите «До» и мышкой укажите на основание цилиндра (рис. 3.25).

Для того чтобы убрать плоскость, уберите соответствующую галочку.



Рис. 3.25. Построение патрубка

25. Создайте отверстие в патрубке. Придайте толщину стенке – 1 мм. Для этого кликните на основание цилиндра и выберите «Режим сечения» (рис. 3.26).

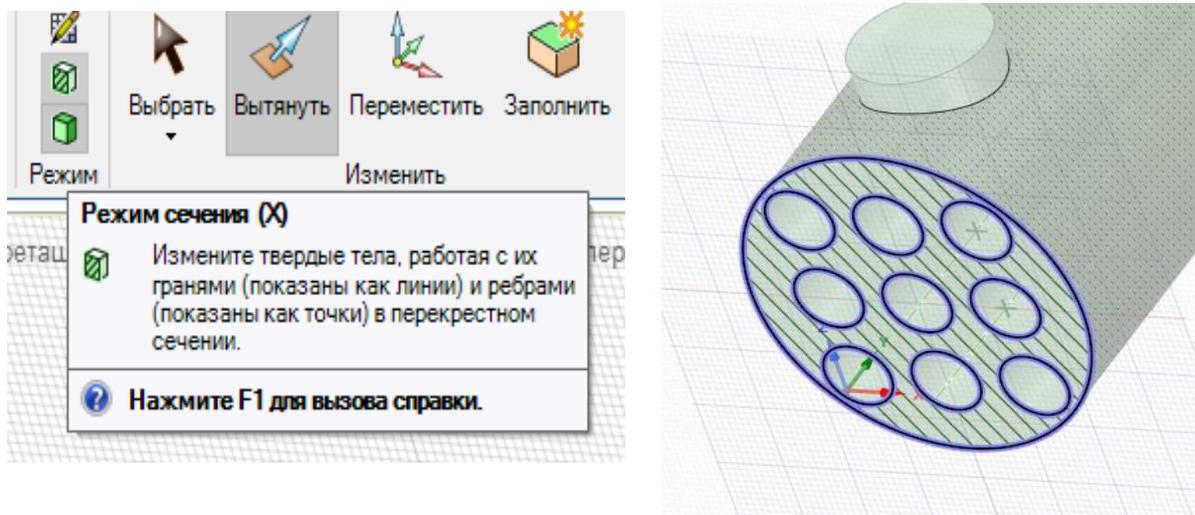


Рис. 3.26. Создание входного патрубка

26. Далее нажмите «Переместить сетку» в нижней части программы и сдвиньте сетку, чтобы визуально разрезать входной патрубок (рис. 3.27).

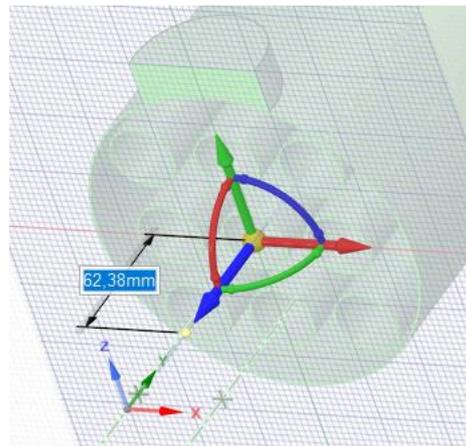
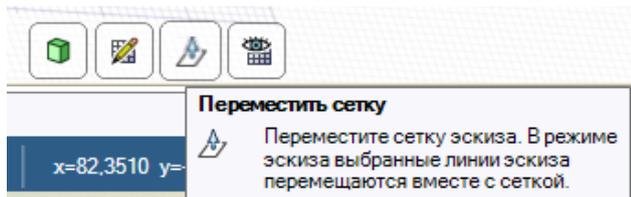


Рис. 3.27. Создание сетки

27. Далее примените 2 раза команду «Оболочка» с значением 1 мм (рис. 3.28).

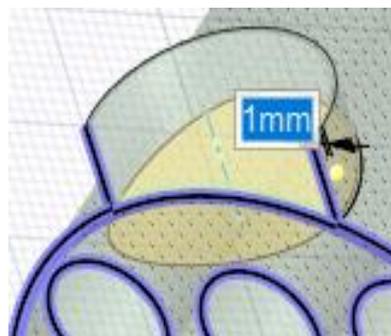
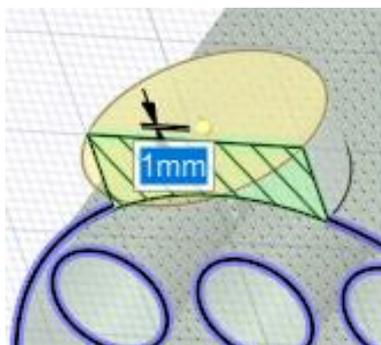


Рис. 3.28. Применение команды «Оболочка»

28. Вернитесь в трехмерный режим (рис. 3.29).



Рис. 3.29. Трехмерная модель теплообменника с входным патрубком

29. Произведите аналогичные операции с другой стороны и получите выходной патрубок (рис. 3.30).

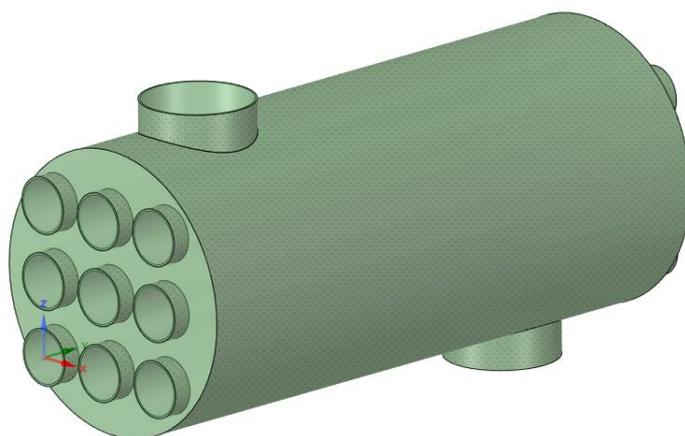


Рис. 3.30. Трехмерная модель рекуперативного теплообменного аппарата

Требования к отчету о проделанной работе

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать:

- краткое описание теоретической части;
- трехмерную модель детали;
- вывод по результатам проведенной работы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение рекуперативному теплообменнику. В чем состоит отличие рекуперативного теплообменного аппарата от регенеративного?
2. Перечислите классификацию рекуператоров.
3. Опишите конструкцию металлического оребренного пластинчатого рекуператора.
4. Какие возможности дают пластинчатые оребренные рекуператоры при их использовании?
5. Перечислите преимущества оребренных пластинчатых рекуператоров.
6. Расскажите об интенсификации теплообмена в прямоточно-противоточном трубчатом рекуператоре.
7. Перечислите основные отрасли применения прямоточных противоточных трубчатых рекуператоров. Каких потребительских характеристик позволяют добиться прямоточно-противоточные рекуператоры при их монтаже в единый воздуховодный кожух?
8. Дайте общие сведения о роторном рекуператоре.

Лабораторная работа № 4

ПРОВЕДЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В КЛАССИФИКАТОРЕ

Цель работы – изучение моделей турбулентности, создание проточного объема и расчетной сетки модели, настройка параметров решателя для численного моделирования, запуск численного расчета движения газовой среды в классификаторе.

Краткие теоретические сведения

Турбулентные потоки являются наиболее часто встречающейся и вместе с тем наиболее сложной формой движения жидкостей и газов. Турбулентность представляет собой чрезвычайно сложный объект для исследования, поскольку является системой с очень большим количеством степеней свободы и обычно характеризуется широкополосным набором различных компонент движения и внутренних сил, среди которых существенную роль играют мелкомасштабные и высокочастотные составляющие.

ANSYS Fluent содержит в себе широкий спектр разнообразных моделей турбулентности – это и проверенные временем RANS-модели (осреднение по Рейнольдсу), и современные методы крупных и отсоединённых вихрей LES и DES, а также гибридные модели, сочетающие преимущества RANS- и LES-моделирования. Наиболее популярной однопараметрической моделью турбулентности, которая широко используется в задачах внешней аэродинамики при расчете безотрывных течений, является модель Спаларта-Алмараса. В этой модели вихревая вязкость определяется из одного дифференциального уравнения переноса турбулентной кинетической энергии. С введением поправок на кривизну, вращение и шероховатость область применения этой модели существенно расширилась. Для расчета безотрывных течений или течений с ограниченными отрывными зонами можно также использовать и двухпараметрические модели типа $k-\varepsilon$ и $k-\omega$. В первом случае рассчитывается уравнение для турбулентной диссипации ε , во втором – для удельной скорости диссипации турбулентной энергии ω . Для тонкого пограничного слоя модель $k-\omega$ более точно предсказывает положение точки отрыва, чем модель $k-\varepsilon$. Однако при расчете внутренних течений модель $k-\omega$, как правило, работает хуже, чем $k-\varepsilon$. Также при использовании модели турбулентности $k-\omega$ следует

помнить, что она очень чувствительна к граничным условиям во внешнем потоке. В том случае, если вам необходимо рассчитать анизотропную турбулентность, то есть турбулентность, зависящую от направления, или исследовать неравновесные эффекты, вы можете использовать модель Рейнольдсовых напряжений (Reynolds-Stress Model). Эта модель дает наиболее точные результаты для сложных течений с вторичными потоками, однако требует значительно больше вычислительных ресурсов, чем стандартные двухпараметрические модели. Помимо полуэмпирических моделей, базирующихся на использовании RANS, вы можете проводить расчеты на основе LES (с англ. Large Eddy Simulation – метод крупных вихрей) и DES (с англ. Detached eddy simulation – метод отсоединенных вихрей) методов. Основная идея метода LES заключается в локальном осреднении характеристик турбулентного течения по областям с размерами порядка фильтра: большие масштабы турбулентности рассчитываются явно, а эффекты более мелких вихрей моделируются с использованием правил подсеточного замыкания. Основные области применения LES: задачи аэроакустики, горения, смешивания, метеорологии и пр. Метод отсоединенных вихрей DES можно условно назвать гибридным методом LES/RANS. При его использовании в пограничном слое используются нестационарные уравнения Рейнольдса, в то время как метод LES применяется в отрывных зонах. LES-зоны, как правило, расположены в области турбулентных течений, где доминируют крупномасштабные турбулентные структуры. В пристеночной области используются соответствующие RANS-модели. Метод DES применяется в основном для моделирования высокорейнольдсовых потоков; при моделировании внутренних течений точность этого метода существенно снижается. Вычислительные затраты при использовании метода DES меньше, чем при использовании LES, но больше, чем при использовании метода RANS. При моделировании ярко выраженного нестационарного течения целесообразно применять модель турбулентности SAS (Scale-Adaptive Simulation), которая является усовершенствованным вариантом нестационарного метода RANS (URANS) и позволяет получать достоверные результаты для пульсационной составляющей потока. В отличие от традиционных URANS моделей, которые позволяют получить только крупномасштабные турбулентные структуры, модель SAS динамически адаптируется к решенным методом URANS масштабам и позволяет отследить развитие турбулентных структур в отдельных областях течения. Таким образом, в нестационарных областях потока SAS-модель работает подобно методу LES, а в стационарных областях – аналогично RANS методу.

Благодаря постоянному увеличению производительности компьютеров и уменьшению их стоимости модели LES и более экономичные модели DES стали чрезвычайно популярны при решении промышленных задач [1]. Не мало значимой в инженерном численном моделировании является модель турбулентности Transition SST, представляющая собой некий симбиоз $k-\varepsilon$ и $k-\omega$. При расчёте течения в свободном потоке используются уравнения модели $k-\varepsilon$, а в области около стенок – уравнения модели $k-\omega$. Пристеночные функции не используются. Данная модель обеспечивает наиболее точные результаты при расчёте вблизи стенок. Стоит отметить, что уравнения модели SST не всегда быстро сходятся. Также стоит подчеркнуть, что затраты объёма оперативной памяти в разы выше, чем в моделях $k-\varepsilon$ и $k-\omega$ [7].

Спектр настроек моделей турбулентности и открытость для глубоких изменений позволяют моделировать разнообразные эффекты турбулентности для любых условий течения жидкости.

Задание на выполнение лабораторной работы

Рассчитайте классификатор (рис. 4.1), созданный в лабораторной работе № 2, в зависимости от варианта (табл. 4.1), при различных скоростях, и получите график, представленный на рис. 4.30. Также постройте несколько произвольных плоскостей и отобразите распределение скоростей на них.

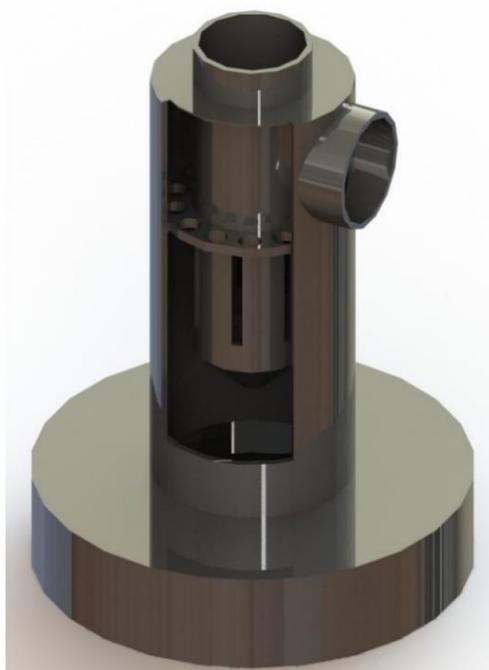


Рис. 4.1. Трехмерная модель классификатора

Таблица 4.1

Расчетные скорости в зависимости от варианта

№ варианта	Расчетные скорости W , м/с
1	6, 10, 14
2	8, 12, 16
3	5, 7, 9
4	11, 14, 16
5	12, 13, 17
6	15, 18, 19
7	7, 14, 21
8	6, 10, 14
9	8, 12, 16
10	5, 7, 9
11	11, 14, 16
12	12, 13, 17
13	15, 18, 19
14	7, 14, 21
15	6, 10, 14
16	8, 12, 16
17	11, 14, 16
18	8, 15, 23
19	11, 14, 16
20	7, 14, 21

Методика выполнения лабораторной работы

1. Откройте Workbench и создайте новый проект. Выберите вкладку «Fluent» (рис. 4.2).

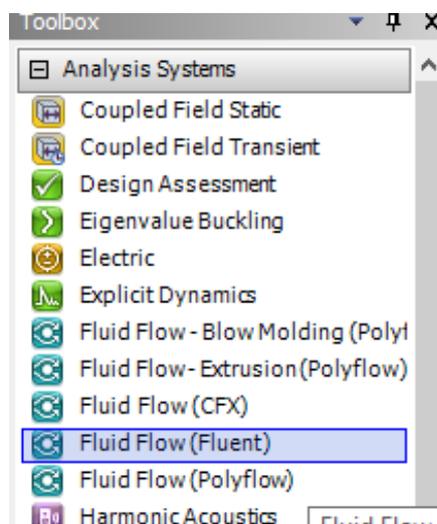


Рис. 4.2. Fluid Flow (Fluent)

2. Кликните правой кнопкой мыши на «Geometry» и откройте данный блок (рис. 4.3).

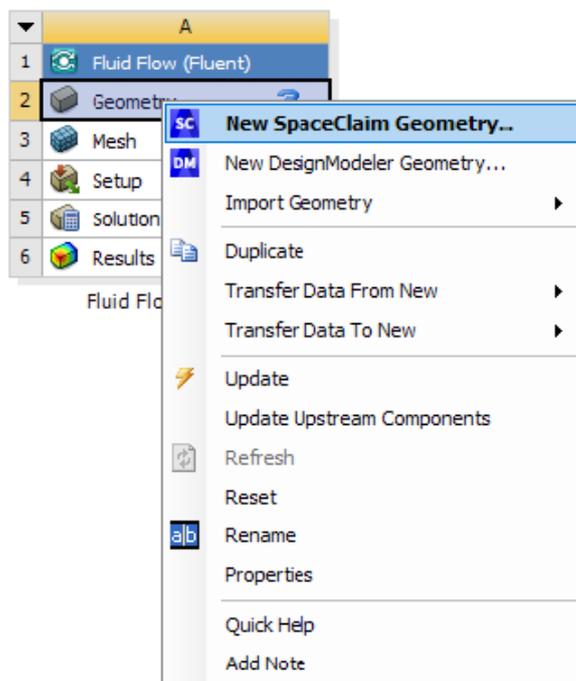


Рис. 4.3. Geometry

3. Далее откройте созданный ранее классификатор в лабораторной работе № 2 (рис. 4.4).

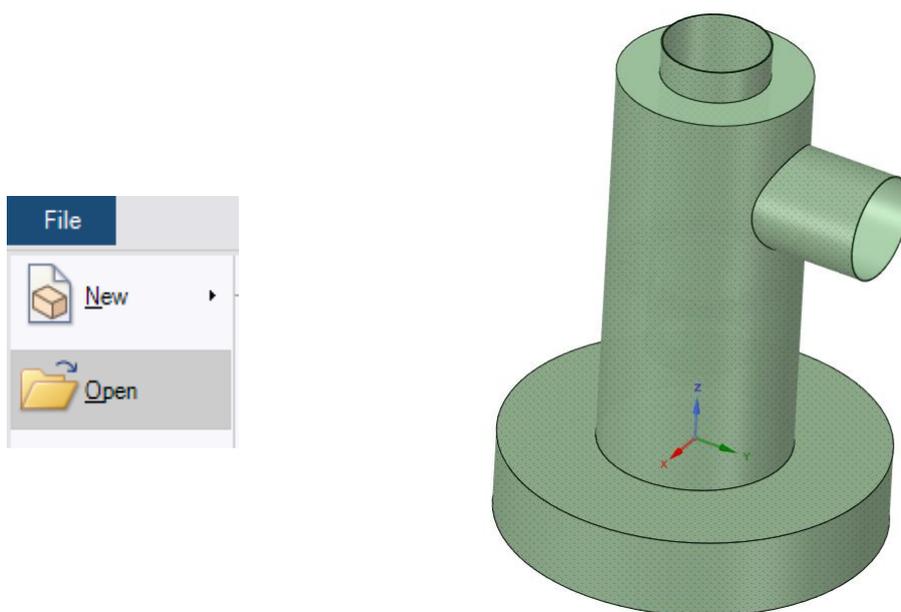


Рис. 4.4. SpaceClaim

3. Создайте проточный объем. Для этого перейдите во вкладку «Prepare» и выберите «Volume extract» (рис. 4.5).

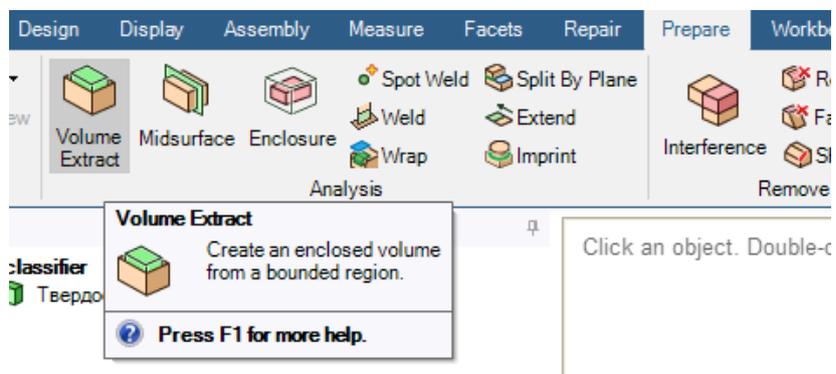


Рис. 4.5. Создание проточного объема

4. Далее выберите «Select edges» и выделите кромки входного и выходного патрубков (рис. 4.6).

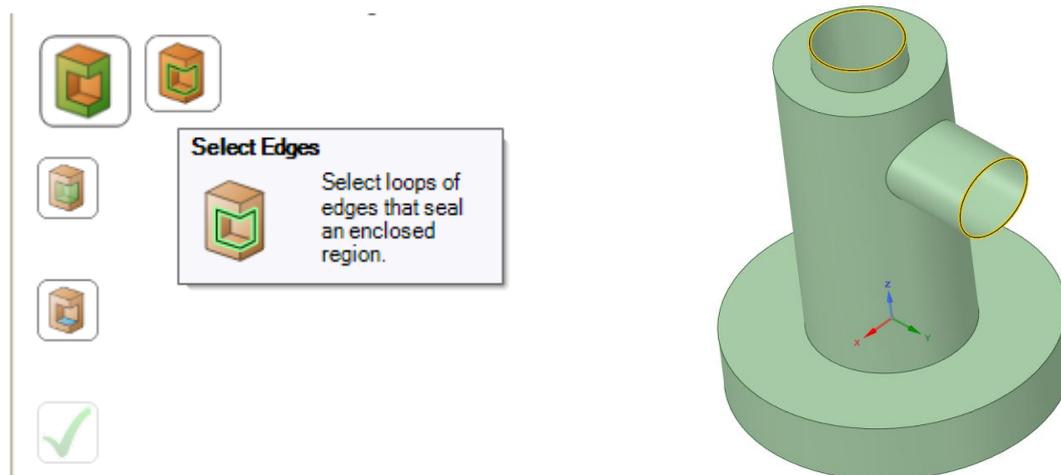


Рис. 4.6. Выделение внутренних кромок

5. Далее можно включать или переключать «Твердость» или «Объем» (рис. 4.7 и 4.8).

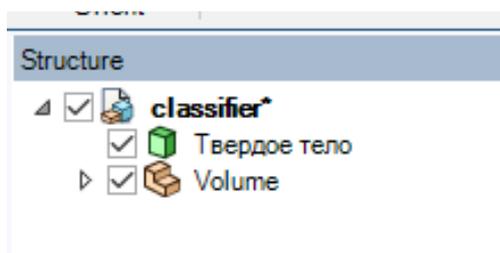


Рис. 4.7. Переключение между твердостью и проточным объемом

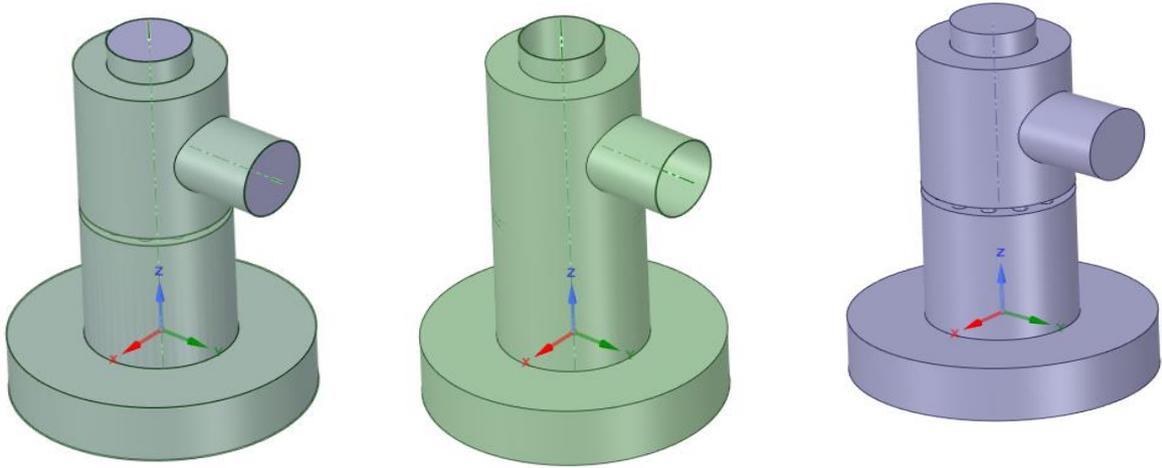


Рис. 4.8. Создание проточного объема

6. Поставьте галочки на всех пунктах и закройте программу. Перейдите к блоку «Mesh» (рис. 4.9).

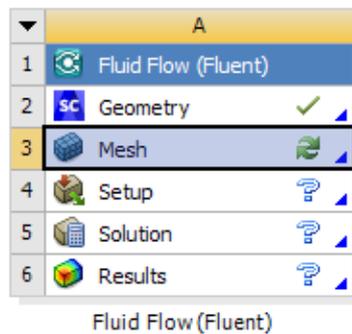


Рис. 4.9. Блок «Mesh»

7. Нажмите «Hide body» у твердого тела (рис. 4.10).

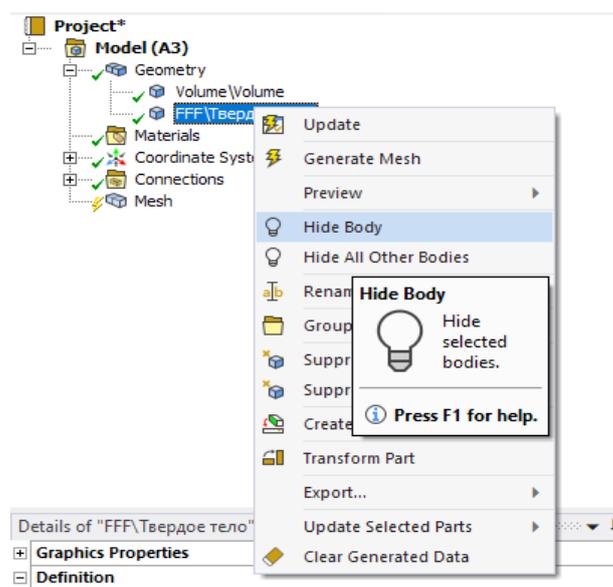


Рис. 4.10. «Hide Body»

8. В настройках проточного объема выберите «Fluid» (рис. 4.11).

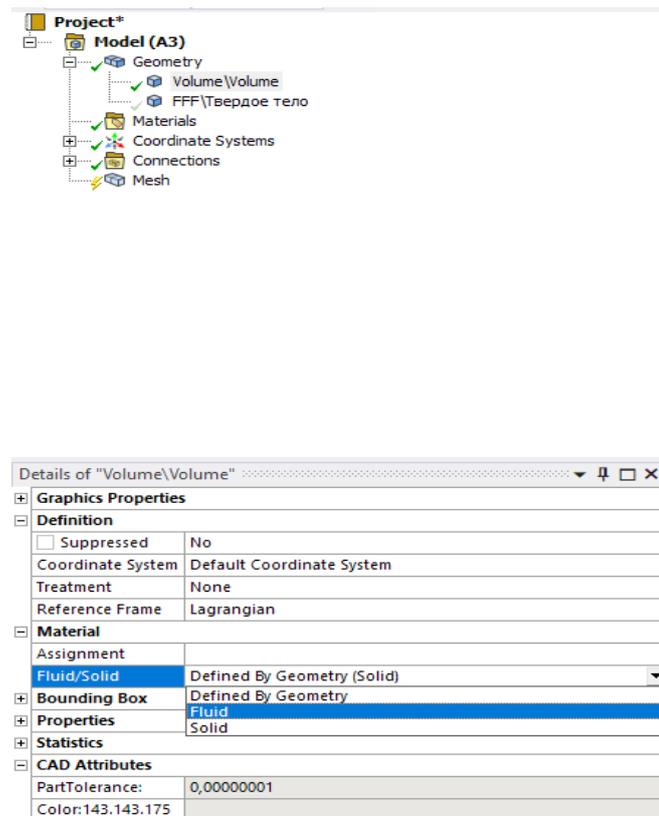


Рис. 4.11. Настройка проточного объема

9. Далее выделите входной патрубок и нажмите правую кнопку мыши, после чего выберите «Create Named Selection» (рис. 4.12).

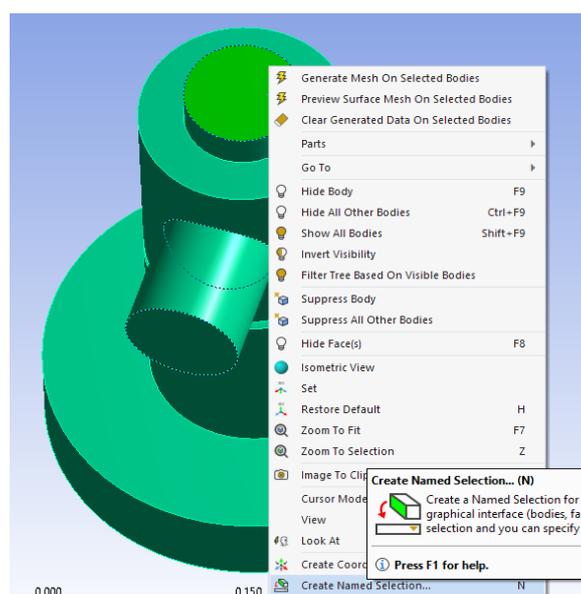


Рис. 4.12. Входной патрубок

10. В окно, которое появилось, вбейте «Inlet» (рис. 4.13).

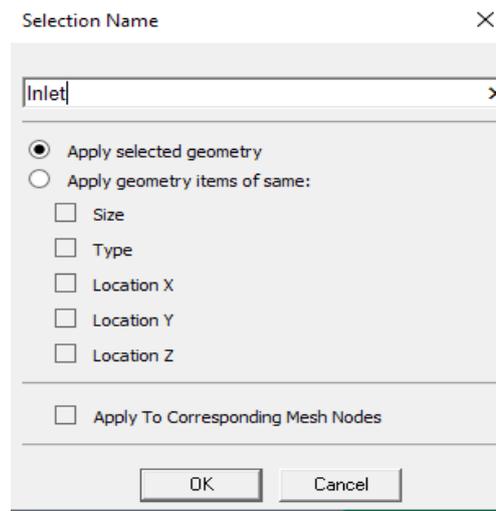


Рис. 4.13. Окно «Inlet»

11. Аналогичную операцию проделайте с выходным патрубком «Outlet» (рис. 4.14).

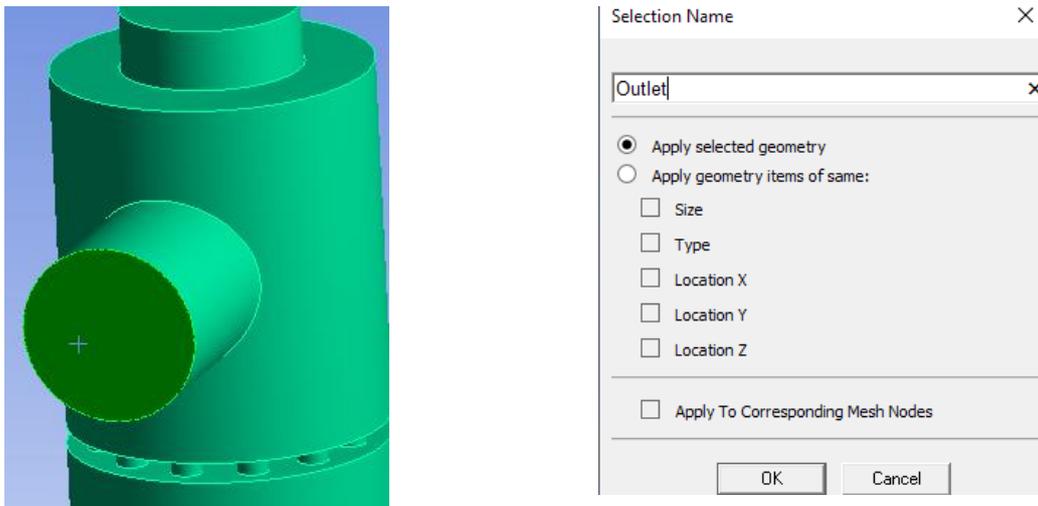


Рис. 4.14. Окно «Outlet»

12. Создайте сетку. Нажмите «Generate» (рис. 4.15).

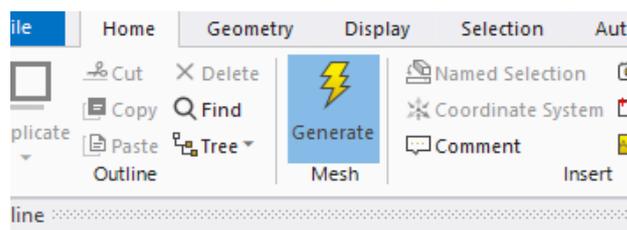


Рис. 4.15. Вкладка «Generate»

13. Получилась грубая сетка (рис. 4.16). Оставьте данную сетку для типового расчета. Закройте программу и перейдите к следующему блоку.

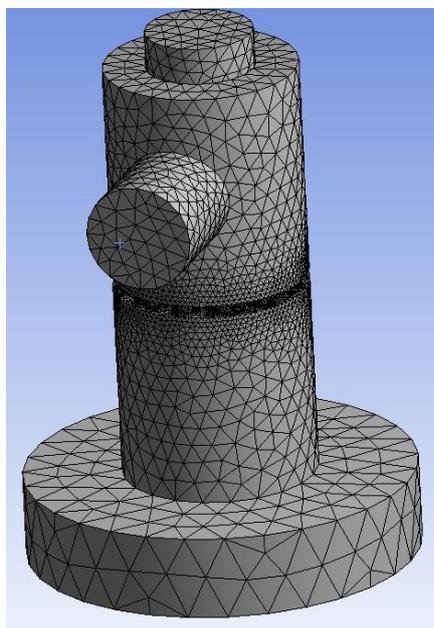


Рис. 4.16. Создание расчетной сетки

14. Нажмите правой кнопкой на «Mesh» и выберите «Update» (рис. 4.17).

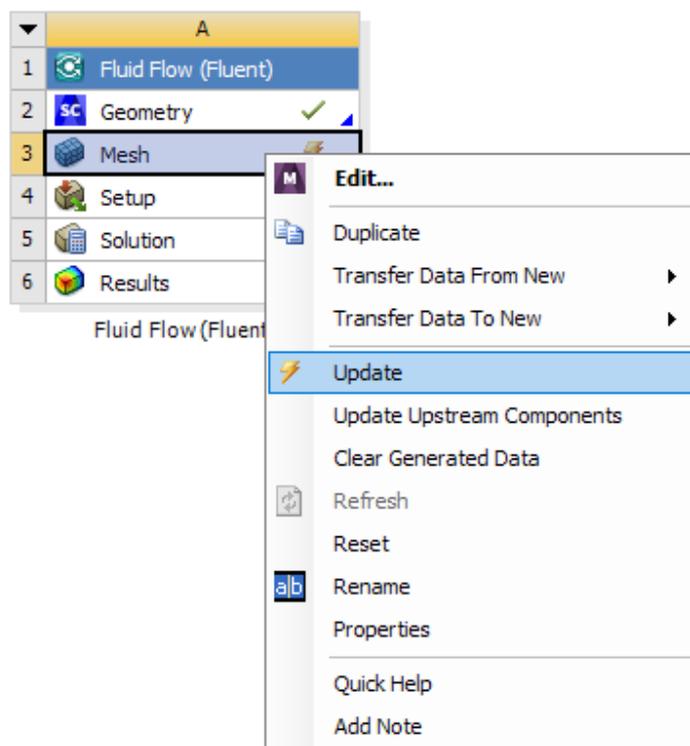


Рис. 4.17. Команда «Update»

15. Откройте блок «Setup» (рис. 4.18).

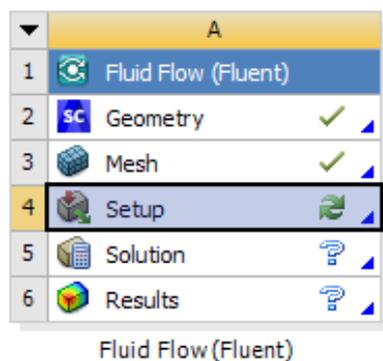


Рис. 4.18. «Setup»

16. Запустите программу (рис. 4.19).

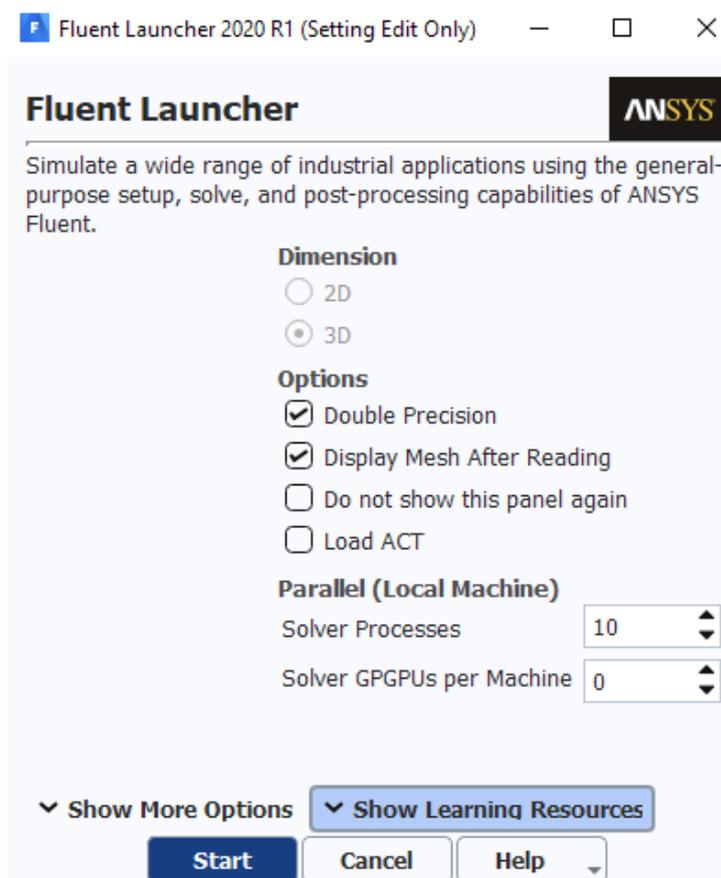


Рис. 4.19. Настройка «Setup»

17. Выберите модель турбулентности «Transition SST» (рис. 4.20).

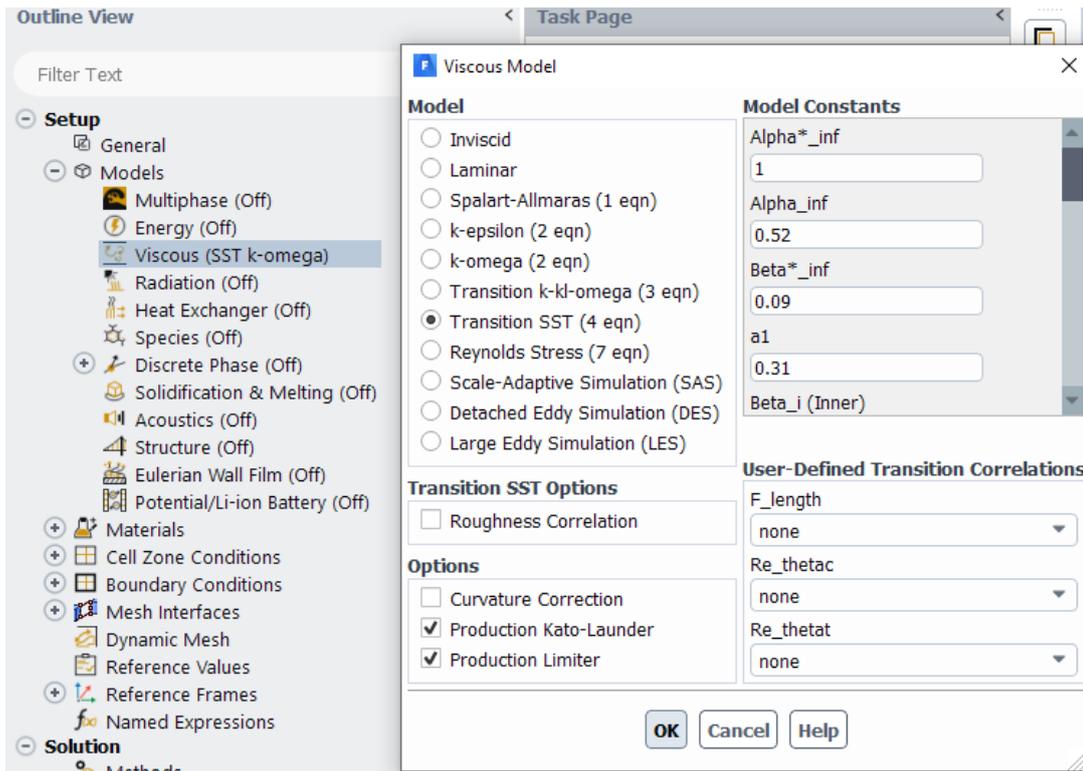


Рис. 4.20. Модель турбулентности

18. Задайте скорость на входе в устройство – 7 м/с (рис. 4.21).

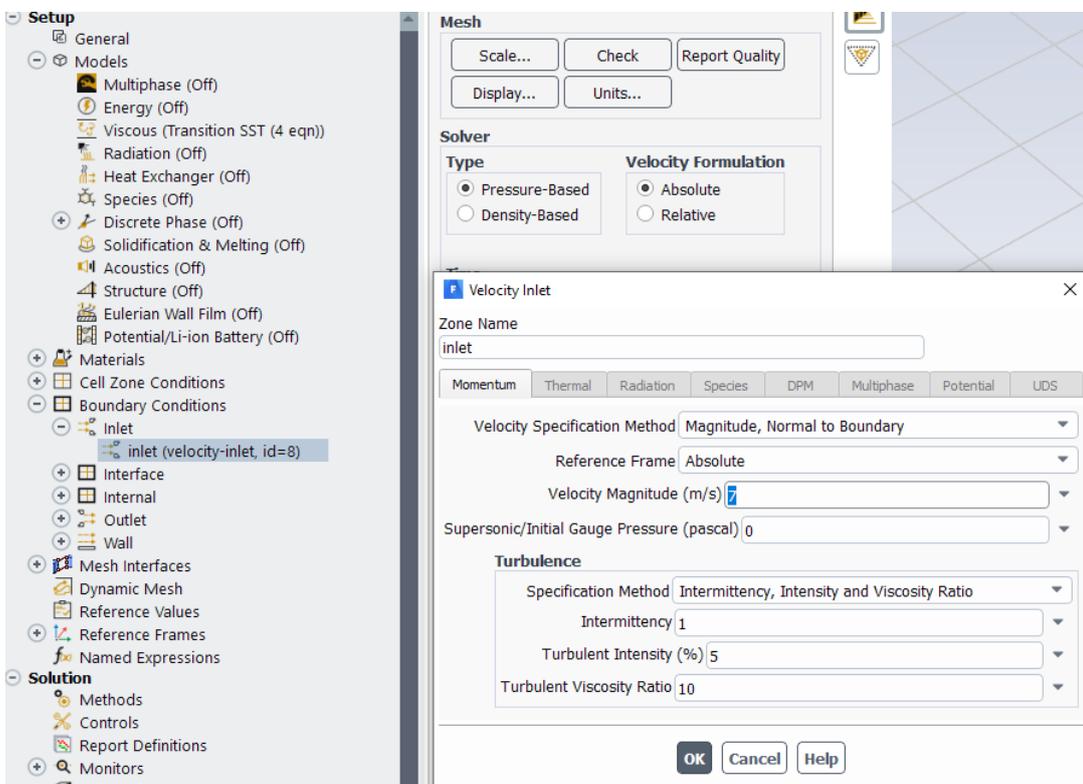


Рис. 4.21. Значение скорости на входе

19. Настройте давление на выходе из устройства (рис. 4.22).

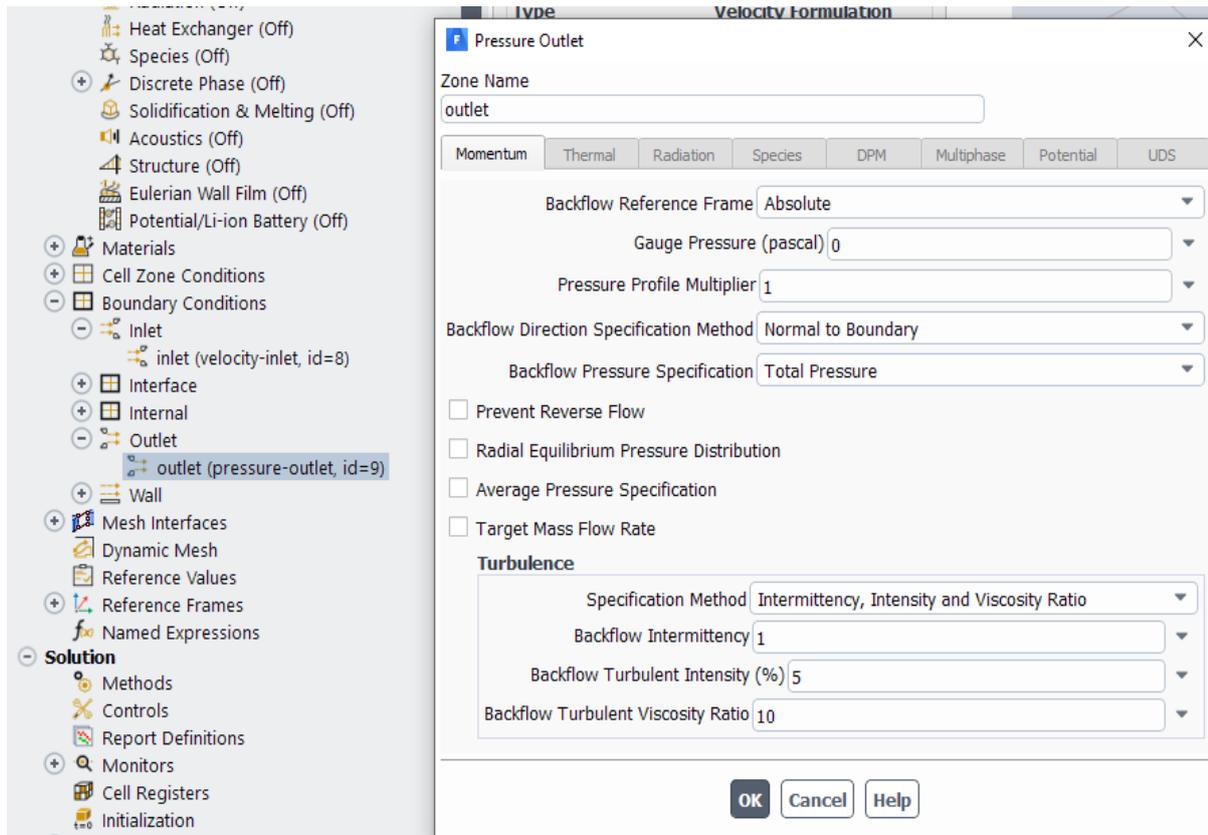


Рис. 4.22. Настройка давления на выходе из устройства

20. Метод решения выберите «Simple» (рис. 4.23).

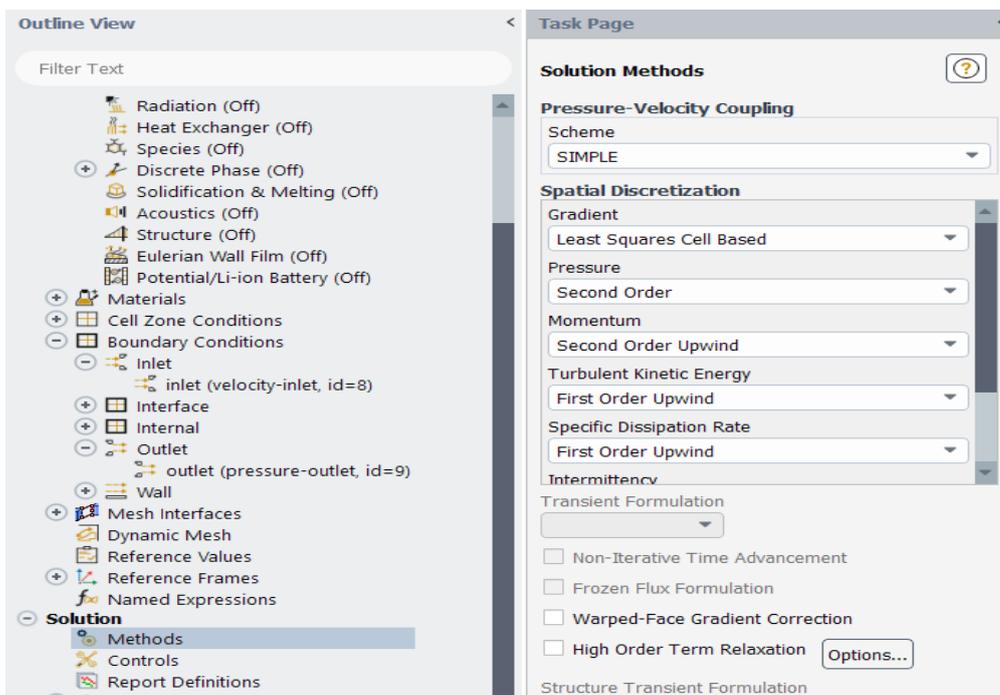


Рис. 4.23. Метод решения

21. Произведите настройку «Initialization» (рис. 4.24).

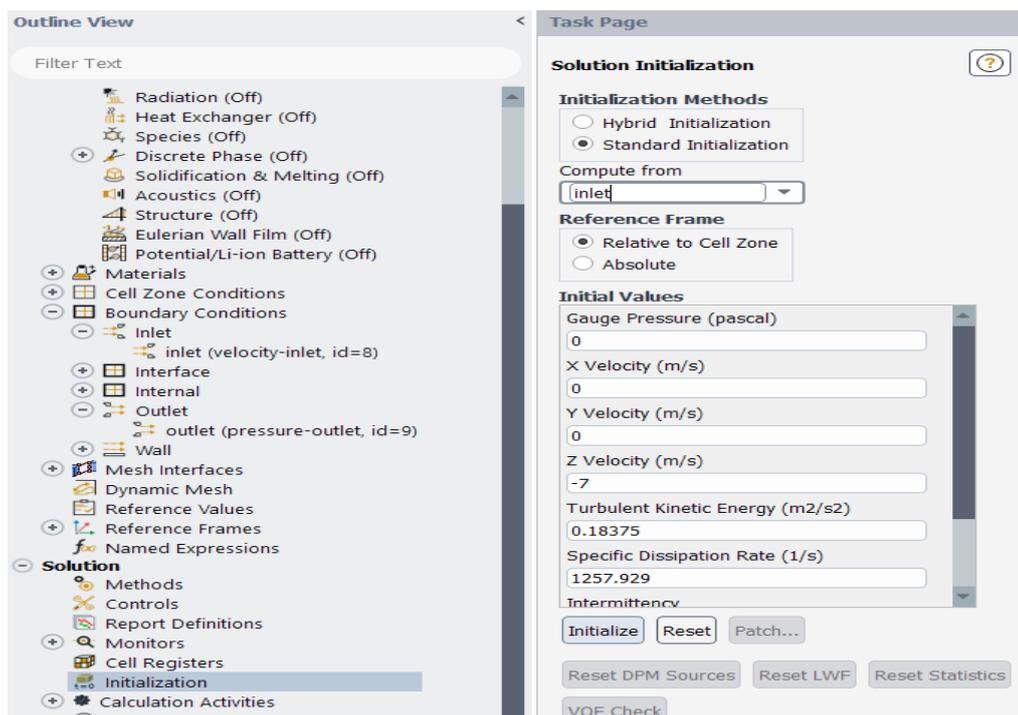


Рис. 4.24. Окно «Initialization»

22. В блоке «Run Calculation» установите количество итераций – 500 (рис. 4.25).

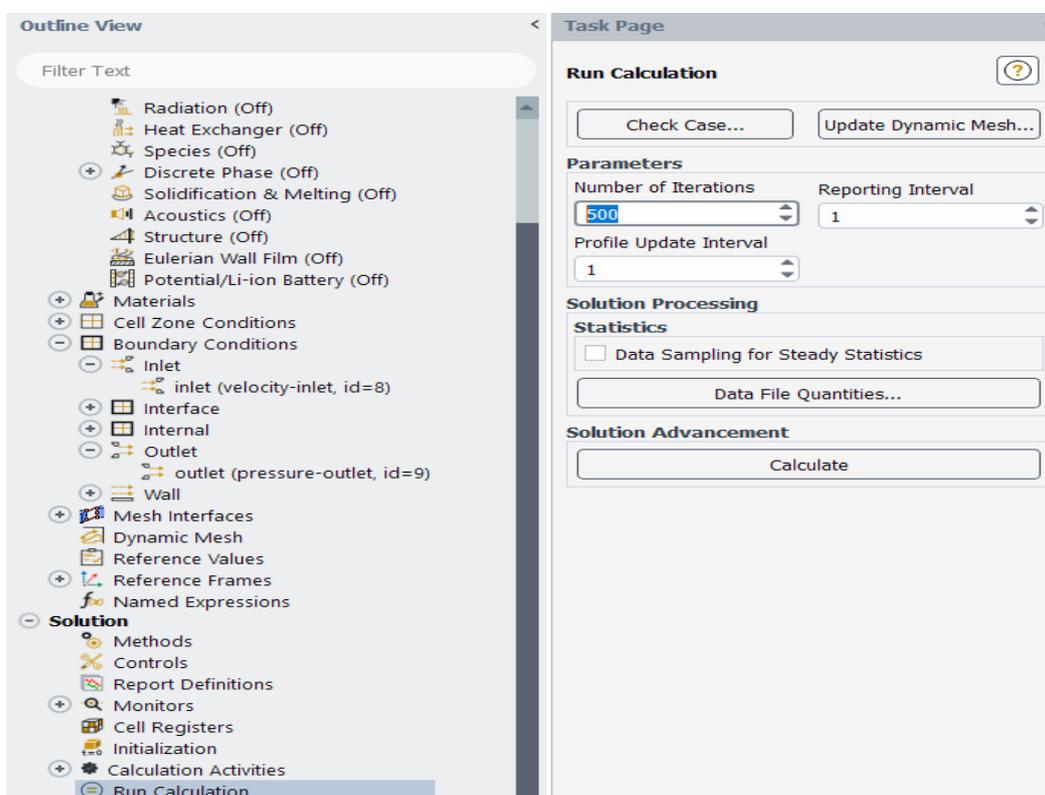


Рис. 4.25. Окно «Run calculation»

23. Запустите расчет (рис. 4.26).

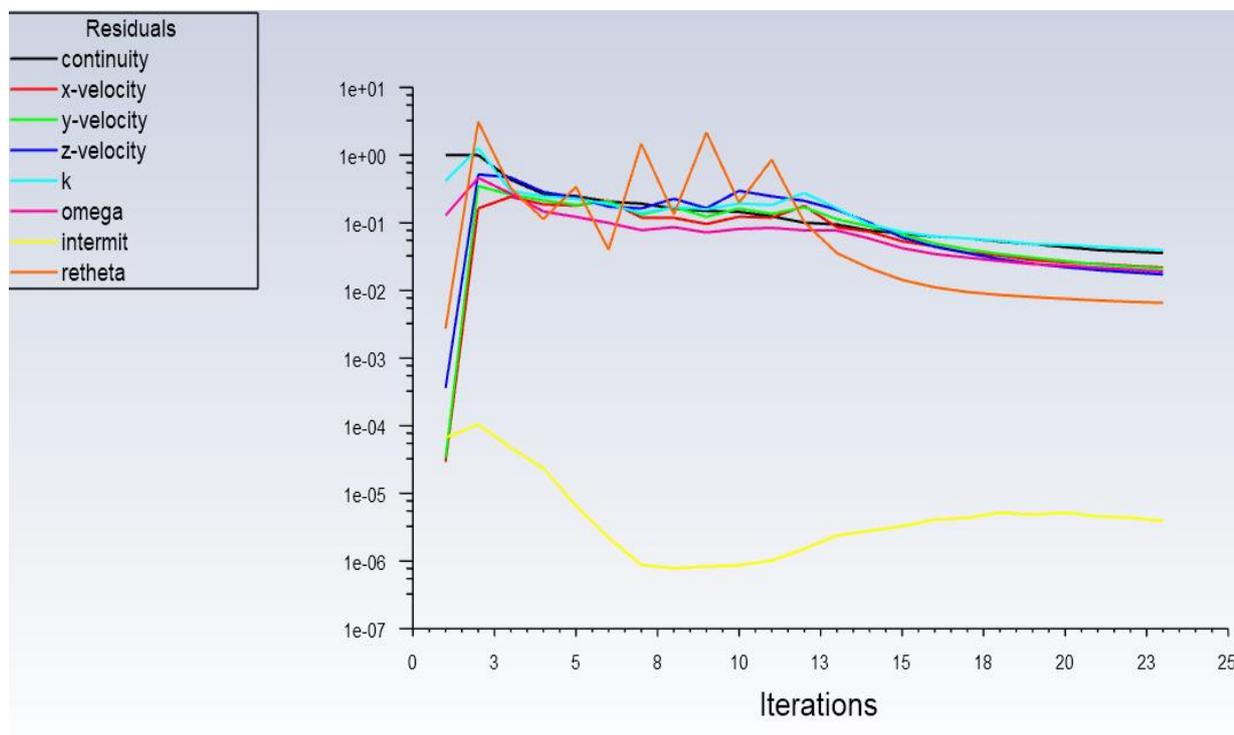


Рис. 4.26. Проведение расчета

24. После завершения расчета определите скорость на выходе и давление на входе. Для этого перейдите в «Results» и выберите «Surface Integrals» (рис. 4.27).

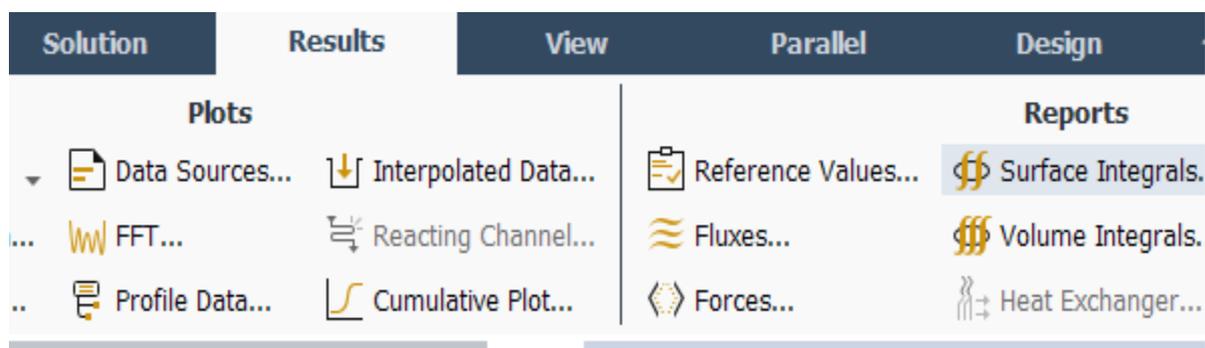


Рис. 4.27. Вкладка «Surface Integrals»

Рассчитанная скорость на выходе составляет около 7,7 м/с (рис. 4.28).

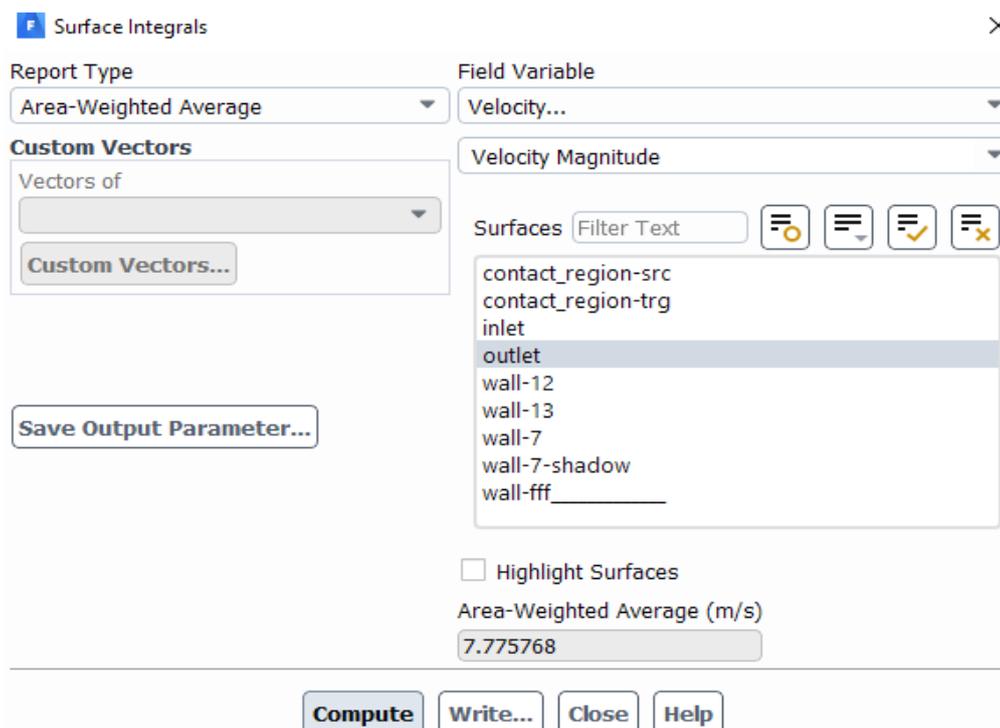


Рис. 4.28. Определение скорости

Рассчитанное давление на входе устройство примерно составляет 102053 Па (рис. 4.29).

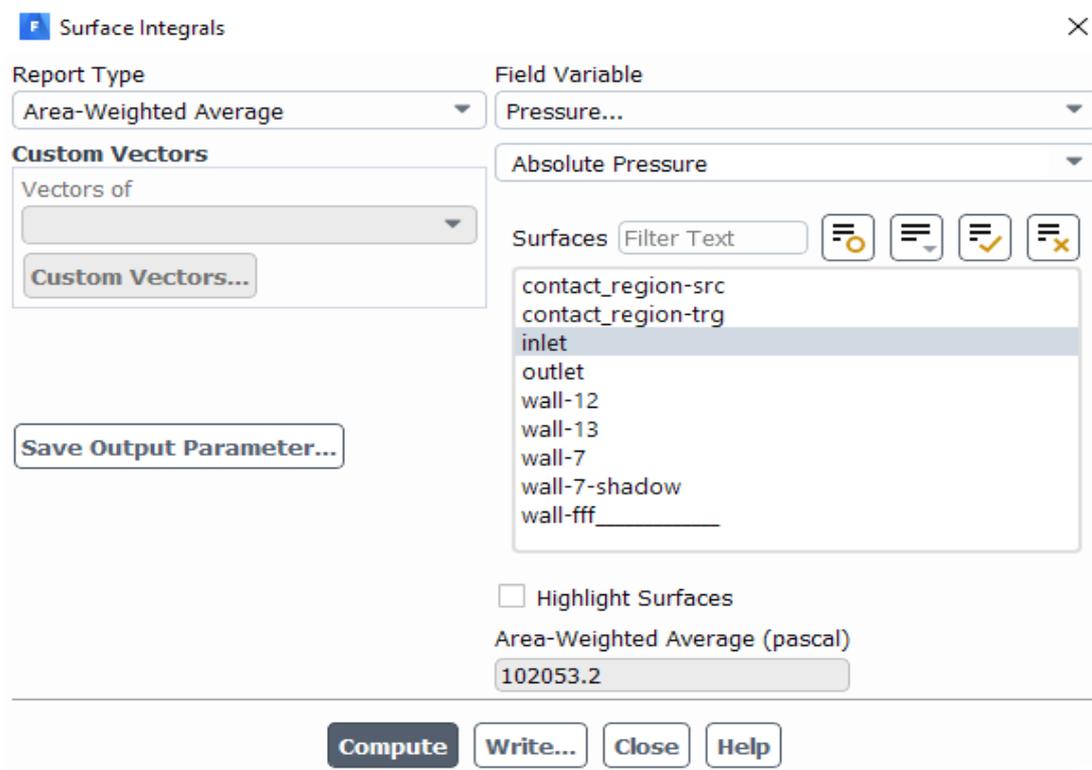


Рис. 4.29. Определение давления на входе в устройство

Таким образом, при различных задаваемых скоростях можно построить график зависимости перепада давления от входной скорости. Например, как на рис. 4.30.

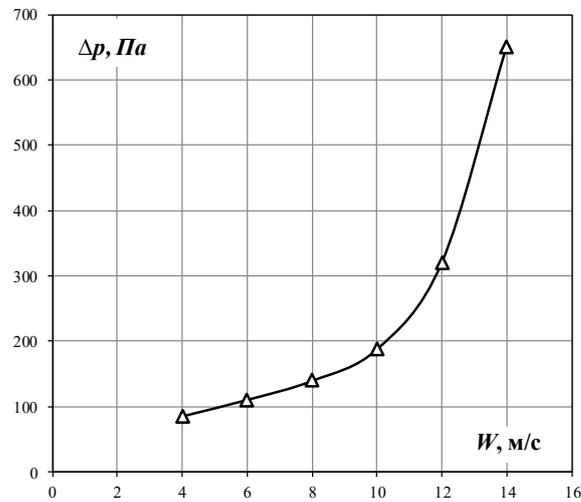


Рис. 4.30. Пример построения рассчитанных параметров

Следует отметить, что потери давления рассчитываются как разности между давлением на входном патрубке и на выходном патрубке.

25. Создайте несколько плоскостей (рис. 4.31).

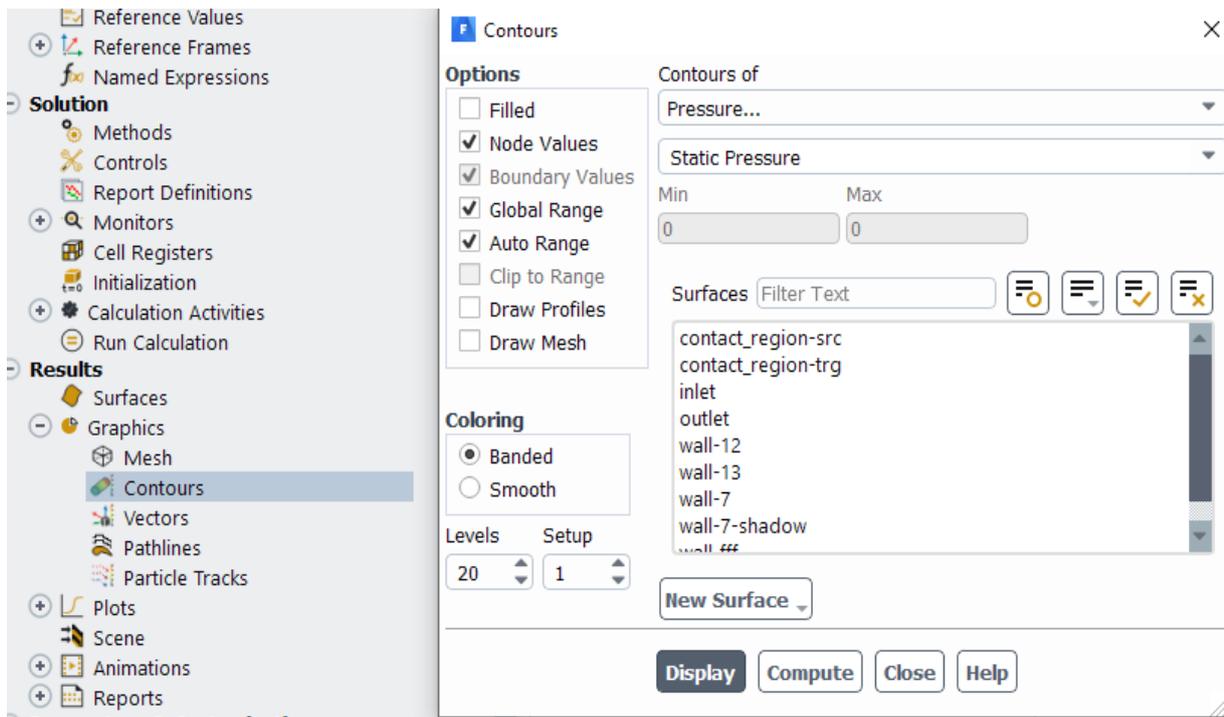


Рис. 4.31. Создание плоскости

26. Выберите «Plane» (рис. 4.32).

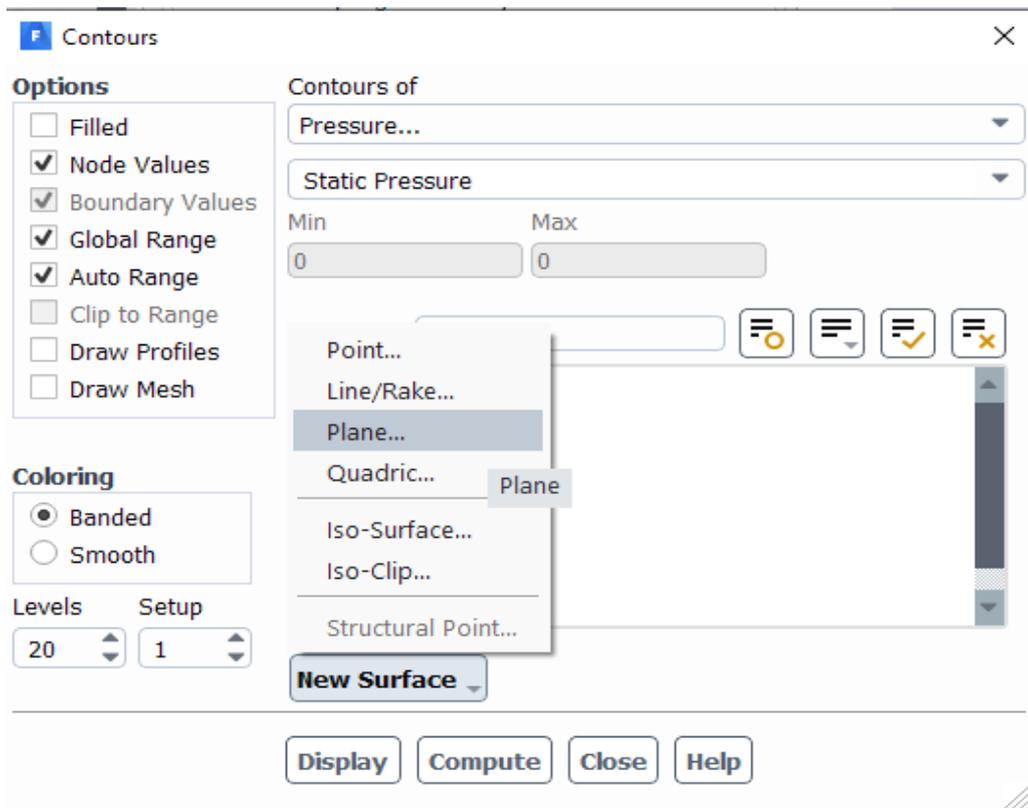


Рис. 4.32. Создание «Plane»

27. Параллельно настройте вид отображаемой модели (рис. 4.33).

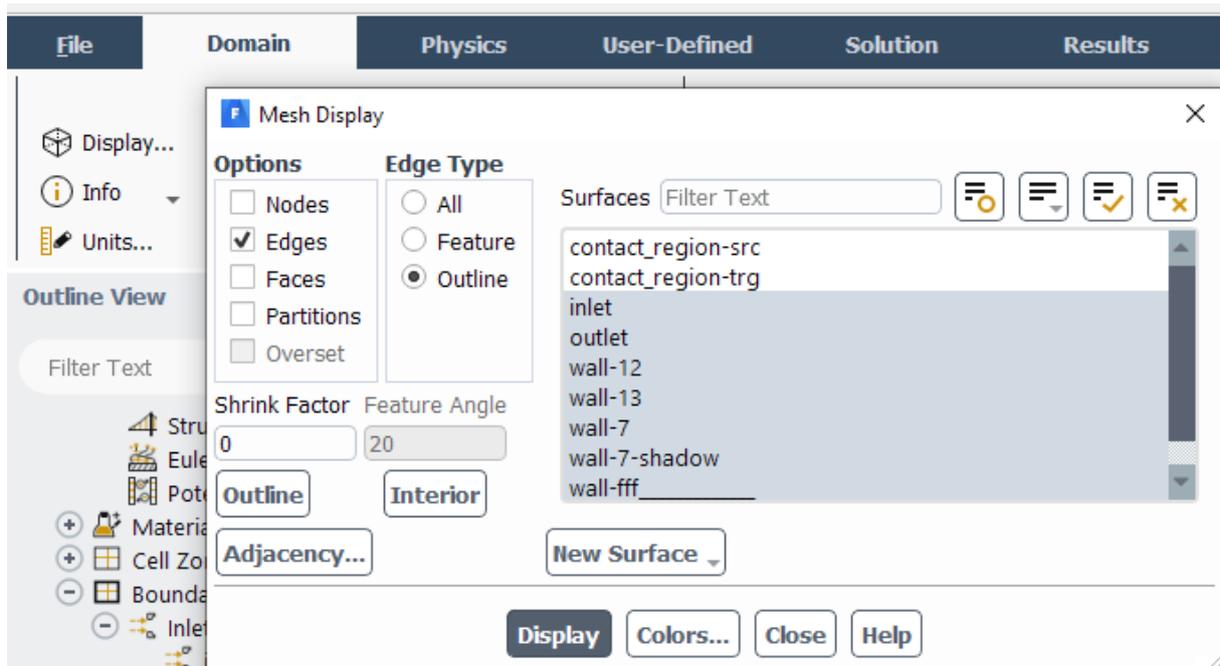


Рис. 4.33. Настройка отображения

28. Создайте «Plane-1» (рис. 4.34).

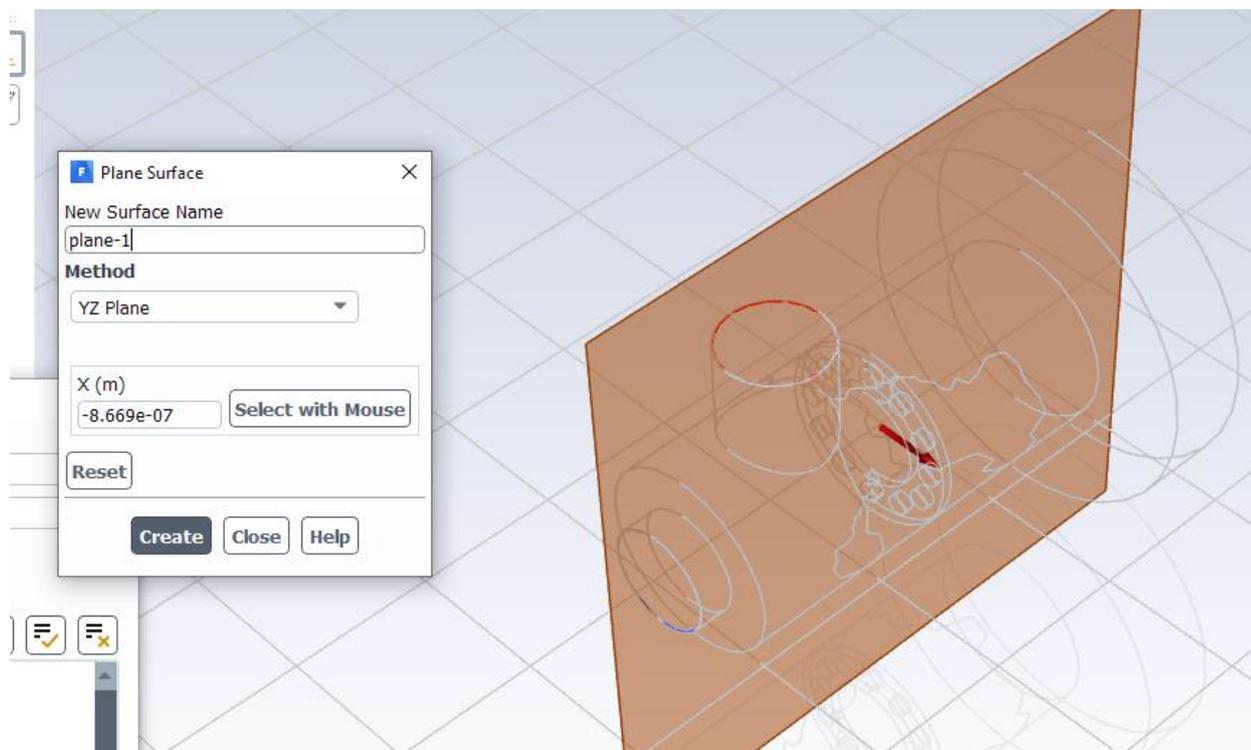


Рис. 4.34. Создание первой плоскости

29. Создайте «Plane-2» (рис. 4.35).

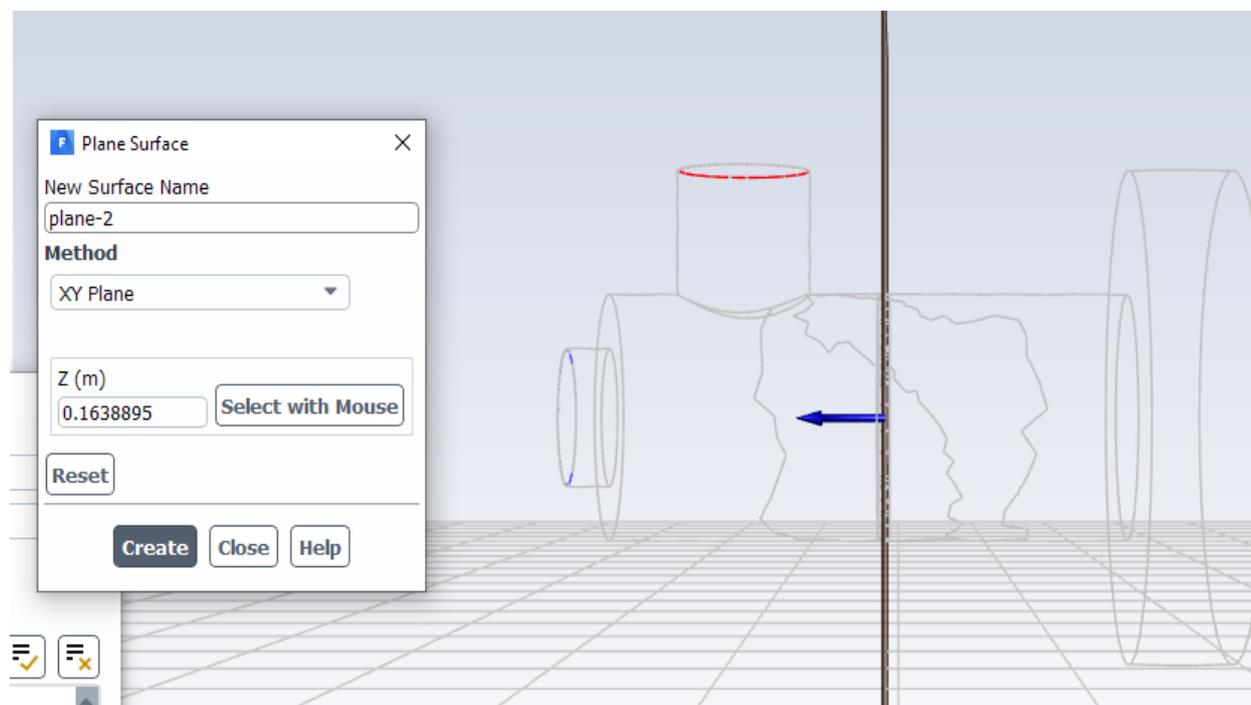


Рис. 4.35. Создание второй плоскости

30. Создайте «Plane-3» (рис. 4.36).

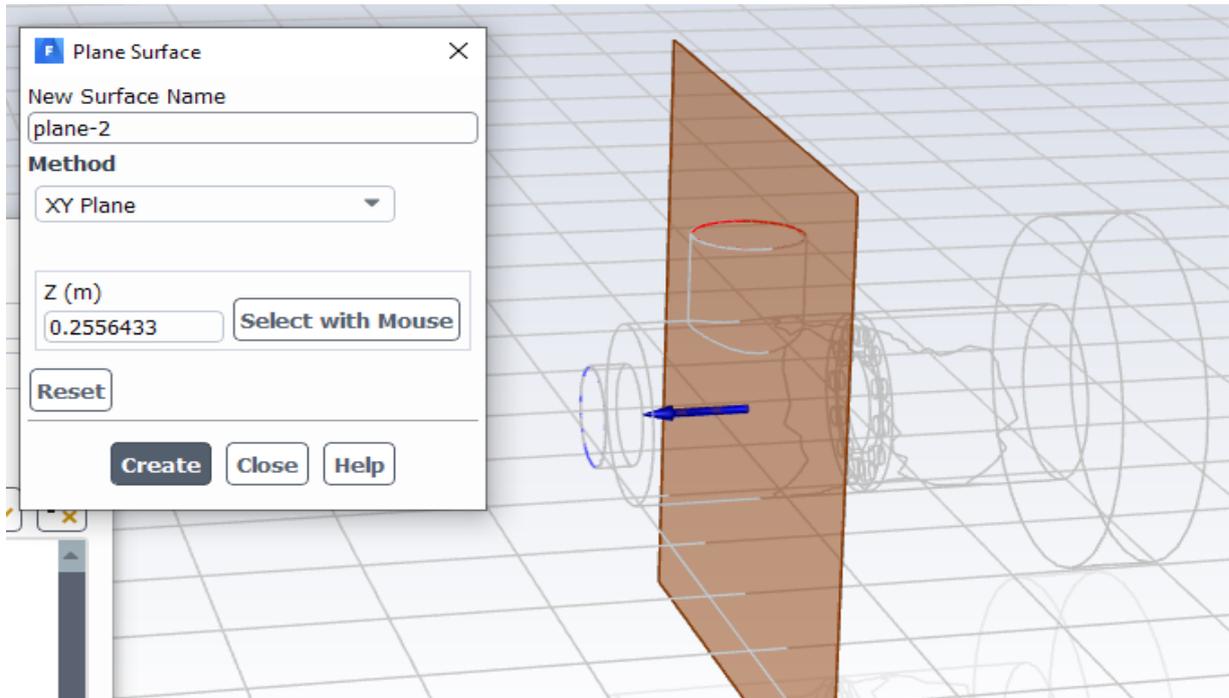


Рис. 4.36. Создание третьей плоскости

31. Отобразите распределение скорости на трех созданных плоскостях (рис. 4.37).

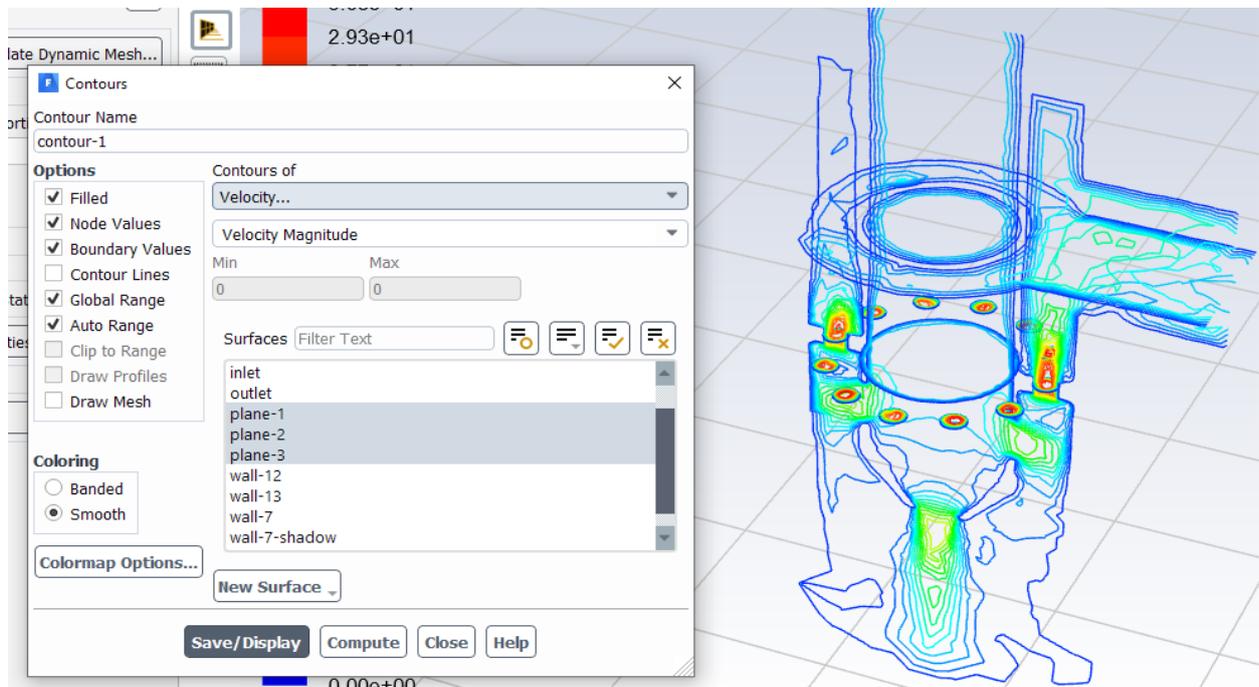


Рис. 4.37. Распределение скорости

Аналогичным образом можно построить распределение поля давлений, плотностей и других параметров.

Требования к отчету о проделанной работе

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать:

- краткое описание теоретической части;
- трехмерную модель детали;
- визуализацию движения газовой среды;
- вывод по результатам проведенной работы.

Контрольные вопросы

1. Опишите общие характеристики модели турбулентности Спаларта-Алмараса.

2. Какие двухпараметрические модели турбулентности известны в ANSYS Fluent? Опишите характеристики этих моделей.

3. В каких случаях используется модель турбулентности Рейнольдсовых напряжений?

4. Поясните идею применения LES и DES методов в моделировании потоков.

5. Опишите общие сведения о моделях турбулентности Scale-Adaptive Simulation и URANS.

6. Расскажите общие представления модели турбулентности Transition SST.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ANSYS FLUENT. – Текст : электронный // Инженерная компания «Технополис» : сайт. – 2021. – URL: <https://www.tpolis.com/ansys/liquieds.php>. – (дата обращения: 6.01.2021).
2. Altun, O. Selection and mathematical modeling of high efficiency air classifiers / O. Altun, H. Benzer // Powder Technology. – 2014.– Vol. 264. – P. 1–8.
3. Lanzerstorfer, C. Application of air classification for improved recycling of sinter plant dust / C. Lanzerstorfer // Resources, Conservation and Recycling. – 2015. – Vol. 94. – P. 66–71.
4. CFS 5 and CFS 8 Fine Classifiers. – Текст : электронный // Netzsch proven excellence .
...: сайт. – 2021. – URL: <https://www.netzsch-grinding.com/en/products-solutions/classifying/cfs-5-cfs-8-fine-classifier>. – (дата обращения: 9.01.2021).
5. Yurovskaya, M. A. Improving the operating efficiency of a dust collector-classifier / M. A. Yurovskaya, A. E. Lebedev, V. K. Leontev // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Vol. 55. – No. 3–4. – P. 324–328.
6. Луканина, В. Н. Теплотехника / В. Н. Луканина // – Москва : «Высшая школа», 2002. – 671 с.
7. A correlation-based transition model using local variables: Part I–model formulation / F. R. Menter, R. B. Langtry, S. R. Likki [et al.] // Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air. – 2004. – Vol. 41693. – P. 57–67.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ	4
Лабораторная работа № 1. Построение трехмерной геометрии в SpaceClaim ...	5
Лабораторная работа № 2. Создание трехмерной модели классификатора	31
Лабораторная работа № 3. Создание трехмерной модели теплообменника	56
Лабораторная работа № 4. Проведение численного моделирования движения газовой среды в классификаторе	74
Библиографический список	98

Учебное издание

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

Практикум

Составители: **Зинуров** Вадим Эдуардович,
Дмитриев Андрей Владимирович,
Бадретдинова Гузель Рамилевна

Кафедра теоретических основ теплотехники КГЭУ

Редактор *С. Н. Чемоданова*
Компьютерная верстка *Т. И. Лунченковой*

Подписано в печать 16.12.2121. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 5,52. Уч.-изд. л. 1,42. Заказ № 376/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51