

**МОДЕЛИРОВАНИЕ  
КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

---

—

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день при разработке технологических систем и процессов все чаще используется методика инновационного проектирования. Это связано в первую очередь с тем, что идет рост функциональности CAD/CAE-инструментов, а также с их доступностью. Данные средства реализуют анализ изделия не через чертеж, а с помощью параметрической трехмерной модели, работу которой симулируют с помощью CAE-пакета. По результатам проведенного анализа проводится оптимизация конструкции путем корректировки исходной CAD-модели. Поэтому при отработке виртуальной модели первый же созданный рабочий образец будет работоспособен и надежен.

Практикум должен помочь студентам приобрести навыки моделирования и анализа объектов с контролируемой микроструктурой композитных конструкционных материалов с применением CAE- и CAD-пакетов таких программ, как SolidWorks и Ansys, при выполнении самостоятельной работы, в курсовом и дипломном проектировании.

Первая часть учебного пособия содержит основы компьютерного моделирования объектов с контролируемой микроструктурой композитных конструкционных материалов с применением таких модулей, как Solidworks, ANSYS Workbench, ANSYS Material Designer и ANSYS Composite PrepPost.

Закрепление навыков моделирования объектов с контролируемой микроструктурой композитных конструкционных материалов у студентов формируется при выполнении следующих лабораторных работ:

1. Поверхностное моделирование цилиндрической оболочки.
2. Поверхностное моделирование оболочки сложной формы.
3. Визуализационное моделирование наноструктур.
4. Подготовка сеточной модели оболочки сложной формы.
5. Создание многослойной оболочки из композитных материалов.

## 1. ПРОВЕДЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА В ANSYS

*ANSYS* – универсальная программная система конечно-элементного (КЭ) анализа, является довольно популярной у специалистов в области компьютерного инжиниринга (CAE, Computer-Aided Engineering) и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

Начиная с 10-й версии, в комплект программных продуктов ANSYS добавлена программная среда *Workbench* – универсальный инструмент для структурирования и контроля решения задач. В ее состав входит несколько удобных и простых в освоении инструментов для создания геометрии любой сложности, а также сетки конечных элементов, ориентированной на конкретный тип анализа. *Workbench* без труда позволяет создать геометрию объекта (в том числе с помощью параметрических функций), сетку КЭ и связать, например, тепловой и структурный анализ в рамках одного проекта с возможностью последующего редактирования параметров на любой стадии. Кроме того, эта программная среда дает возможность экономить время путем исключения ручной передачи файлов и перерасчета.

*ANSYS Workbench* предоставляет мощные методы для взаимодействия с семейством решателей ANSYS. Эта среда обеспечивает уникальную интеграцию с САД-системами в процессе проектирования.

Рабочее окно *Workbench* представлено на рис. 1.

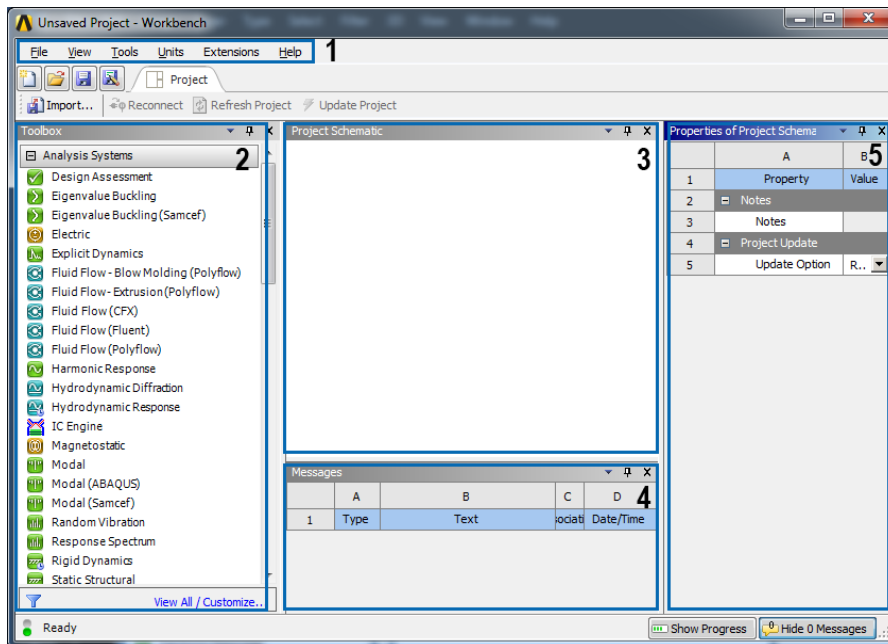


Рис. 1. Рабочее окно Workbench:

1 – главное меню; 2 – панель инструментов проекта; 3 – основное окно проекта;  
4 – окно сообщений; 5 – окно свойств выбранного объекта

Схема проекта содержит необходимые этапы выполнения анализа (рис. 2). Проект может содержать несколько таких блоков для различных типов инженерных расчетов, между которыми могут устанавливаться связи (рис. 3).

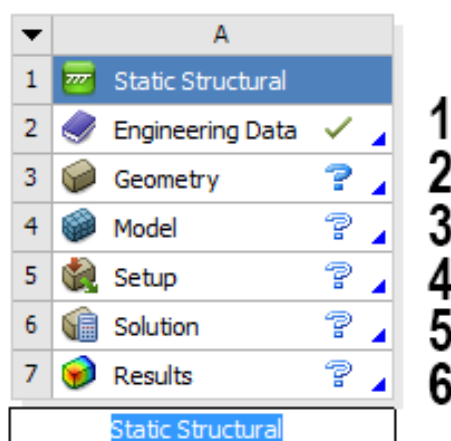


Рис. 2. Блок проекта:

1 – задание свойств материалов; 2 – создание геометрической модели;  
3 – генерация сетки; 4 – задание параметров симуляции; 5 – решение задачи;  
6 – предоставление результатов анализа

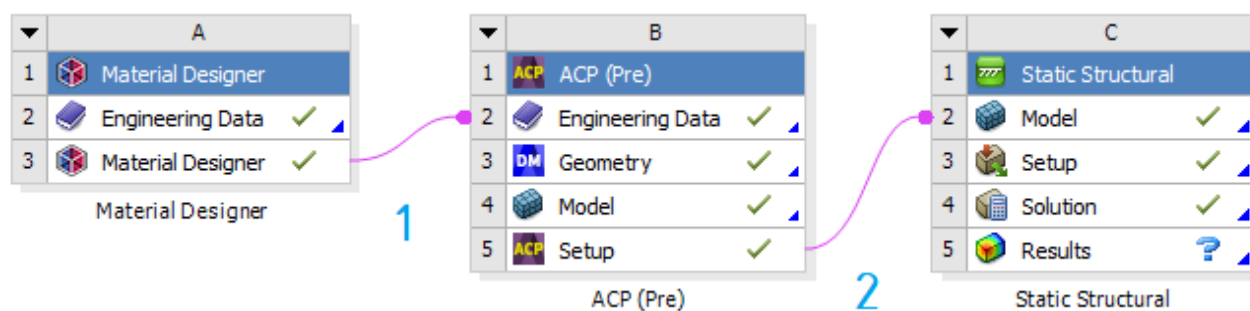


Рис. 3. Настройка связей:

1 – добавление композитного материала; 2 – добавление подготовленной сеточной модели в расчет

В среду **ANSYS Workbench** входит несколько различных приложений. Охарактеризуем некоторые из них.

**Material Designer** – приложение для создания композитных материалов.

**ANSYS Composite PrepPost (ACP)** – приложение, которое позволяет просто и удобно моделировать сложные структуры изделий из композитных материалов. Данный инструмент ускоряет процесс расчётов, при этом выдерживается высокая точность получаемых результатов.

**Mechanical** – приложение для выполнения структурного и теплового анализа с использованием решателя ANSYS. Наложение сетки на область расчета также включено в Mechanical.

**Fluid Flow (CFX)** – приложение для выполнения анализа с использованием CFD CFX.

**Fluid Flow (FLUENT)** – приложение для выполнения анализа с использованием CFD FLUENT.

**DesignModeler** (геометрия) – приложение для создания и редактирования CAD-геометрии и подготовки твердотельной модели для использования в дальнейших расчетах.

**Engineering Data** – приложение для определения свойств материала.

**Meshing Application** – приложение для генерации области расчета CFD и генерирования сетки.

**Design Exploration** – приложение для проведения проектных исследований и оптимизации анализов.

**Finite Element Modeler** (FE Modeler) – приложение для адаптации сетки, полученной в NASTRAN и ABAQUS, при использовании в ANSYS.

Пакет **ANSYS Material Designer** является ключевым инструментом при изучении композитных материалов. Интерфейс **Material Designer** представлен на рис. 4.

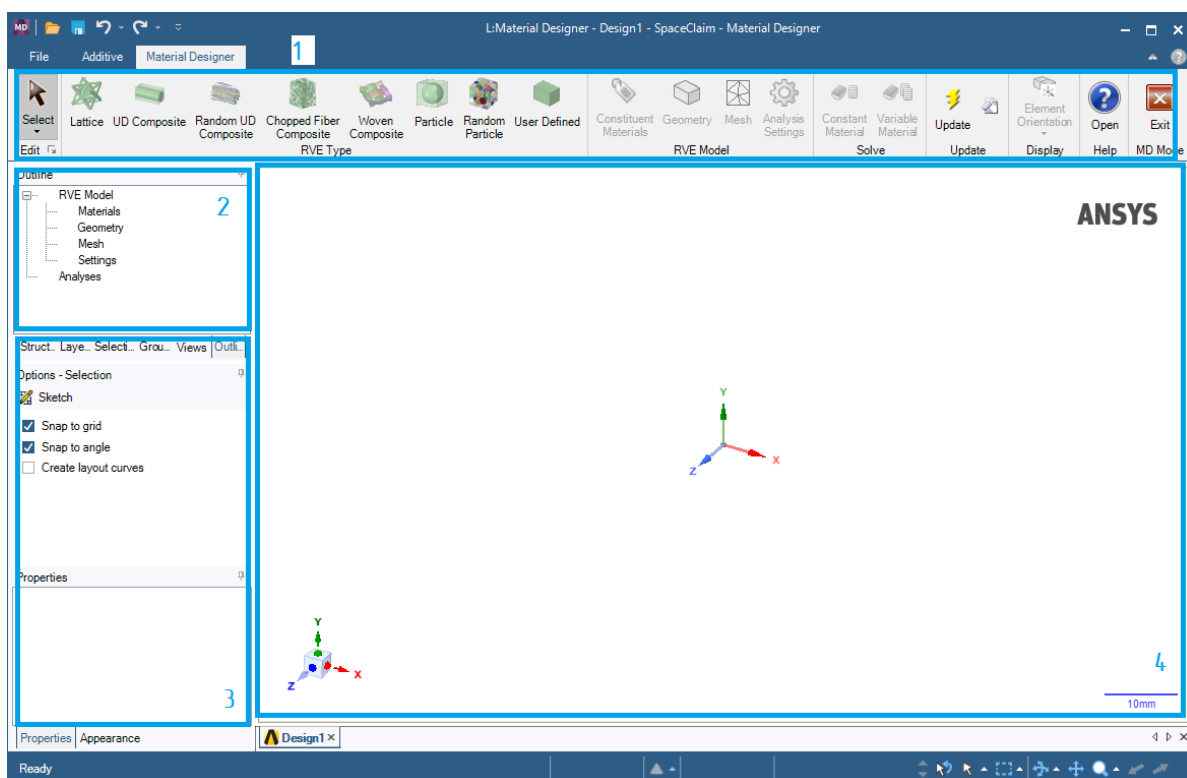


Рис. 4. Окно Material Designer:

1 – панель инструментов; 2 – дерево проекта;

3 – настройки элементов проекта; 4 – окно просмотра модели

В **Material Designer** могут быть созданы следующие типы объемных элементов модифицированных микроструктур:



– пространственно-структурная конструкция;



– композиты, армированные регулярными однонаправленными волокнами;



– композиты, армированные нерегулярными однонаправленными волокнами;



– коротковолокнистый композит;



– плетеный композит;



– сферические частицы;



– дисперсно-упрочненный композит;



– пользовательская ячейка.

Интерфейс *ANSYS Composite PrepPost (ACP)* представлен на рис. 5.

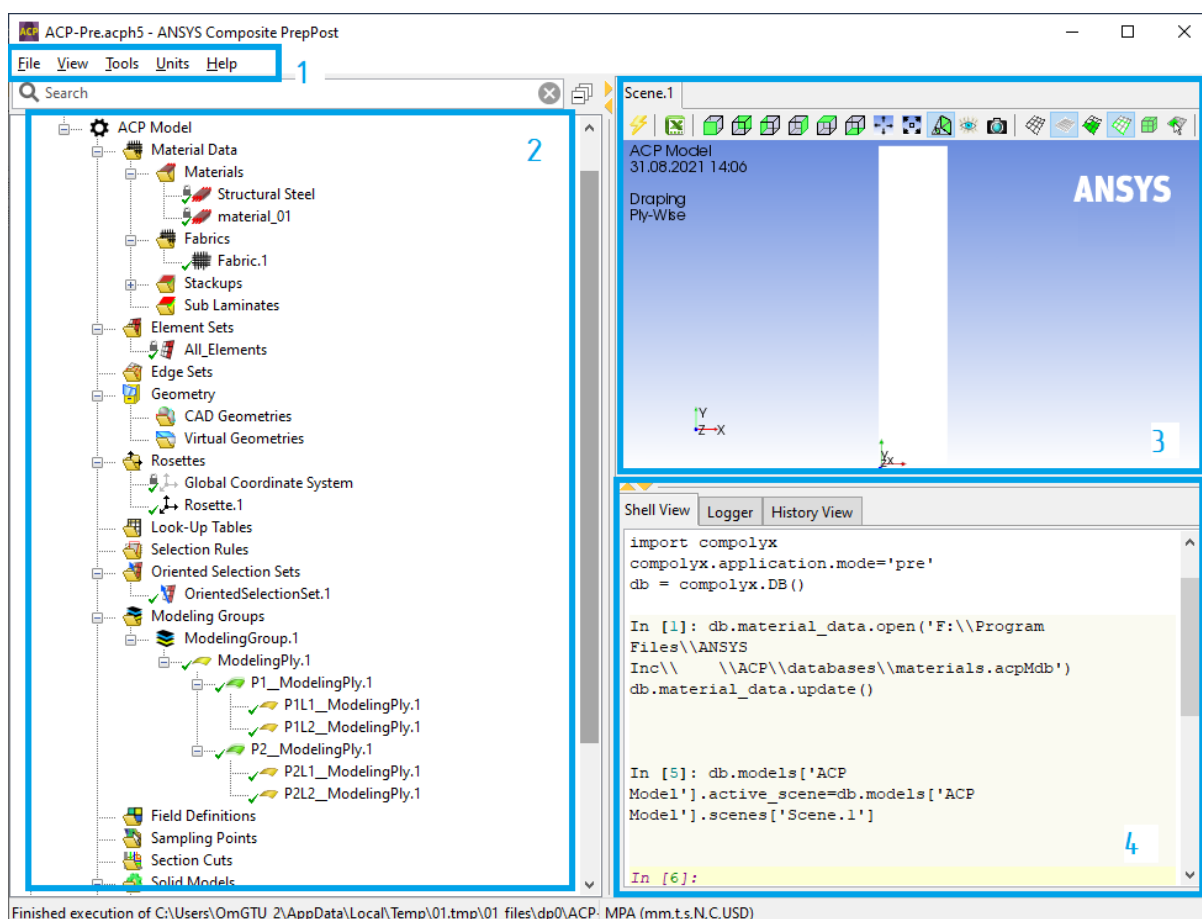


Рис. 5. Окно ACP:

1 – главное меню; 2 – дерево проекта;

3 – настройки элементов проекта; 4 – окно просмотра модели

Пакет *ANSYS Mechanical* позволяет решить практически любую задачу механики деформируемого твердого тела или получить сопряженное решение задачи механики с решением задач других областей физики, например гидрогазодинамики, теплопереноса или электромагнетизма. Данный пакет предлагает возможность создания единой фундаментальной матрицы взаимодействия полей с поддержкой акустического, пьезоэлектрического, термопрочностного и термоэлектрического типов анализа. При наличии продукта ANSYS CFD или ANSYS Emag также можно провести анализ взаимодействия конструкции с различными текучими средами или электромагнитными полями соответственно. Подобные расчеты помогут будущему инженеру лучше оценить реакцию их моделей на всевозможные комбинации явлений.

ANSYS Mechanical способен решать следующие типы задач:

- прочностной анализ – статический;
- линейная и нелинейная устойчивость;
- контактные задачи;
- тепловой анализ и т. д.

Данный пакет включает полный набор линейных и нелинейных элементов, удобную для использования и редактирования базу материалов от конструкционной стали до резины, а также широкий набор методов решения (решателей). Это позволяет легко решать самые сложные и комплексные задачи, даже если они включают нелинейный контакт.

Рабочее окно *Mechanical* представлено на рис. 6.

**Панель инструментов** имеет широкую функциональность и предназначена для настройки отображения проекта и проведения его анализа.

**Дерево проекта** отображает разделы проекта, используемые для проведения анализа.

**Настройки элементов проектов** меняются в зависимости от выбранного раздела дерева проекта и предназначены для контроля параметров проекта.



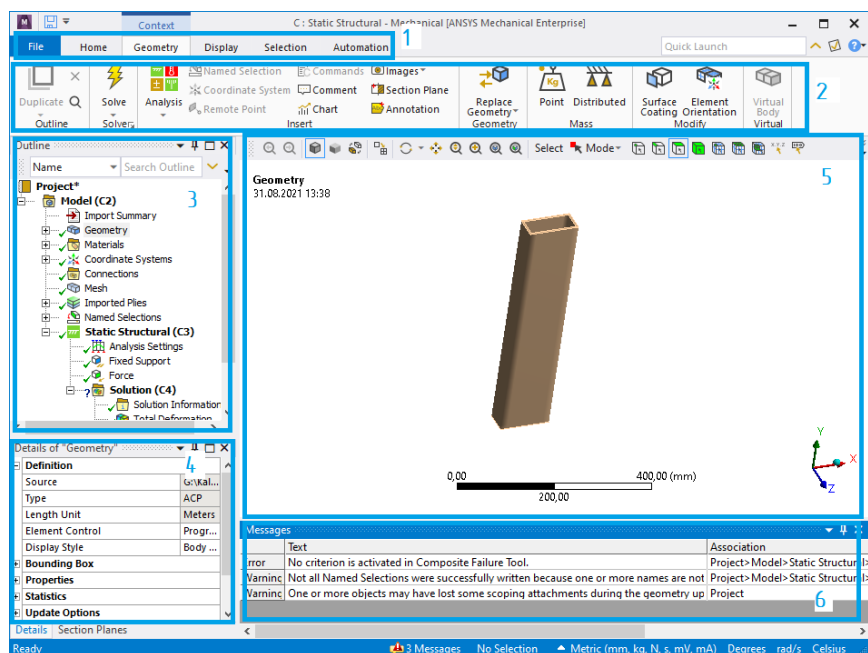


Рис. 6. Окно Mechanical:

1 – главное меню; 2 – панель инструментов; 3 – дерево проекта; 4 – настройки элементов проекта; 5 – окно просмотра модели; 6 – сообщения системы

**Сообщения системы** отображают сообщения об ошибках системы и дают рекомендации для их устранения.

## 2. ПОДГОТОВКА РАСЧЕТНОЙ ГЕОМЕТРИИ В SOLIDWORKS

**SolidWorks** – это система автоматизированного проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любой сложности и назначения. SolidWorks является ядром интегрированного комплекса автоматизации предприятия, с помощью которого осуществляется поддержка жизненного цикла изделия в соответствии с концепцией CALS-технологий, включая двунаправленный обмен данными с другими Windows-приложениями и создание интерактивной документации.

Конструкторский модуль **SolidWorks** является базовым средством проектирования тонколистовых деталей и оснастки, предоставляя пользователям широкий инструментарий для твердотельного и поверхностного моделирования.

Программа поддерживает различные чертежные стандарты: ANSI, GOST, ISO, JIS, DIN, GB и BSI.

Приложение распознает следующие форматы:

– нейтральные форматы: IGES, XMT\_TXT, SAT, STL, STEP, X\_B, STP, VDA, WRL, X\_T, XMT\_BIN;

– прямые трансляторы: DXF, DWG, NX.

Методика построения твердотельных моделей для различных CAD-программ остается практически одинаковой. Среди широко распространенных программ отличия имеет лишь *AutoCAD*. Если же сравнивать *SolidWorks*, например, с *Компас-3D*, то различий в методике построения и наборе используемых инструментов практически нет.

В *SolidWorks* возможно создание твердотельных моделей (деталей), которые хранятся в файлах с расширением «.sldprt», и моделей сборок (сборочных единиц), которые хранятся в файлах с расширением «.sldasm». Данные модели могут быть вставлены в чертёж и сохранены в формате \*.slddrw.

Рабочее окно *SolidWorks* представлено на рис. 7.

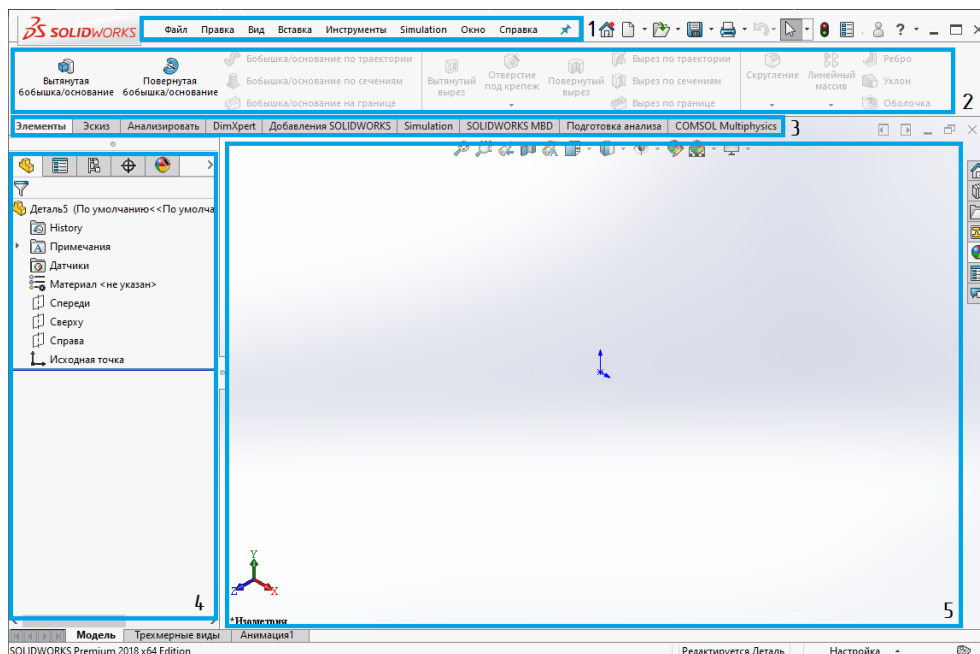



Рис. 7. Рабочее окно SolidWorks:


1 – главное меню; 2 – панель инструментов; 3 – инструменты;


4 – дерево проекта; 5 – окно просмотра модели


**Деталью в SolidWorks** называется отдельный трехмерный объект, состоящий из элементов. Деталь может являться компонентом сборки, а также может быть представлена видами на плоском чертеже.


Начальным этапом создания любой детали в **SolidWorks** является создание **Эскиза**. Для его построения при выполнении лабораторной работы студенту понадобятся следующие инструменты:

**Прямоугольник по углам**  – эта операция позволяет выполнить построение прямоугольника по двум точкам;

**Осевая линия**  – эта команда позволяет выполнить построение осевой линии;

**Окружность**  – эта команда позволяет выполнить построение окружности из центра;

**Круговой массив эскиза**  – эта команда позволяет выполнить построение массива по окружности;


**Отсечь объекты**  – эта команда позволяет выполнить обрезку лишних линий.

Для работы с композитными материалами в **ANSYS - ACP (Pre)** могут использоваться только детали, созданные при помощи поверхностного моделирования в среде **ANSYS** или других редакторах с расширением «.x\_t», «.igs» или «.stl».


**Поверхности** – панель инструментов **SolidWorks**, предназначенная для поверхностного моделирования, то есть создание объектов нулевой толщины.


Панель инструментов **Поверхности** содержит следующие инструменты:


**Вытянутая поверхность**  – эта команда позволяет выполнить прямолинейное вытягивание поверхности;

**Повернутая поверхность**  – эта команда позволяет создать цилиндрическую поверхность с помощью вращений;


**Поверхность по траектории**  – эта команда позволяет выполнить выдавливание поверхности по заданной траектории;


**Поверхность границы**  – эта команда позволяет создать поверхность между двумя направляющими;

**Плоская поверхность**  – эта команда позволяет создать плоскую поверхность при помощи эскиза или нескольких кромок;


**Вытянутая поверхность**  – эта команда позволяет вставить линейчатые поверхности из кромок;


**Удалить грань**  – эта команда позволяет удалять грани;


**Сшить поверхность**  – эта команда позволяет выполнить объединение двух и более смежных поверхностей (не пересекающихся);


**Скругление**  – эта команда позволяет выполнить скругление смежных поверхностей.


Для конструирования трехмерных деталей используются следующие инструменты, находящиеся в разделе *Элементы*:


**Вытянутая бобышка/основание**  – самый простой способ формирования твёрдого тела. Основан на вытягивании эскиза в одном или двух направлениях. Можно осуществлять вытягивание эскиза под углом, то есть формировать твердое тело в виде конуса. При вытягивании также можно создать тонкостенную деталь, указав это при выполнении команды и задав толщину стенки;


**Вытянутый вырез**  – эта команда используется для формирования вырезов и отверстий;


**Скругление/Фаска**  – эта команда позволяет скруглить или снять фаску любой выделенной кромки детали;

**Уклон**  – благодаря этой команде можно изменять углы между гранями уже построенной детали;

**Оболочка**  – эта команда позволяет из твердотельной детали сформировать полую деталь;

**Массивы**  – эти команды позволяют размножать ранее созданные элементы детали;

**Плоскость**  – эта команда позволяет создать дополнительную плоскость;

**Геликоид и спираль**  – эта команда позволяет создать спираль по заданному эскизу окружности.

# Лабораторная работа № 1

## ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

### Цель работы

Приобретение и закрепление студентами навыков поверхностного моделирования в *SolidWorks* на примере построения цилиндрической оболочки.

### Описание работы

Необходимо изучить чертеж цилиндрической оболочки (рис. 1) и, используя приведенные в таблице исходных данных размеры, построить его трехмерную модель в *SolidWorks*.

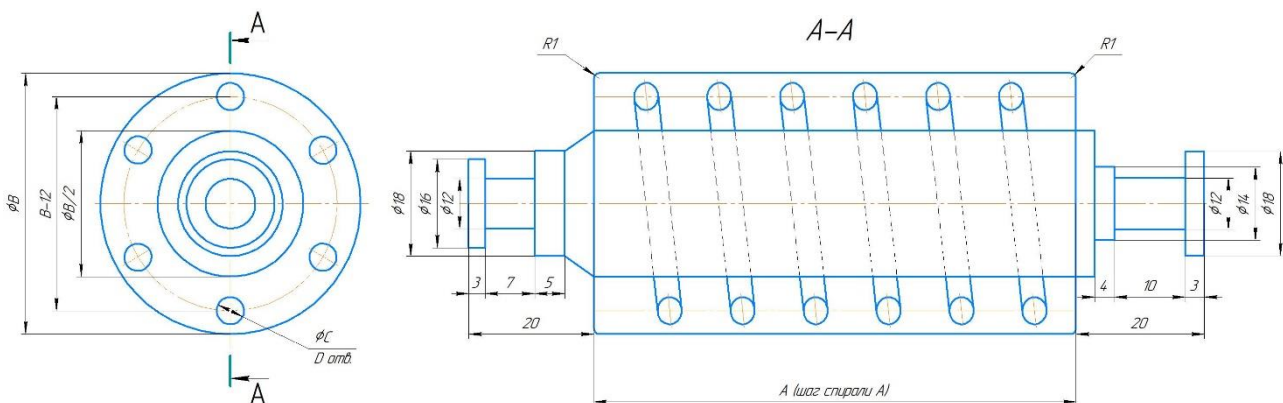


Рис. 1. Чертеж оболочки сложной формы

Таблица

### Исходные данные

Вариант	А, мм	В, мм	С, мм	Д, шт.
1	90	52	6	6
2	80	60	4	5
3	70	62	5	4
4	85	58	6	3

Вариант	А, мм	В, мм	С, мм	Д, шт.
5	95	54	4	2
6	100	60	5	7
7	65	68	5	8
8	75	70	6	6
9	90	56	6	5
10	80	52	4	4
11	75	60	4	3
12	100	64	5	2
13	90	52	6	7
14	80	60	6	8
15	70	62	4	6
16	85	58	5	5
17	95	54	6	4
18	100	60	4	3
19	65	68	5	2
20	75	70	5	7
21	90	56	6	8
22	80	52	6	6
23	75	60	4	5
24	100	64	4	4
25	65	70	5	3
26	75	56	6	2
27	90	52	4	7
28	80	60	5	8
29	75	64	6	5
30	80	62	4	6

## Порядок выполнения лабораторной работы

1. В стартовом окне *SolidWorks* на панели инструментов выбираем **Файл – Новый... – Деталь** и нажимаем **Ок**.
2. В открывшемся окне (рис. 2) в первую очередь необходимо будет построить оболочку сложной формы.

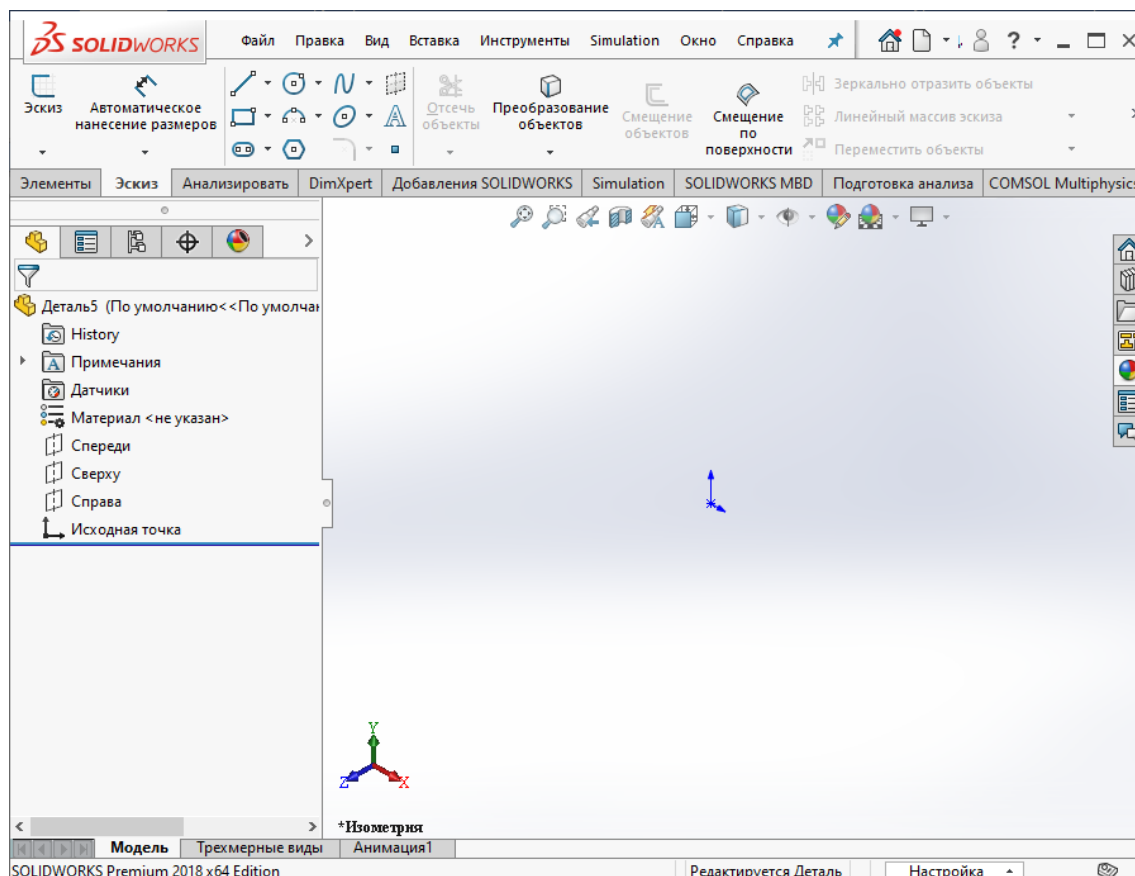


Рис. 2. Рабочее окно SolidWorks

3. Чтобы начать работать с поверхностями, необходимо перейти **Вид – Панель инструментов** и выбрать **Поверхности**. После этого появится панель с необходимыми инструментами. Панель можно расположить в любой удобной области рабочего окна.

4. Далее можно приступить к построению модели. В первую очередь необходимо создать эскиз, для этого нажимаем левой кнопкой мыши (ЛКМ) на вид **Спереди** (находящийся в дереве построения) и ориентируем его **Перпендикулярно** (рис. 3).



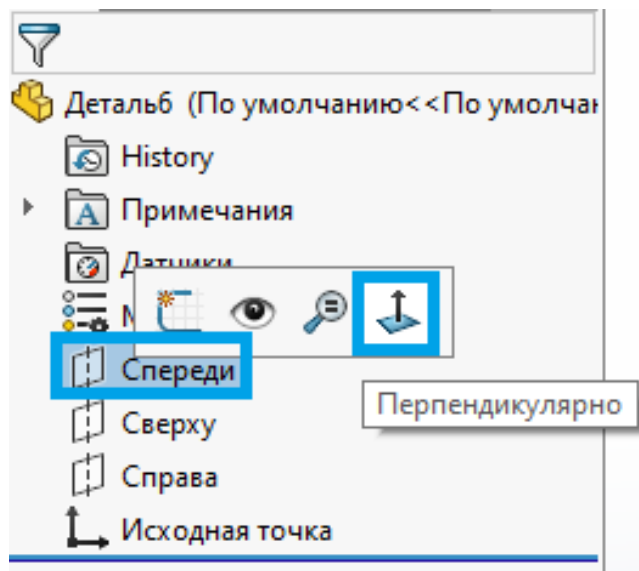




Рис. 3. Выбор поверхности для создания эскиза

5. Используя инструмент *Эскиз – Окружность* , строим произвольную окружность с центром в начале координат. С помощью *Автоматического нанесения размеров*  фиксируем размеры окружности, используя табличные размеры своего варианта ***B*** – 12 мм (рис. 4).

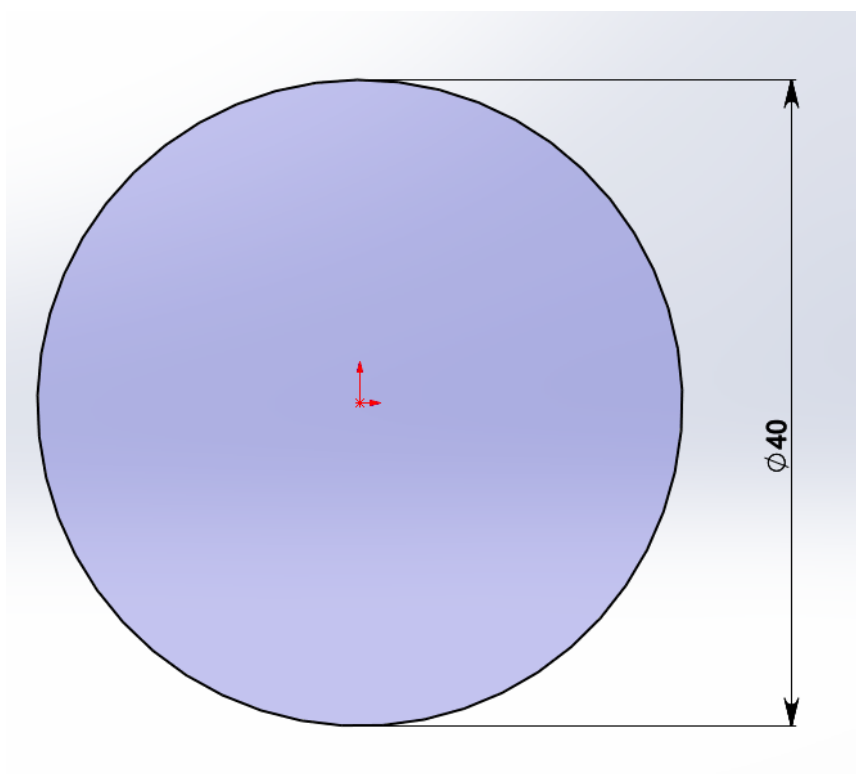





Рис. 4. Построение эскиза

После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели.

6. Нажимаем ЛКМ на полученный эскиз в дереве построения и используем инструмент *Элементы – Кривые – Геликоид и спираль* . В открывшемся окне (рис. 5) выбираем изменение *Высоты и шага* (1), значения которых задаем согласно варианту (2), и проверяем остальные настройки спирали (3). После чего нажимаем галочку в верхней части панели .

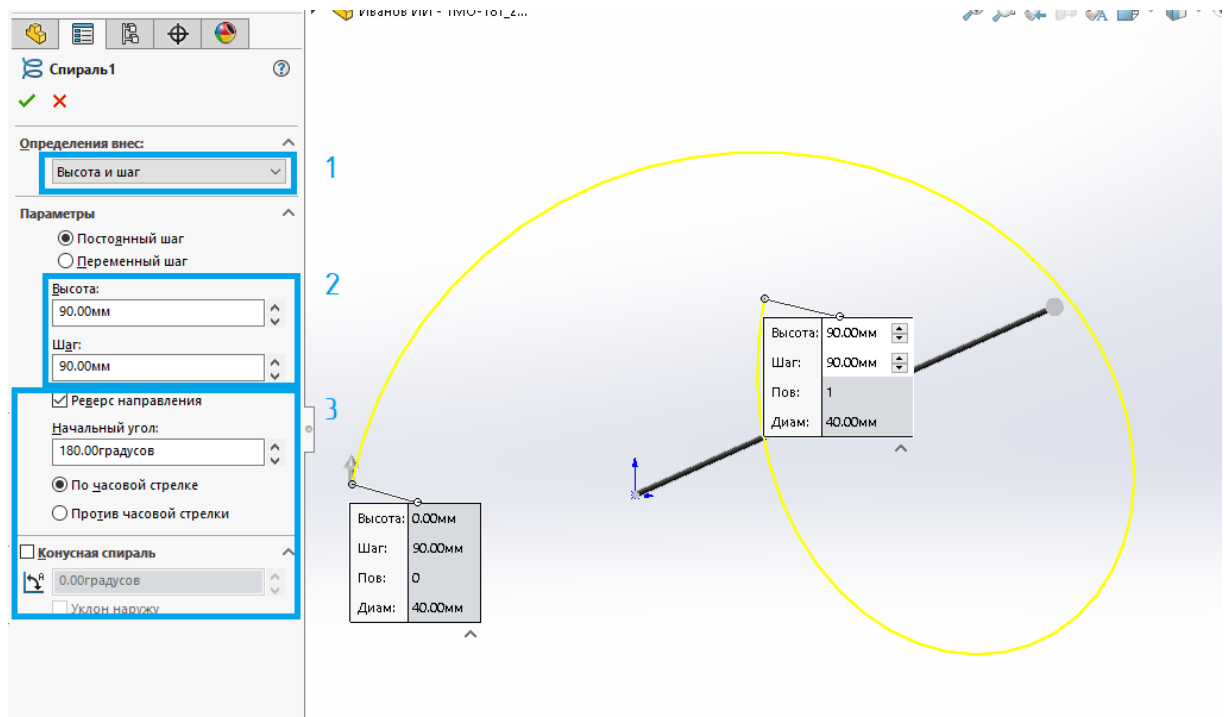





Рис. 5. Построение спирали

7. Выбираем вид *Спереди* и строим эскиз, как показано на рис. 6.

7.1. Строим окружность согласно выданной схеме (рис. 1) и своему варианту таблицы исходных данных  $B = 12$  мм. Меняем у нее тип линии на осевую, нажав на неё ЛКМ и выбрав на всплывающем окне *Вспомогательная геометрия* .

7.2. Используя табличные значения своего варианта, строим круговой массив  $D$  окружностей диаметром  $C$  мм с помощью инструмента *Эскиз – Круговой массив эскиза* .

После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели.

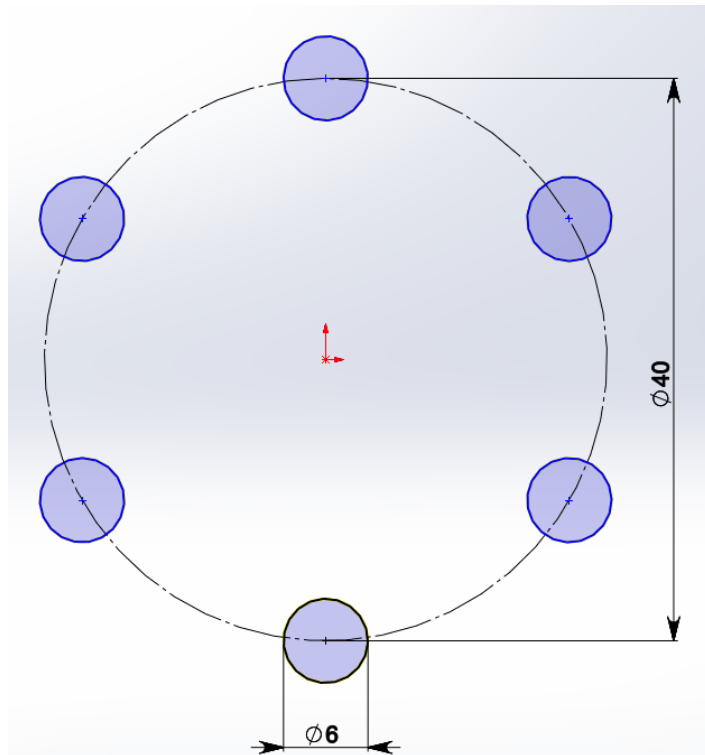




Рис. 6. Построение эскиза окружностей

8. Выбираем инструмент **Поверхность по траектории**  и выделяем эскиз выдавливаемой формы (1) и траекторию выдавливания (2), как показано на рис. 7. После чего нажимаем галочку в верхней части панели .

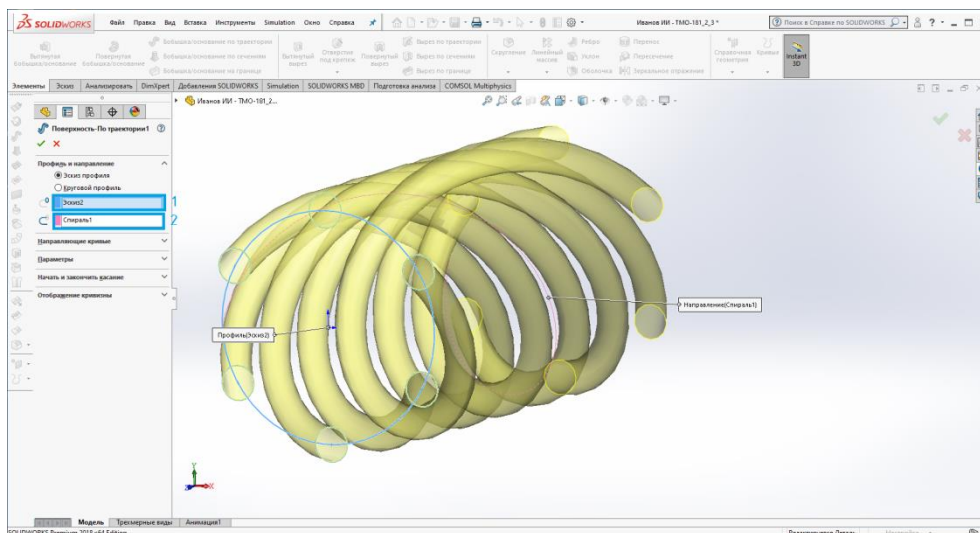



Рис. 7. Построение поверхности по траектории

9. Выбираем вид *Спереди* и, используя табличные значения своего варианта  $B$  и  $B/2$ , строим эскиз, как показано на рис. 8. После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели.

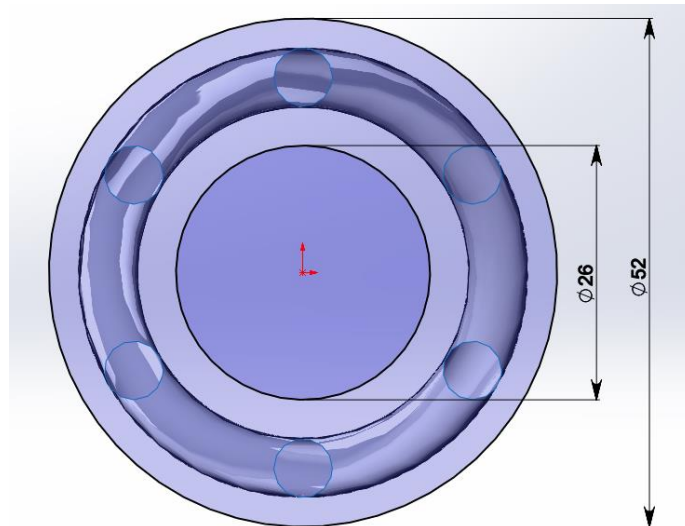




Рис. 8. Построение спирали

10. Создадим плоскую поверхность, используя имеющиеся кромки. Для этого нажимаем *Плоская поверхность* , выделяем необходимые кромки, как показано на рис. 9, и нажимаем галочку в верхней части панели .

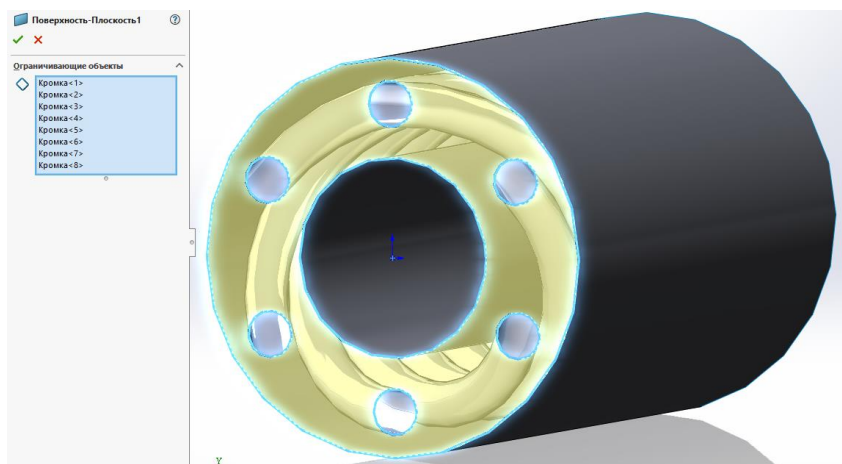



Рис. 9. Построение плоской поверхности

11. Повторяем пункт 10 с другой стороны оболочки.

12. Выбираем вид *Сверху* и строим эскиз, как показано на рис. 10.

*Примечание:* вместо 13 вводится значение  $B/4$ . После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели.

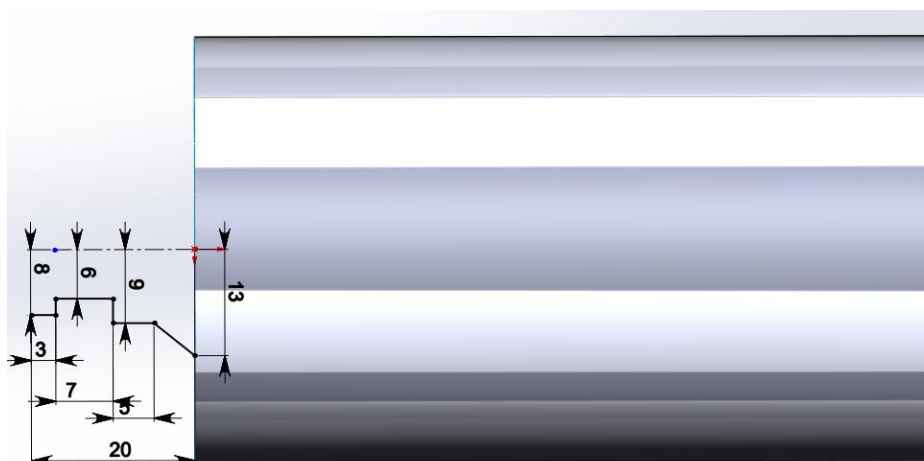




Рис. 10. Построение эскиза

13. Преобразуем эскизы в поверхности. Для этого используем инструмент *Повернутая поверхность* . Выделяем созданный эскиз и нажимаем галочку в верхней части панели  (рис. 11).

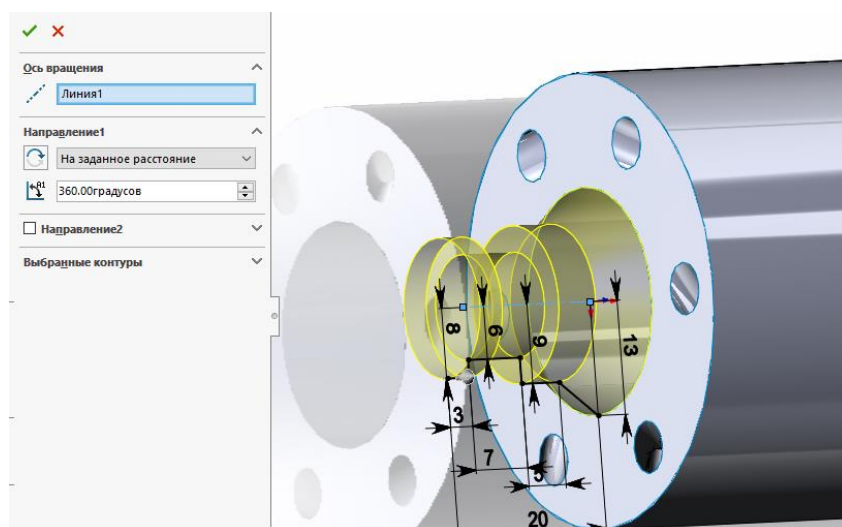



Рис. 11. Построение повернутой поверхности

14. Правый патрубок будет создан без использования эскиза. Для этого выбираем инструмент **Вытянутая поверхность** , тип выдавливания (1), задаем расстояние (2) и выбираем необходимую кромку (3), как показано на рис. 12.

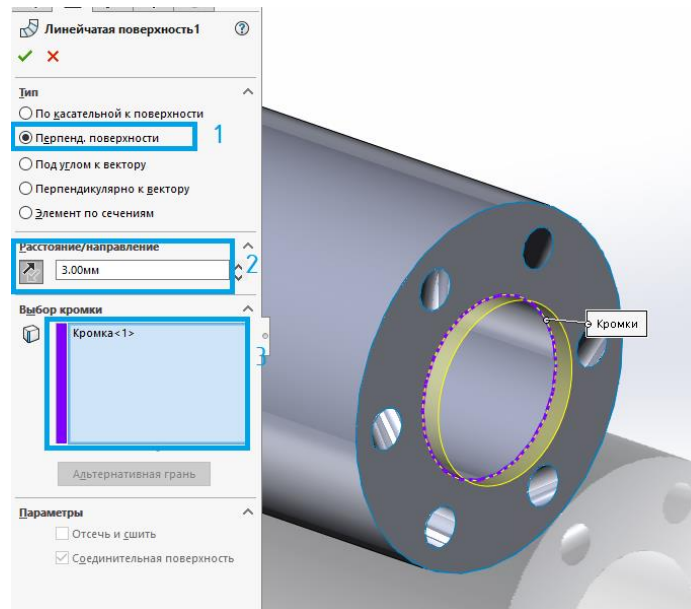


Рис. 12. Построение линейчатой поверхности

15. Пункт 14 повторяется еще несколько раз, пока не получится правый патрубок, соответствующий заданным размерам на рис. 1, как представлено на рис. 13.

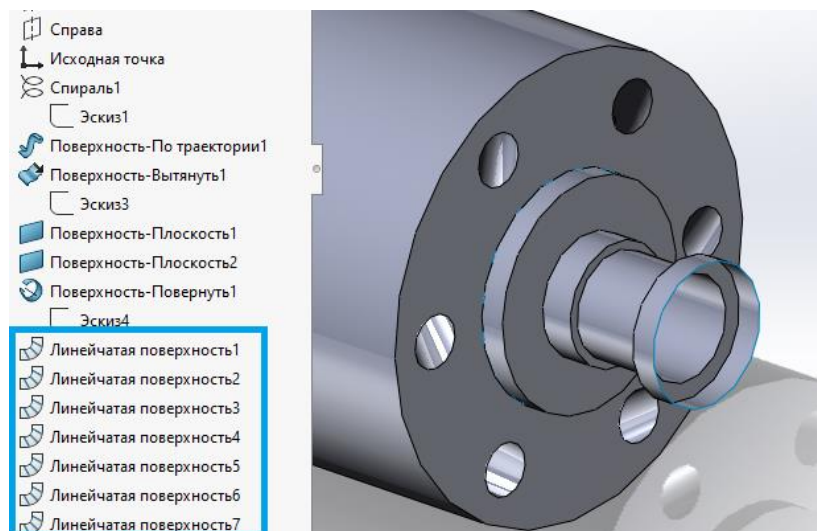




Рис. 13. Построение линейчатой поверхности

16. Создадим из множества поверхностей две: внешнюю и внутреннюю.

16.1. Для этого используем инструмент *Сшить поверхность* . Выделяем все внутренние поверхности, как показано на рис. 14, и нажимаем галочку в верхней части панели .

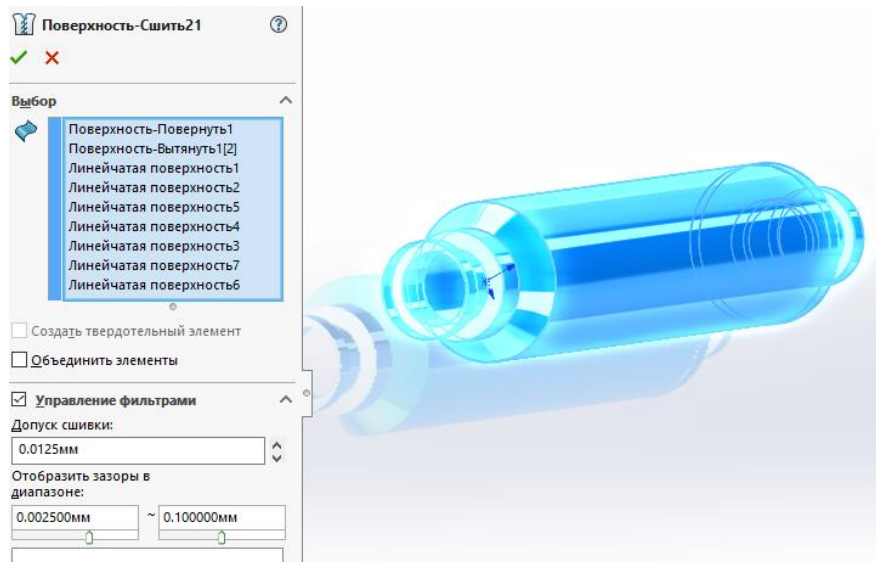




Рис. 14. Сшивка поверхностей внутренней оболочки

16.2. Снова используем инструмент *Сшить поверхность* . Выделяем все внешние поверхности, как показано на рис. 15, и нажимаем галочку в верхней части панели .

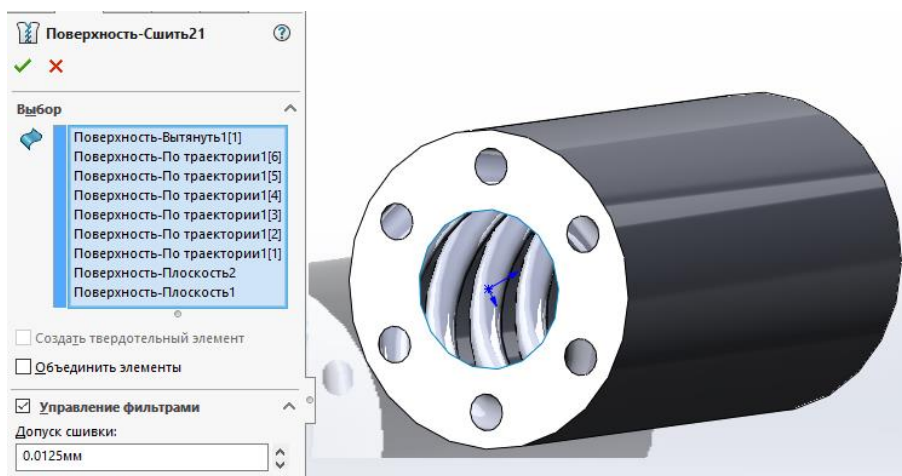




Рис. 15. Сшивка поверхностей внешней оболочки

17. Скругляем необходимые кромки. Для этого используем инструмент **Скругление** , выделяем кромки, задаем радиус скругления 1 мм и нажимаем галочку в верхней части панели  (рис. 16).

*Примечание:* если не объединить поверхности, то скруглить кромки, созданные разобщенными поверхностями, будет невозможно.

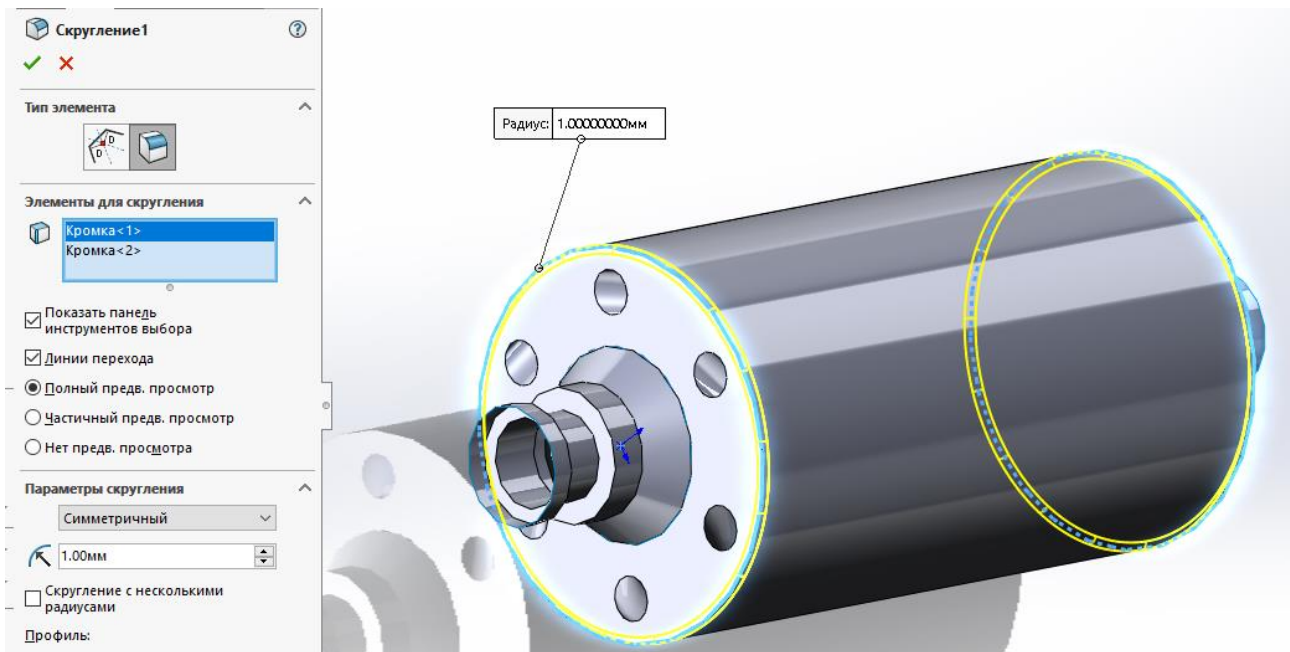


Рис. 16. Создание скруглений

18. Сохраняем проект в папку, ранее созданную студентом. Для этого нажимаем **Файл – Сохранить как... – Сохранить**.

### Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).
4. Этапы построения.
5. Результаты работы (три базовых вида и один изометрический).
6. Вывод.



## **Контрольные вопросы**

1. Что такое SolidWorks?
2. Особенности поверхностного моделирования.
3. Основные инструменты для создания эскиза детали.
4. Основные инструменты для работы с поверхностями.
5. Как создать спиральную поверхность?
6. С помощью какого инструмента несколько поверхностей преобразуется в одну?
7. Основные этапы выполнения работы.

## Лабораторная работа № 2

### ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБОЛОЧКИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

#### Цель работы

Приобретение и закрепление студентами навыков поверхностного моделирования в *SolidWorks* на примере построения оболочки сложной формы.

#### Описание работы

Необходимо изучить чертеж оболочки сложной формы (рис. 1) и, используя приведенные в таблице исходных данных размеры, построить его трехмерную модель в *SolidWorks*.

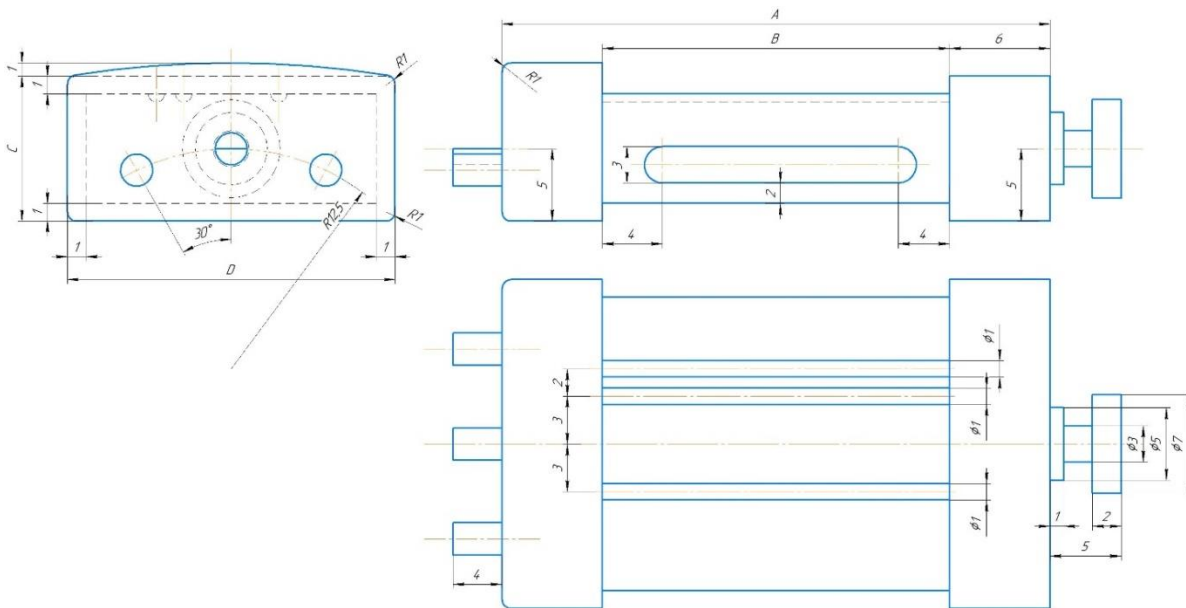


Рис. 1. Чертеж оболочки сложной формы

Таблица

#### Исходные данные

Вариант	A, мм	B, мм	C, мм	D, мм
1	32	20	10	26
2	30	18	12	24

Вариант	А, мм	В, мм	С, мм	Д, мм
3	36	16	9	28
4	28	17	15	21
5	34	22	16	30
6	32	20	10	28
7	30	18	11	25
8	36	16	10	26
9	34	19	12	24
10	34	22	9	28
11	36	24	15	21
12	28	18	16	30
13	32	16	10	28
14	38	27	11	25
15	32	22	10	26
16	30	20	12	24
17	36	18	9	28
18	28	16	15	21
19	34	24	16	30
20	38	22	10	28
21	34	20	11	25
22	38	18	10	26
23	30	16	12	24
24	38	18	9	28
25	32	20	15	21
26	30	17	16	30
27	36	18	10	28
28	28	16	11	25
29	34	19	9	24
30	32	22	15	23

## Порядок выполнения лабораторной работы

1. В стартовом окне *SolidWorks* на панели инструментов выбираем **Файл – Новый... – Деталь** и нажимаем **Ок**.

2. В открывшемся окне (рис. 2) в первую очередь необходимо будет построить оболочку сложной формы.

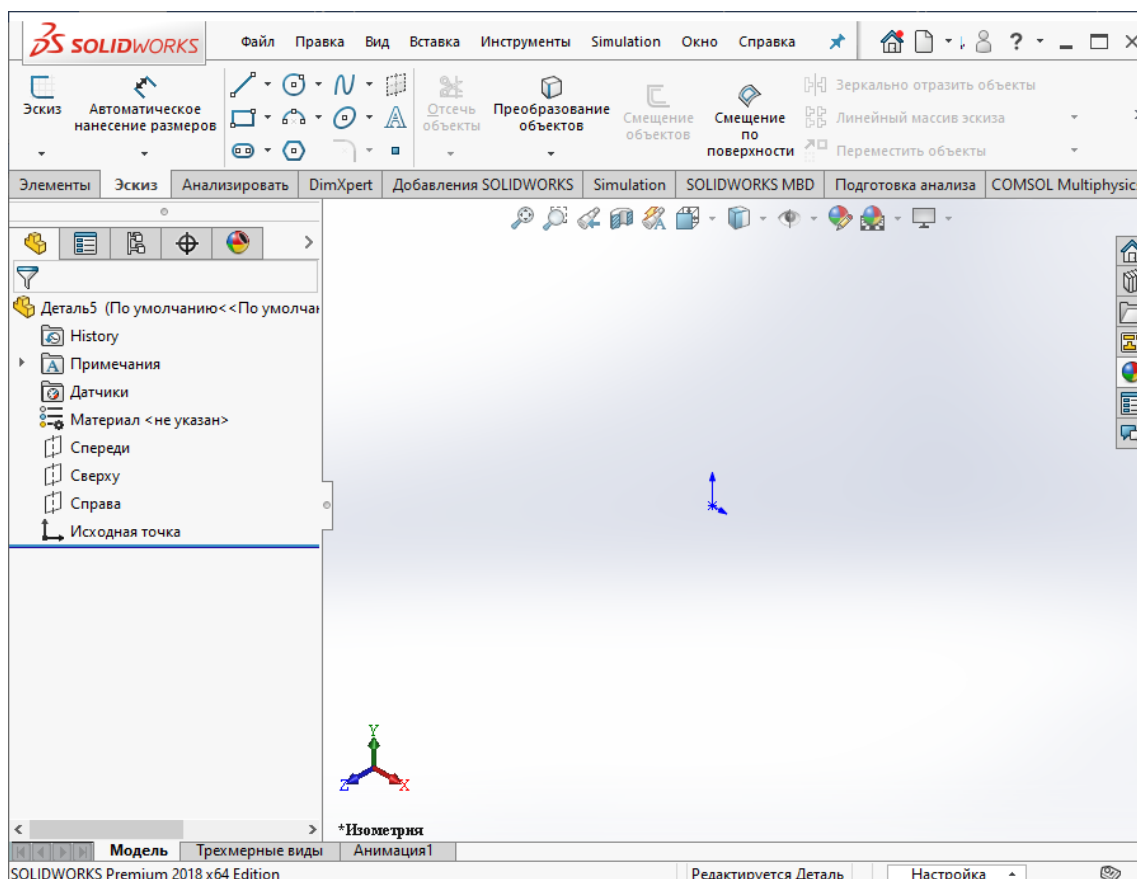


Рис. 2. Рабочее окно SolidWorks

3. Чтобы начать работать с поверхностями, необходимо перейти **Вид – Панель инструментов** и выбрать **Поверхности**. После этого появится панель с необходимыми инструментами. Панель можно расположить в любой удобной области рабочего окна.

4. Далее можно приступить к построению модели. В первую очередь необходимо создать эскиз, для этого нажимаем левой кнопкой мыши (ЛКМ) на вид **Справа** (находящийся в дереве построения) и ориентируем его **Перпендикулярно** (рис. 3).

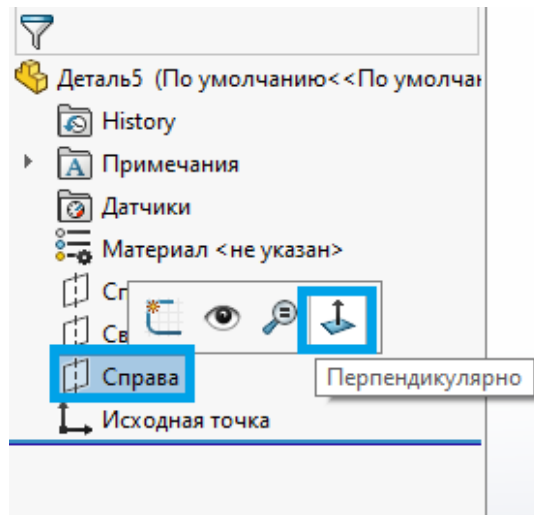






Рис. 3. Выбор поверхности для создания эскиза

5. Используя табличные размеры  $C$  и  $D$  своего варианта, строим эскиз (рис. 4).


5.1. Выбирая *Эскиз – Прямоугольник по углам* , строим произвольный прямоугольник.


5.2. Выбирая *Эскиз – Линия – Осевая линия* , строим осевую линию, соединяющую центры верхней и нижней линий.


5.3. Выбирая *Эскиз – Окружность* , строим произвольную окружность с центром на верхней линии.

5.4. Выбирая *Эскиз – Круговой массив эскиза* , строим смещенную окружность левее от первоначальной.

5.5. Выбирая *Эскиз – Отсечь объекты* , убираем лишние линии.

5.6. Выбирая *Эскиз – Круговой массив эскиза* , строим смещенную окружность левее от первоначальной.

5.7. С помощью *Автоматического нанесения размеров*  фиксируем размеры прямоугольника и окружностей согласно выданной схеме и своему варианту.

После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели.

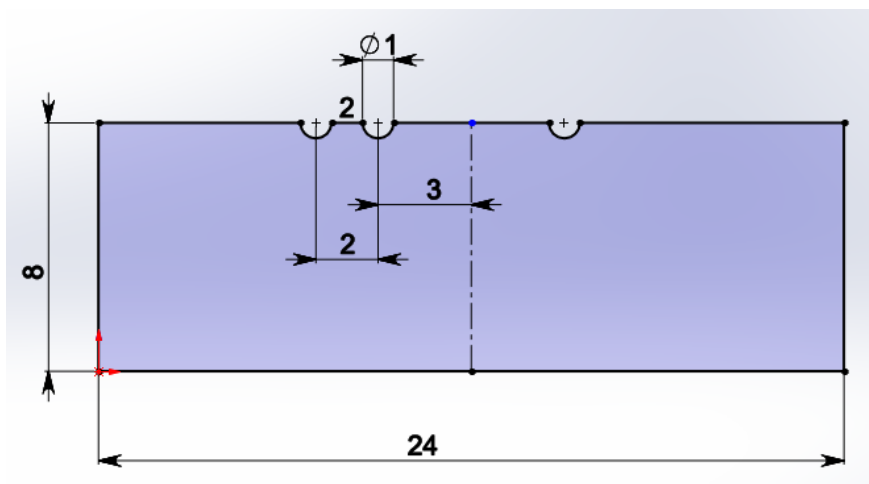




Рис. 4. Построение эскиза

6. Создадим объемный элемент оболочки. Для этого используем инструмент **Вытянутая поверхность** , выбираем созданный ранее эскиз и задаем размер вытягивания **B** согласно варианту. После чего нажимаем галочку в верхней части панели  и получаем необходимый элемент оболочки (рис. 5).

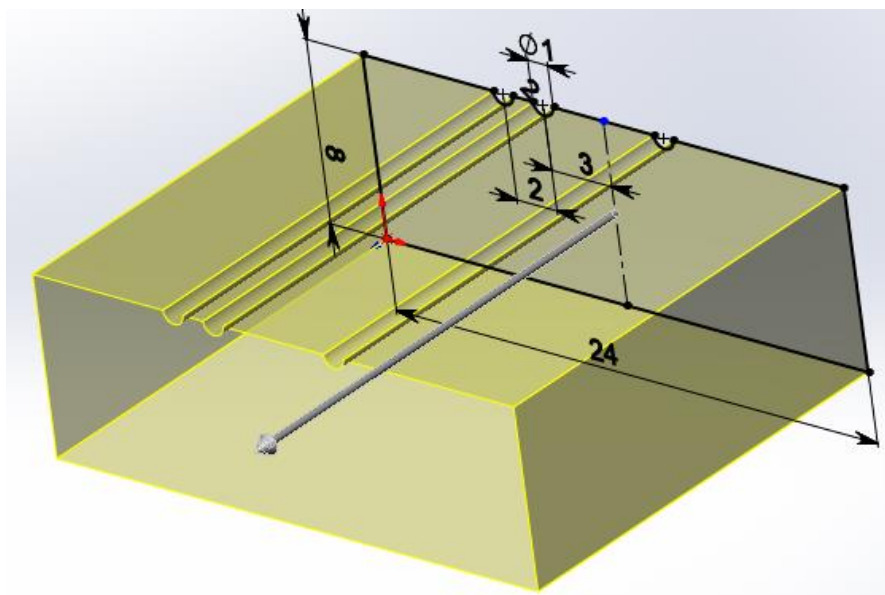




Рис. 5. Построение вытянутой поверхности

7. Для создания нового эскиза снова понадобится вид **Справа**. Используя исходную схему, строим эскиз согласно рис. 6.

7.1. С помощью прямоугольника и окружностей строим два прямоугольника, один из которых полностью повторяет первый эскиз (второй прямоугольник больше исходного).

7.2. С помощью *Автоматического нанесения размеров*  фиксируем размеры большего прямоугольника согласно выданной схеме. После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели.

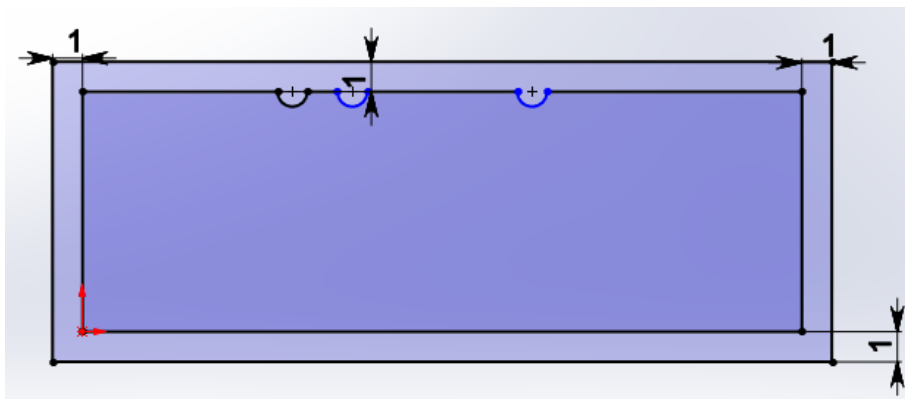




Рис. 6. Построение эскиза

8. Преобразуем эскизы в поверхности. Для этого нажимаем *Плоская поверхность* , выделяем необходимый эскиз и нажимаем галочку в верхней части панели , после чего получаем объект (рис. 7).

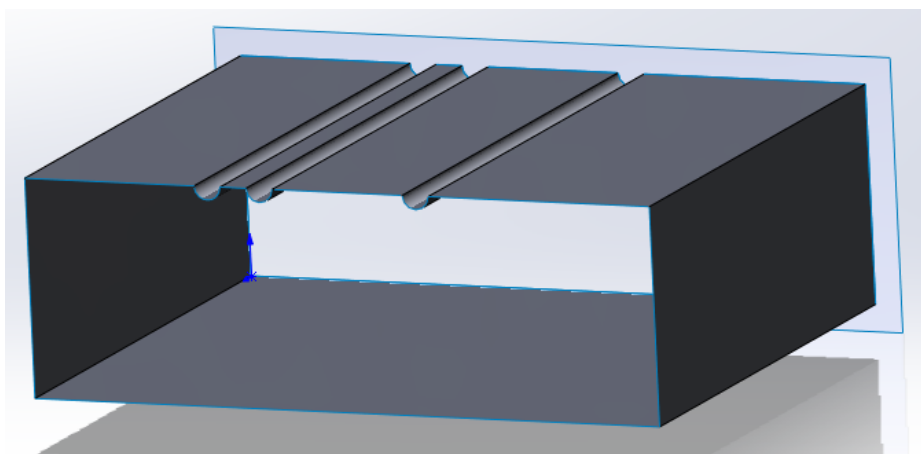




Рис. 7. Построение плоской поверхности

9. Для построения следующего эскиза понадобится вспомогательная плоскость, которая создается, перейдя в *Элементы – Справочная геометрия – Плоскость* . Для его создания необходимо выбрать две кромки, как на рис. 8. Для удобства поверхности можно скрыть, нажав на них ЛКМ, и выбрать *Скрыть* .

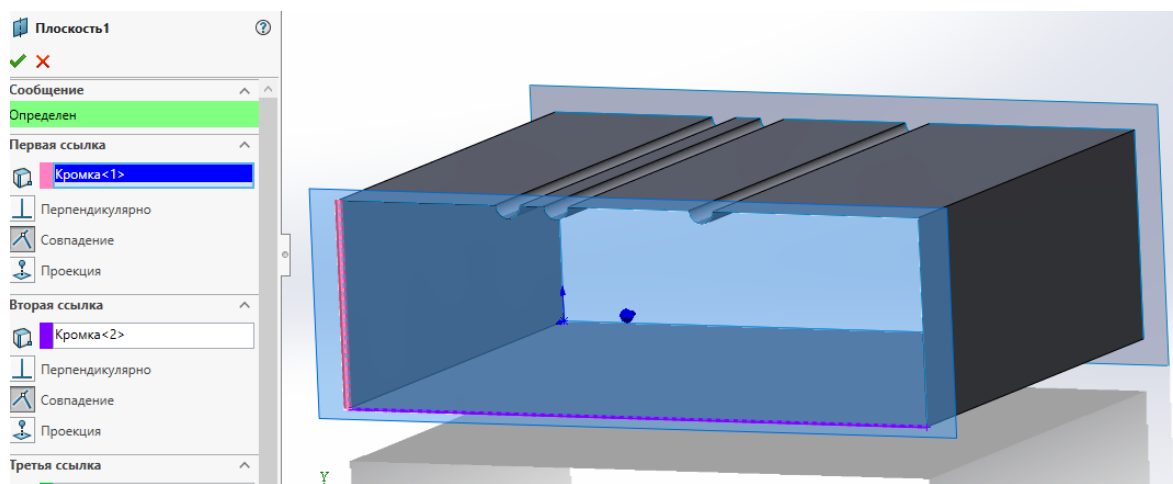



Рис. 8. Создание плоскостей

10. Выбрав новую плоскость, создадим эскиз, представленный на рис. 9. Его отличие от прошлого в том, что прямая линия сверху заменяется дугой. После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели.

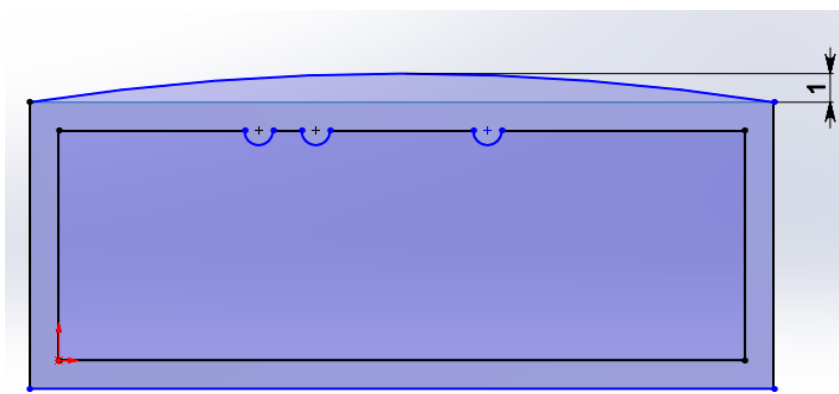




Рис. 9. Построение эскиза



11. Преобразуем эскизы в поверхности. Для этого нажимаем **Плоская поверхность** , выделяем необходимый эскиз и нажимаем галочку в верхней части панели , после чего получаем объект (рис. 10).

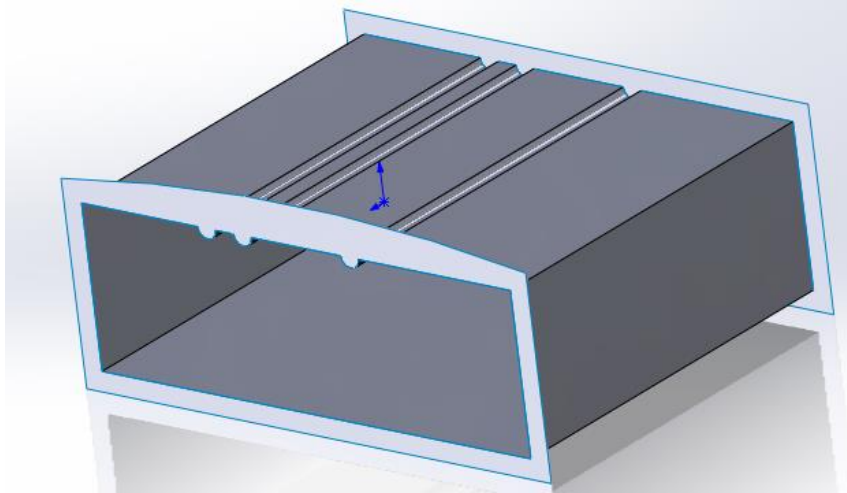




Рис. 10. Построение плоской поверхности

12. Создадим объемный элемент оболочки. Для этого нажимаем **Вытянутая поверхность** , выбираем необходимые кромки и задаем размер вытягивания  $A$  согласно варианту. После чего нажимаем галочку в верхней части панели  и получаем необходимый элемент оболочки (рис. 11).

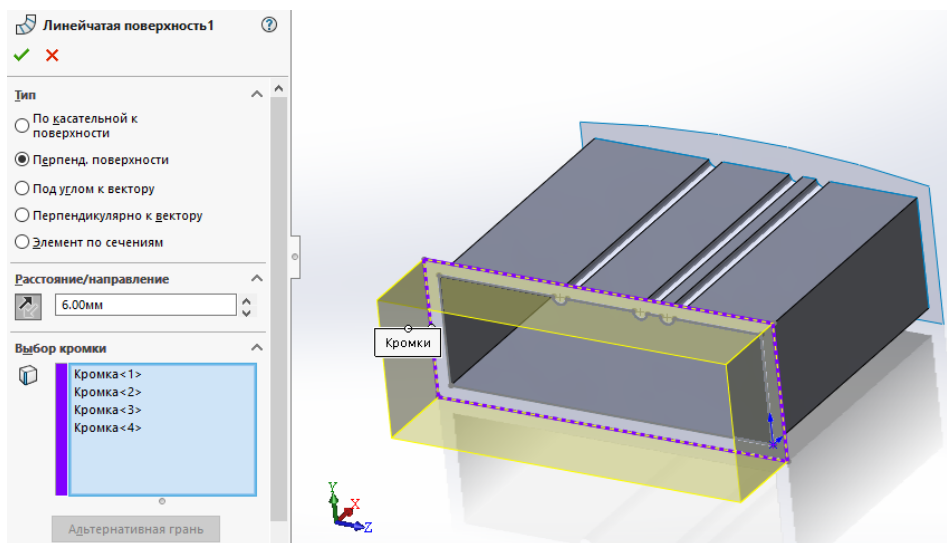


Рис. 11. Построение вытянутой поверхности

13. Теперь повторяем пункт 12 с другой стороны объекта, но не выделяем верхнюю кромку (рис. 12).

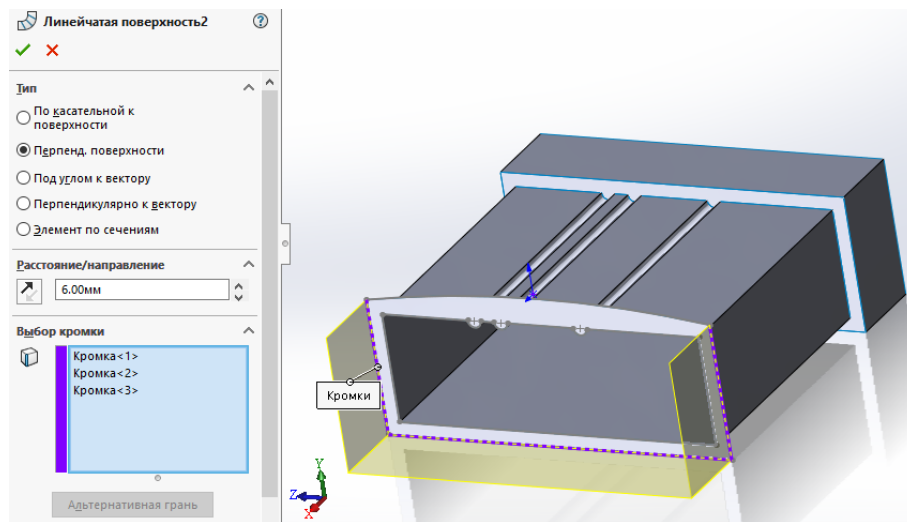


Рис. 12. Построение линейной поверхности

14. Верхняя поверхность будет создана с помощью альтернативной операции **Поверхность границы**. Данный инструмент используется для создания поверхности по двум направлениям. Для этого выделяются две направляющие кромки, как показано на рис. 13.

*Примечание:* аналогичным образом может быть использован инструмент **Поверхность по траектории**.

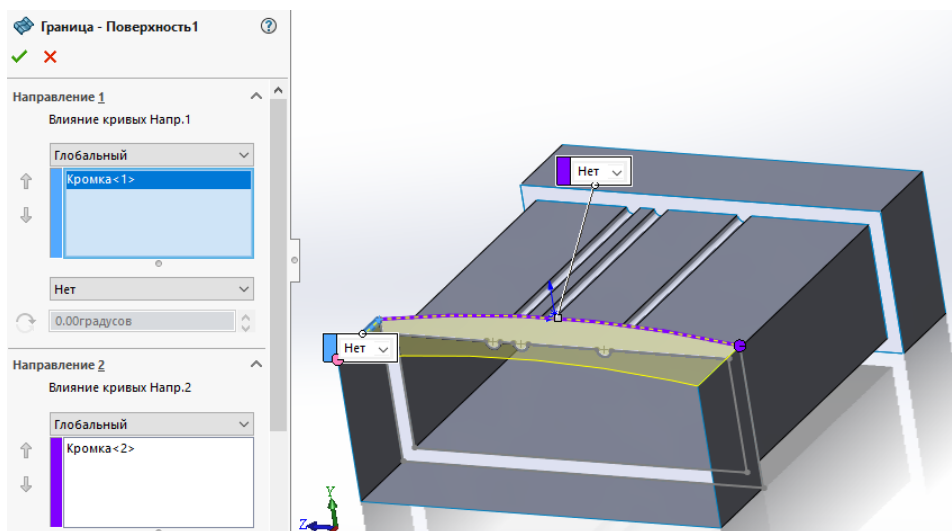


Рис. 13. Построение поверхности

15. Повторяя пункт 9, создаем две плоскости (рис. 14).

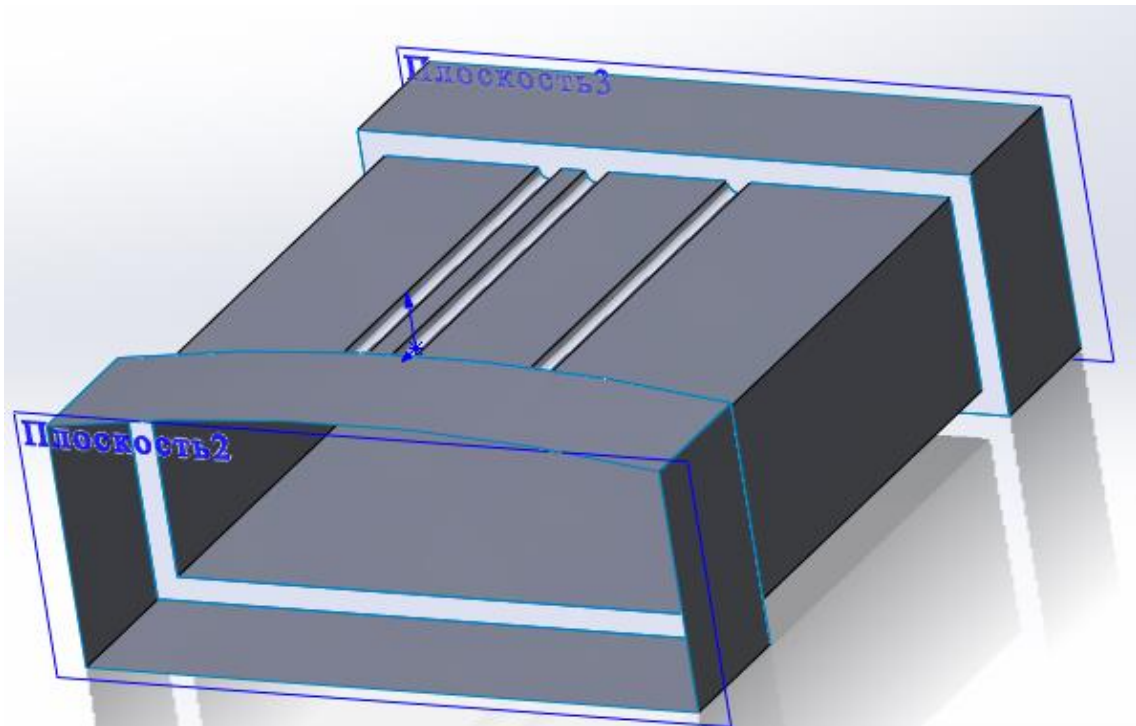



Рис. 14. Создание плоскостей

16. На новой плоскости (без дуги сверху) создаем эскиз (рис. 15). После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели.

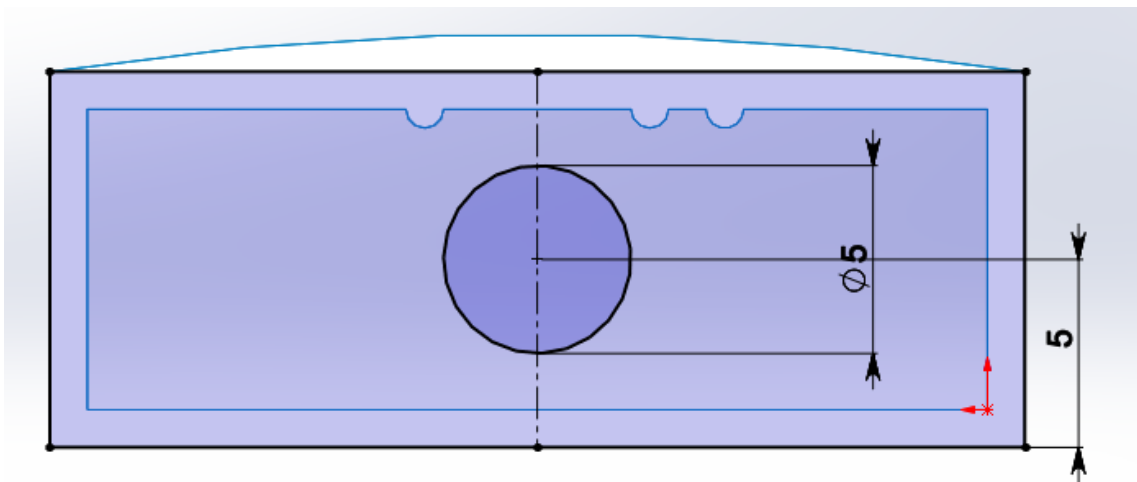


Рис. 15. Построение эскиза

17. Для построенного эскиза повторяем пункт 11 (рис. 16).

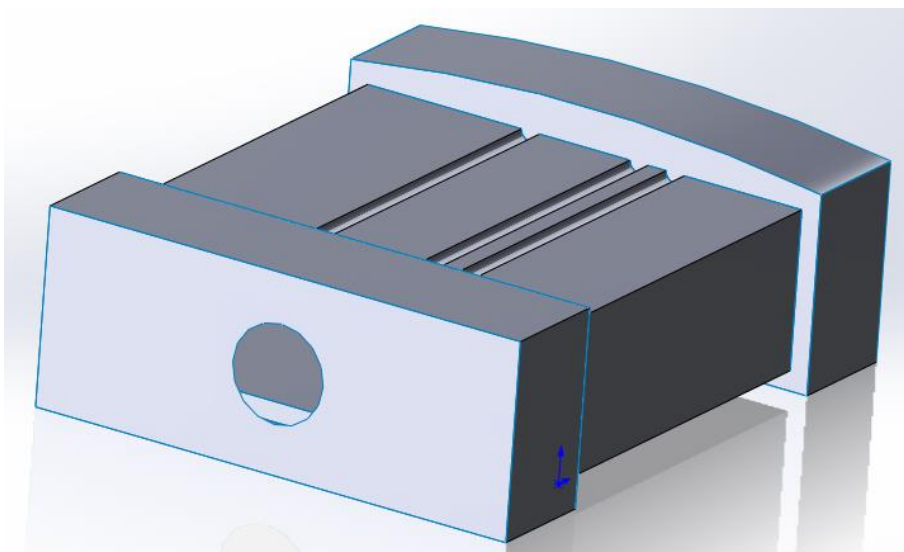



Рис. 16. Построение плоской поверхности

18. На новой плоскости (с дугой сверху) создаем эскиз (рис. 17).

После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели. в верхнем правом углу окна просмотра модели.

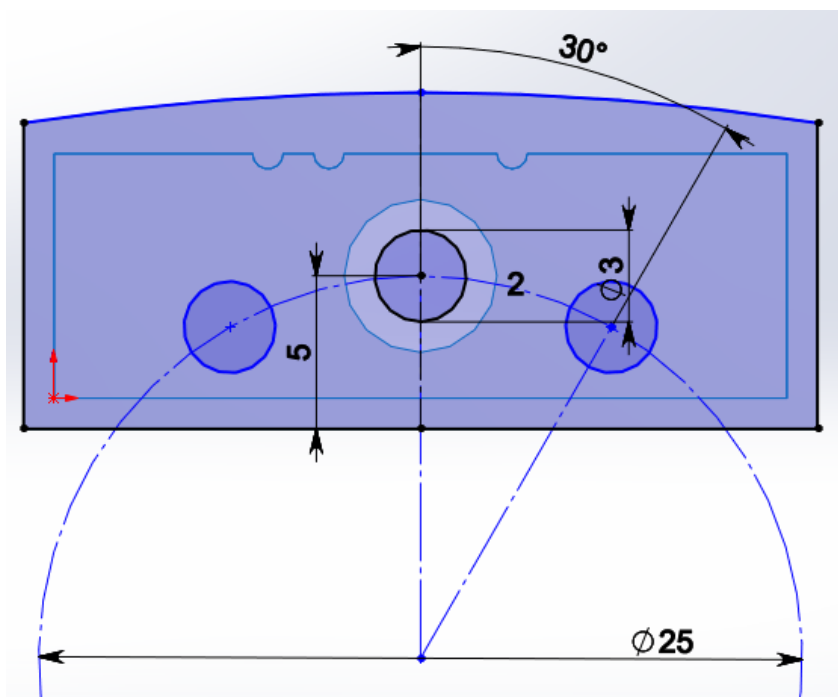


Рис. 17. Построение эскиза

19. Для построенного эскиза повторяем пункт 11 (рис. 18).

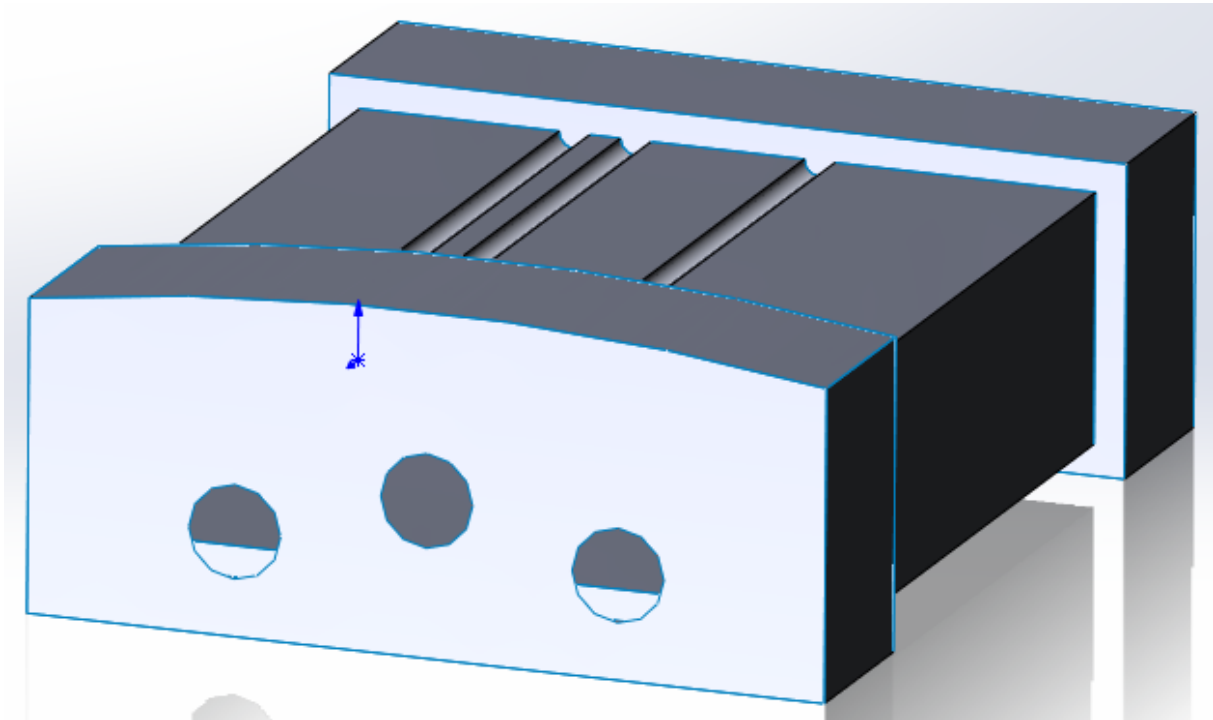


Рис. 18. Построение плоской поверхности

20. Повторяем пункт 12 для кромок-окружностей созданной плоской поверхности (рис. 19).

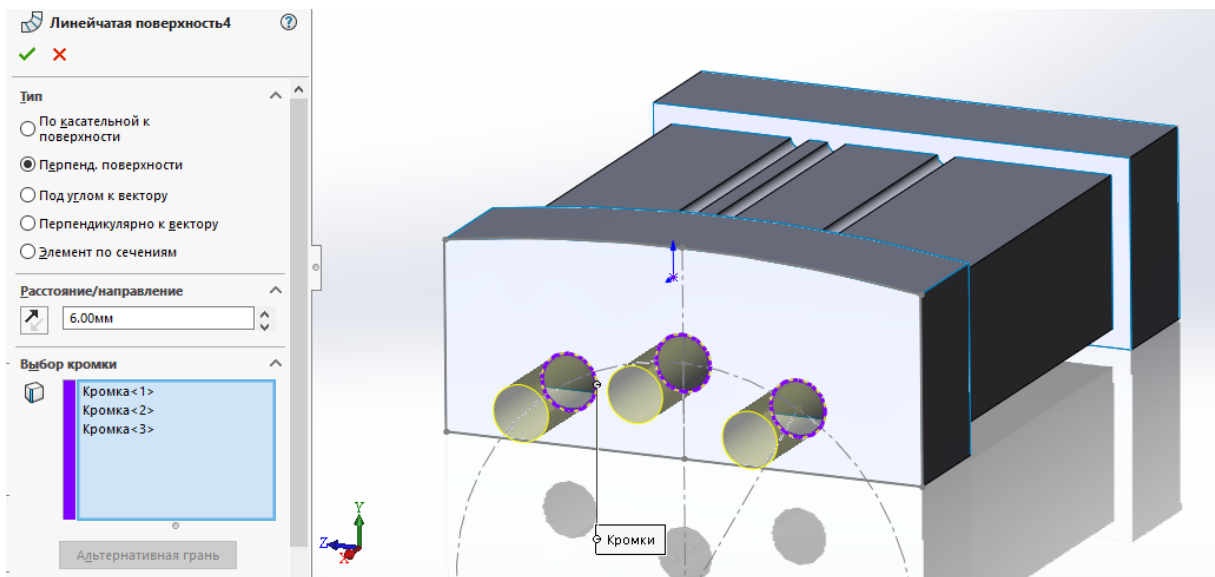


Рис. 19. Построение вытянутой поверхности

21. Создаем дополнительную плоскость на высоте 5 мм от основания (рис. 20).

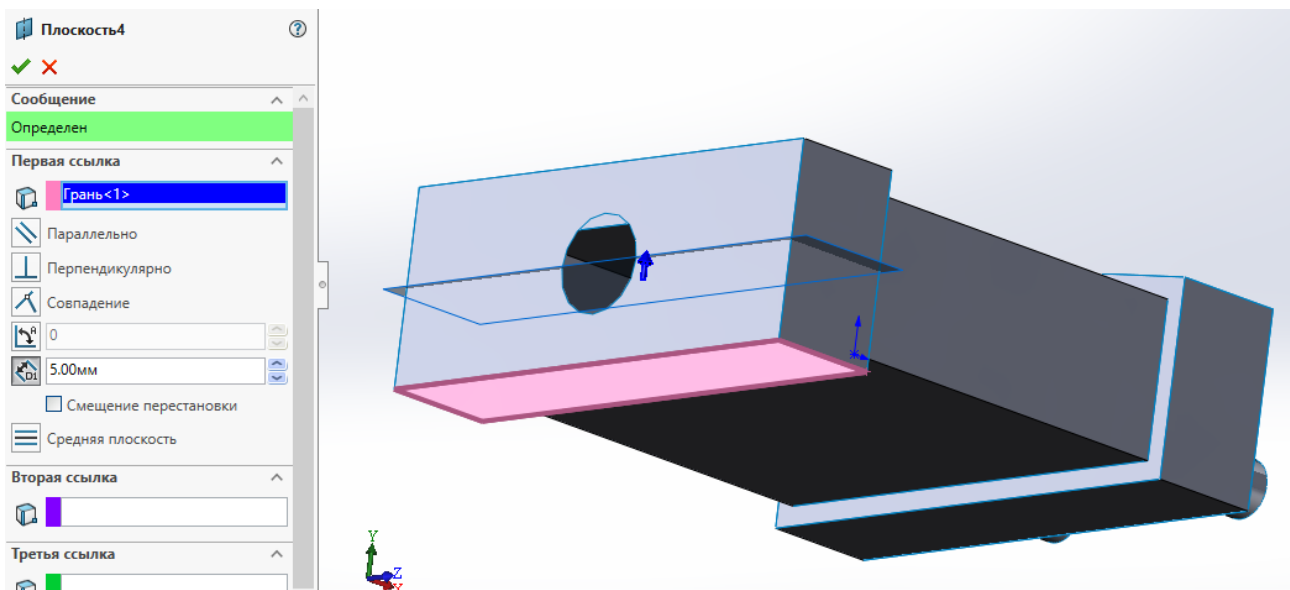


Рис. 20. Создание плоскости

22. На новой плоскости создаем эскиз, как показано на рис. 21, со стороны поверхности, имеющей одно отверстие.

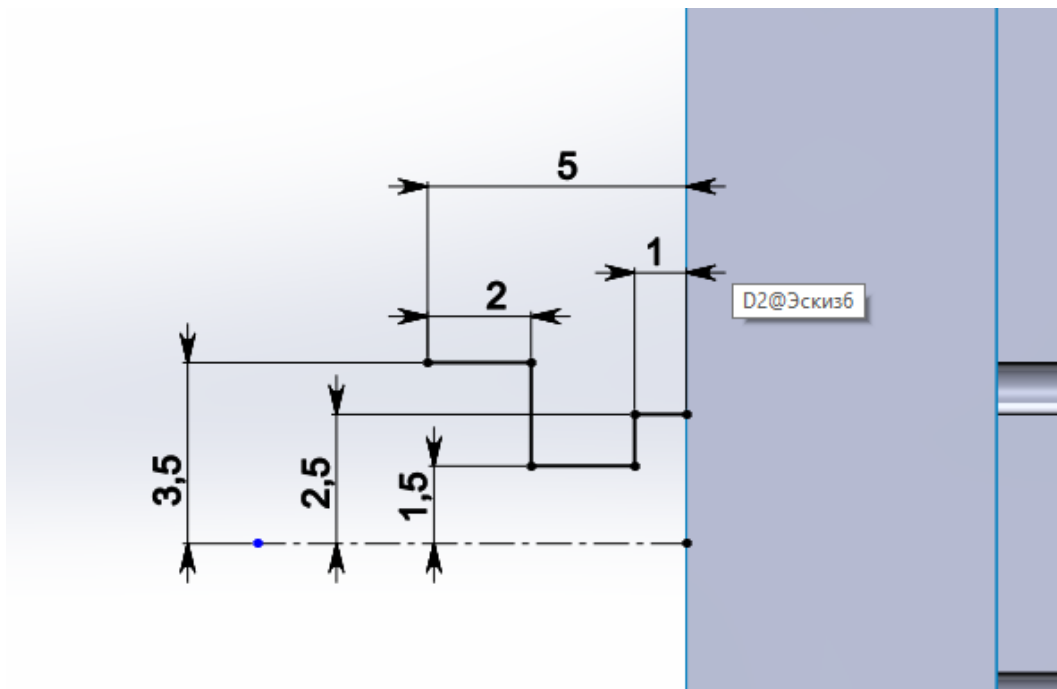




Рис. 21. Построение эскиза

23. Преобразуем эскизы в поверхности. Для этого используем инструмент **Повернутая поверхность** . Выделяем необходимый эскиз и нажимаем галочку в верхней части панели  (рис. 22).

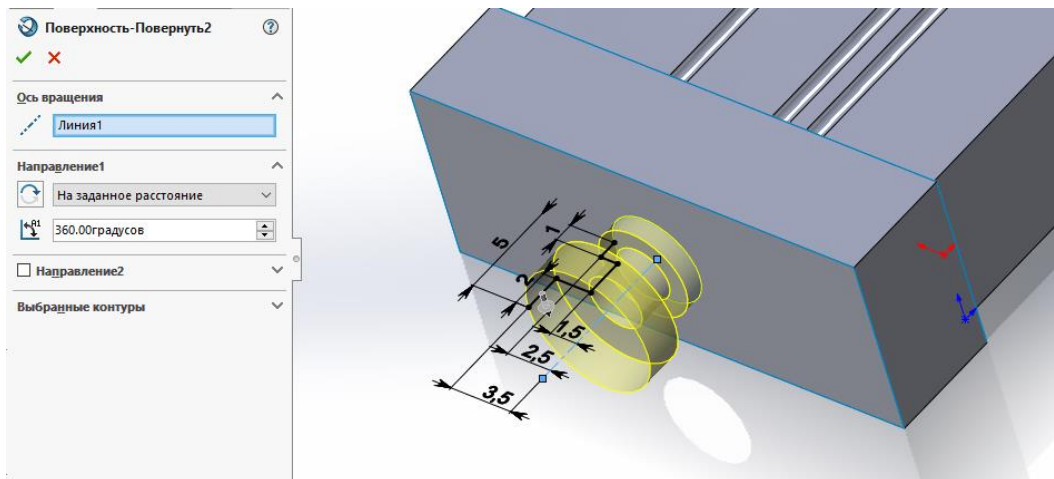


Рис. 22. Построение повернутой поверхности

24. Используя плоскость, созданную в пункте 21, разделим созданный в пункте 20 центральный цилиндр пополам.

24.1. Переходим во **Вставка – Кривая** и нажимаем **Линия разъема...** .

24.2. Выбираем раздел под цифрой (1), раскрываем дерево построения (2), нажимаем ЛКМ на необходимую плоскость (3) и задаем грань, которую необходимо разделить выбранной плоскостью (рис. 23).

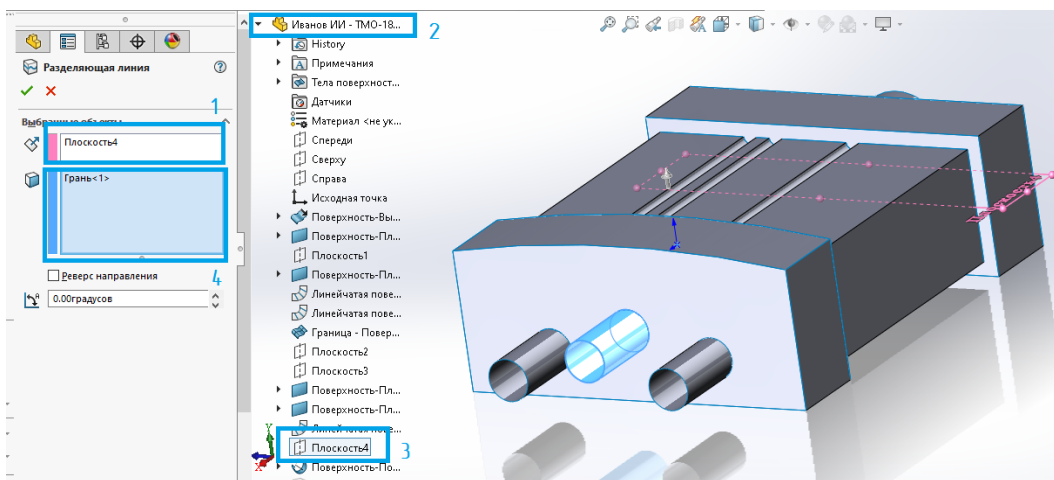





Рис. 23. Разделение грани

24.3. Нажимаем галочку в верхней части панели .

25. Удаляем верхнюю часть цилиндрической поверхности при помощи инструмента *Удалить грань* . Выделяем необходимую грань и нажимаем галочку в верхней части панели  (рис. 24).

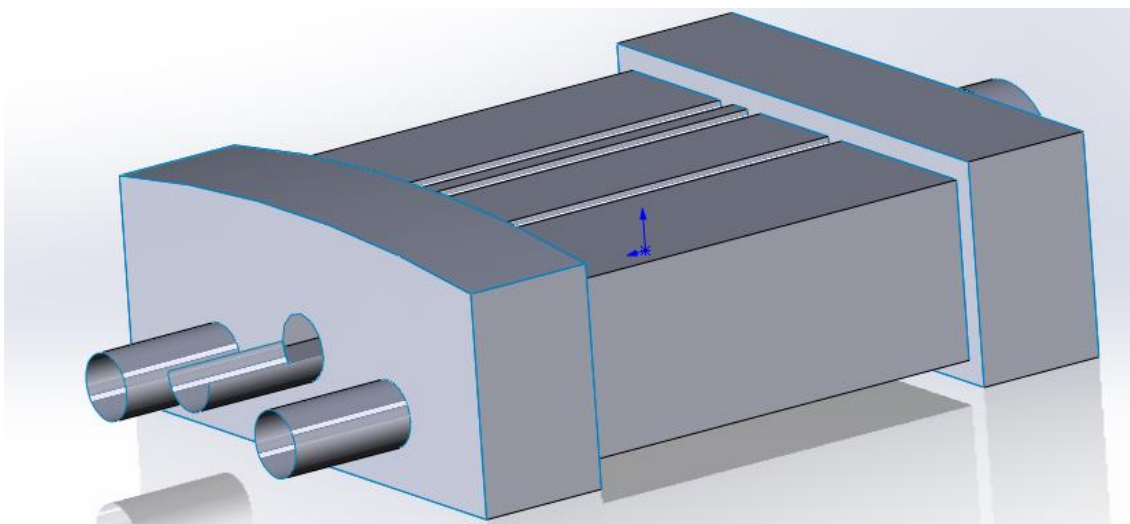



Рис. 24. Удаление грани

26. Создадим вырез на боковой поверхности оболочки. Для этого выделяем необходимую поверхность и создаем эскиз, как на рис. 25. После этого можно закрыть редактор эскиза, нажав иконку  в верхнем правом углу окна просмотра модели.

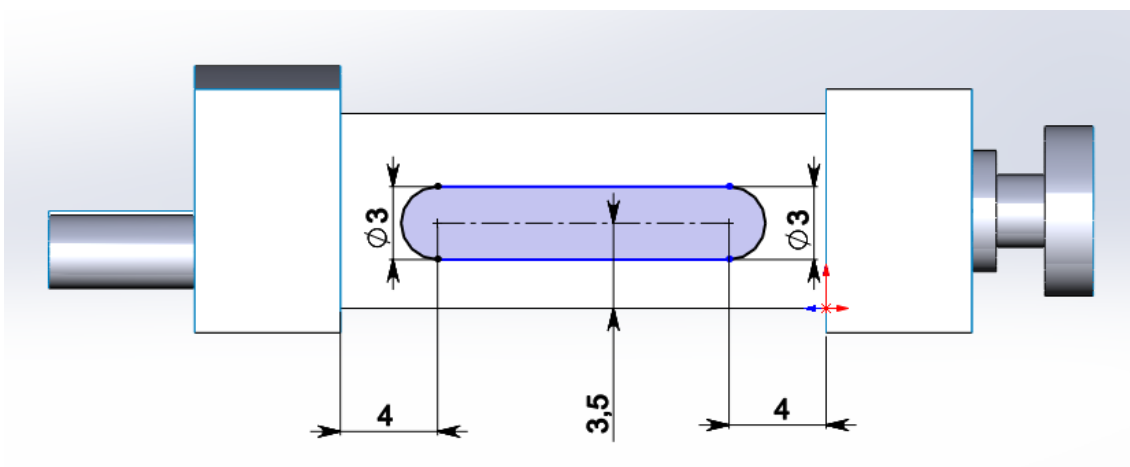




Рис. 25. Построение эскиза



27. Делаем вырез на поверхности с помощью созданного эскиза. Для этого используем инструмент **Отсечь поверхность** . Выделяем необходимый эскиз и поверхность, на которой делается вырез, после чего нажимаем галочку в верхней части панели  (рис. 26). Вырез будет сквозным.

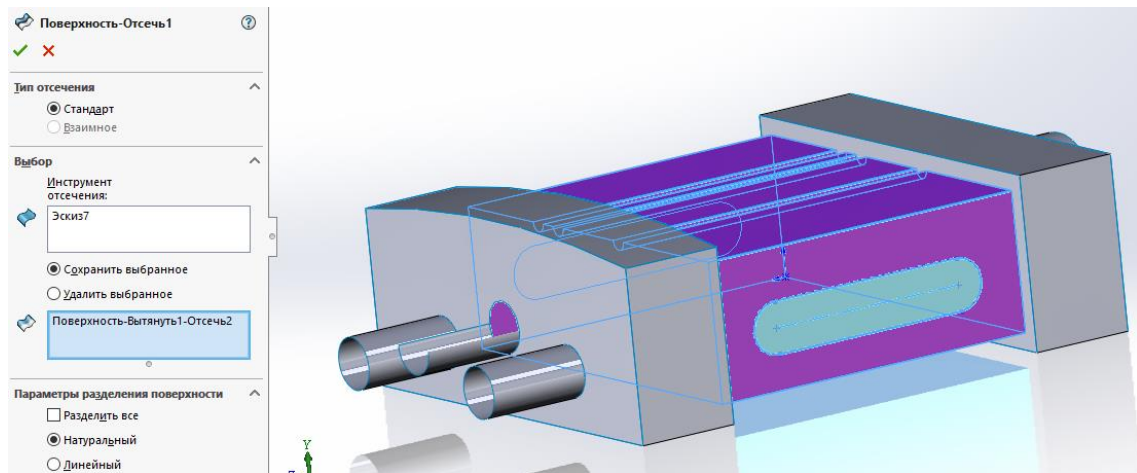




Рис. 26. Создание выреза на поверхности

28. Сошьем все созданные ранее поверхности в один объект. Для этого используем инструмент **Сшить поверхность** . Выделяем все возможные поверхности и нажимаем галочку в верхней части панели  (рис. 27).

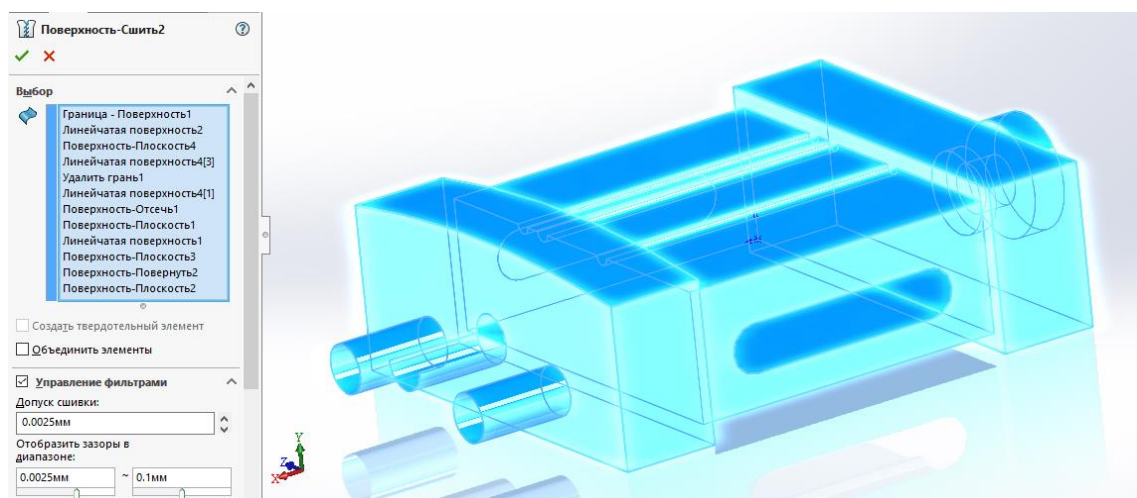




Рис. 27. Сшивка поверхностей

29. Скругляем необходимые кромки. Для этого используем инструмент **Скругление** , выделяем кромки, задаем радиус скругления 1 мм и нажимаем галочку в верхней части панели  (рис. 28).

*Примечание:* если не объединить все поверхности, то скруглить кромки, созданные разобщенными поверхностями, будет невозможно.

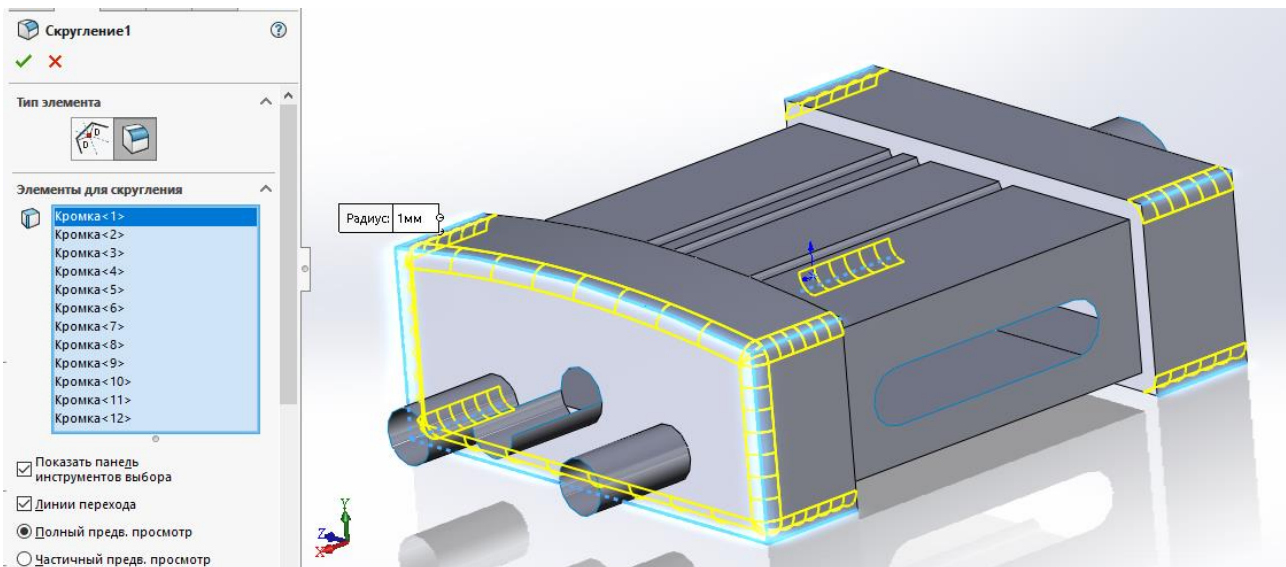


Рис. 28. Создание скруглений

30. Сохраняем проект в папку, ранее созданную студентом. Для этого нажимаем **Файл – Сохранить как... – Сохранить**.

### Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).
4. Этапы построения.
5. Результаты работы (три базовых вида и один изометрический).
6. Вывод.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое SolidWorks?
2. Краткая характеристика САД-систем. Примеры.
3. Особенности поверхностного моделирования.
4. Основные инструменты для создания эскиза детали.
5. Основные инструменты для работы с поверхностями.
6. Основные этапы выполнения работы.

## Лабораторная работа № 3

### ВИЗУАЛИЗАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР

#### Цель работы

Приобретение и закрепление студентами навыков работы в *ANSYS Workbench – Material Designer* и *ANSYS Workbench – ACP (Pre)* при моделировании микроструктуры композитных материалов и поверхности сложной формы.

#### Описание работы

Используя инструмент *Material Designer*, необходимо смоделировать микроструктуру композитного материала (таблица) и присвоить его в *ACP (Pre)* к построенной в блоке *Geometry* поверхности (рис. 1, 2, 3) согласно условиям своего варианта для двух видов объемных элементов модифицированных микроструктур.

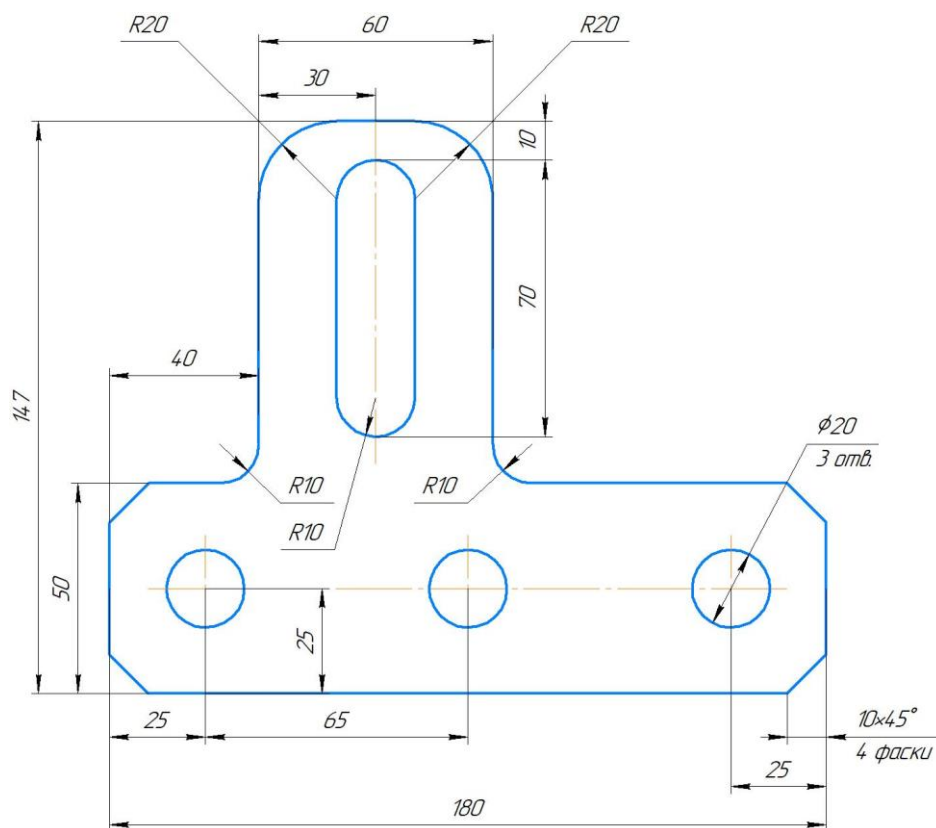


Рис. 1. Схема № 1

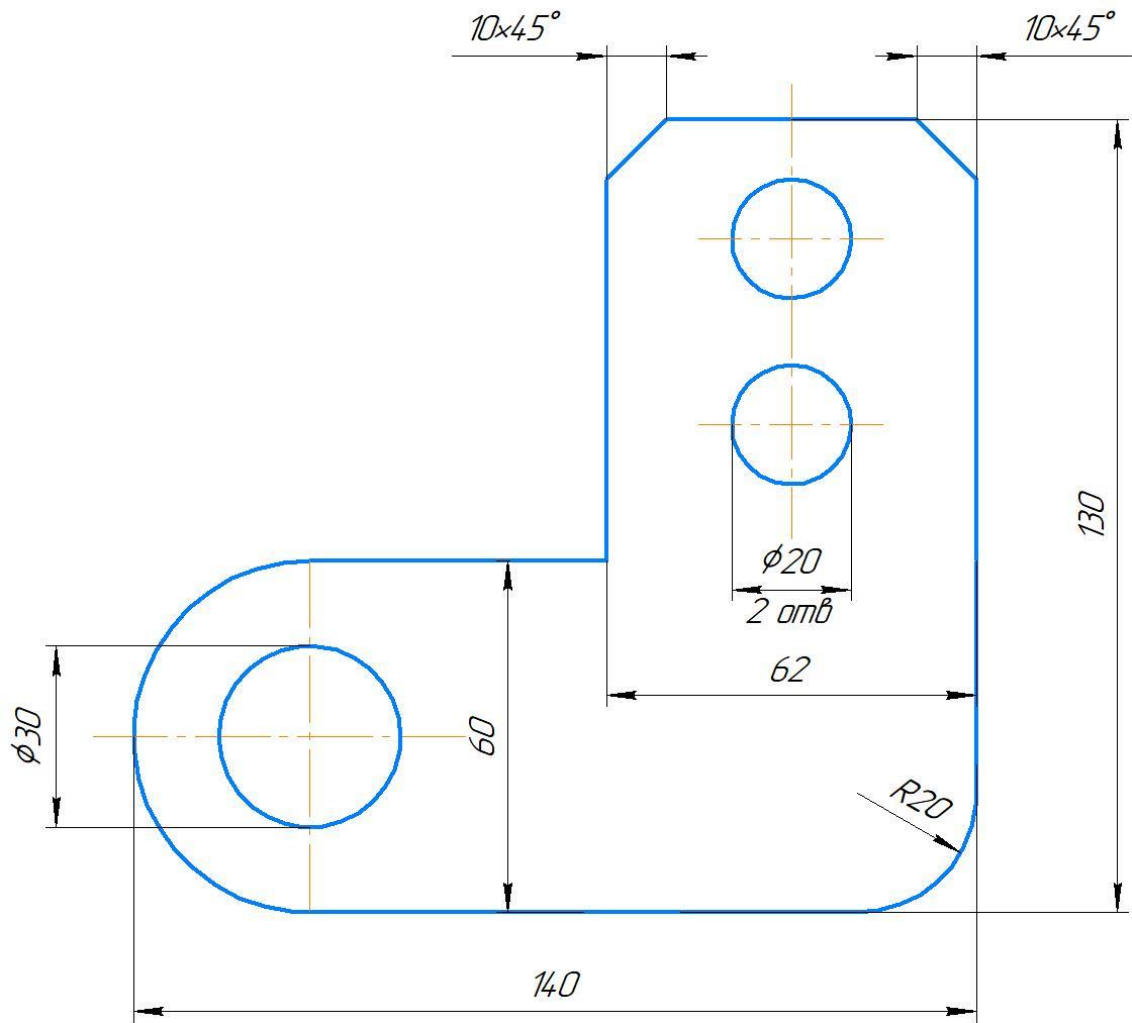


Рис. 2. Схема № 2

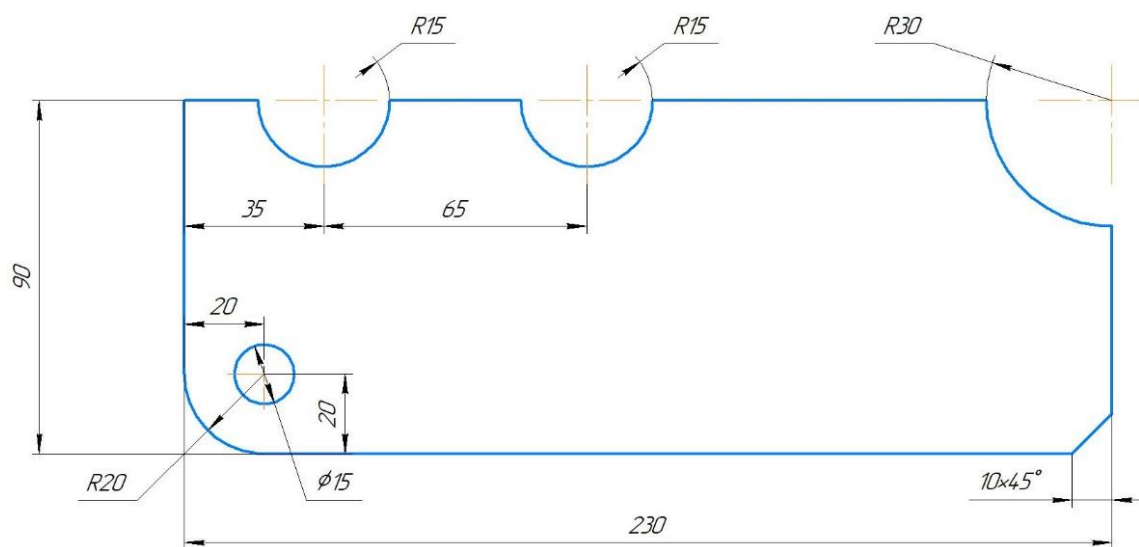


Рис. 3. Схема № 3

## Исходные данные

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента
1	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Регулярная однаправленная – Сферическая
2	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Сферическая – Плетеная
3	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Плетеная – Регулярная однаправленная
4	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Сферическая – Регулярная однаправленная
5	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Регулярная однаправленная – Плетеная
6	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Сферическая – Регулярная однаправленная
7	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Плетеная – Регулярная однаправленная
8	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Сферическая – Плетеная
9	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Регулярная однаправленная – Сферическая
10	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Сферическая – Регулярная однаправленная
11	2	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Плетеная – Регулярная однаправленная

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента
12	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Сферическая – Плетеная
13	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Регулярная однаправленная – Сферическая
14	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Сферическая – Регулярная однаправленная
15	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Плетеная – Сферическая
16	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Сферическая – Регулярная однаправленная
17	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Регулярная однаправленная – Плетеная
18	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Сферическая – Плетеная
19	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Плетеная – Сферическая
20	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Сферическая – Регулярная однаправленная
21	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Регулярная однаправленная – Сферическая
22	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Сферическая – Плетеная
23	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Плетеная – Регулярная однаправленная
24	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Сферическая – Плетеная

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента
25	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Регулярная однонаправленная – Сферическая
26	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Сферическая – Плетеная
27	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	– Плетеная – Сферическая
28	2	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Сферическая – Плетеная
29	3	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Регулярная однонаправленная – Сферическая
30	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	– Сферическая – Плетеная

### Порядок выполнения лабораторной работы

1. В стартовом окне *ANSYS Workbench* на панели инструментов выбираем *Component Systems* и дважды нажимаем левой кнопкой мыши (ЛКМ) на *Material Designer* и *ACP (Pre)*. На стартовом окне появятся два необходимых модуля (рис. 4).

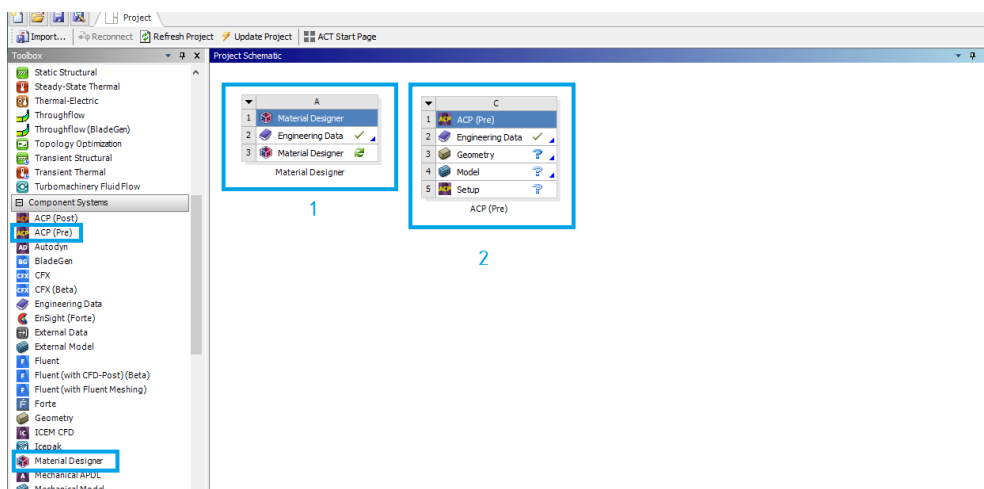
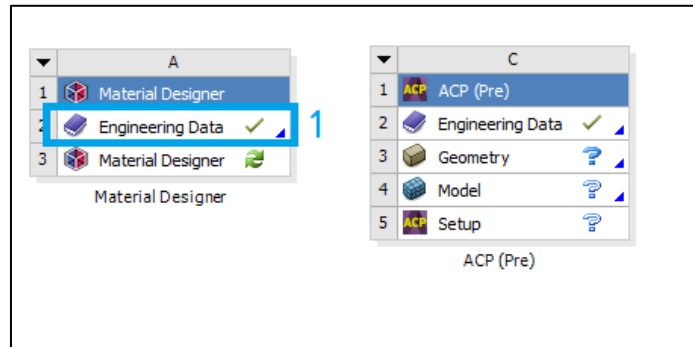


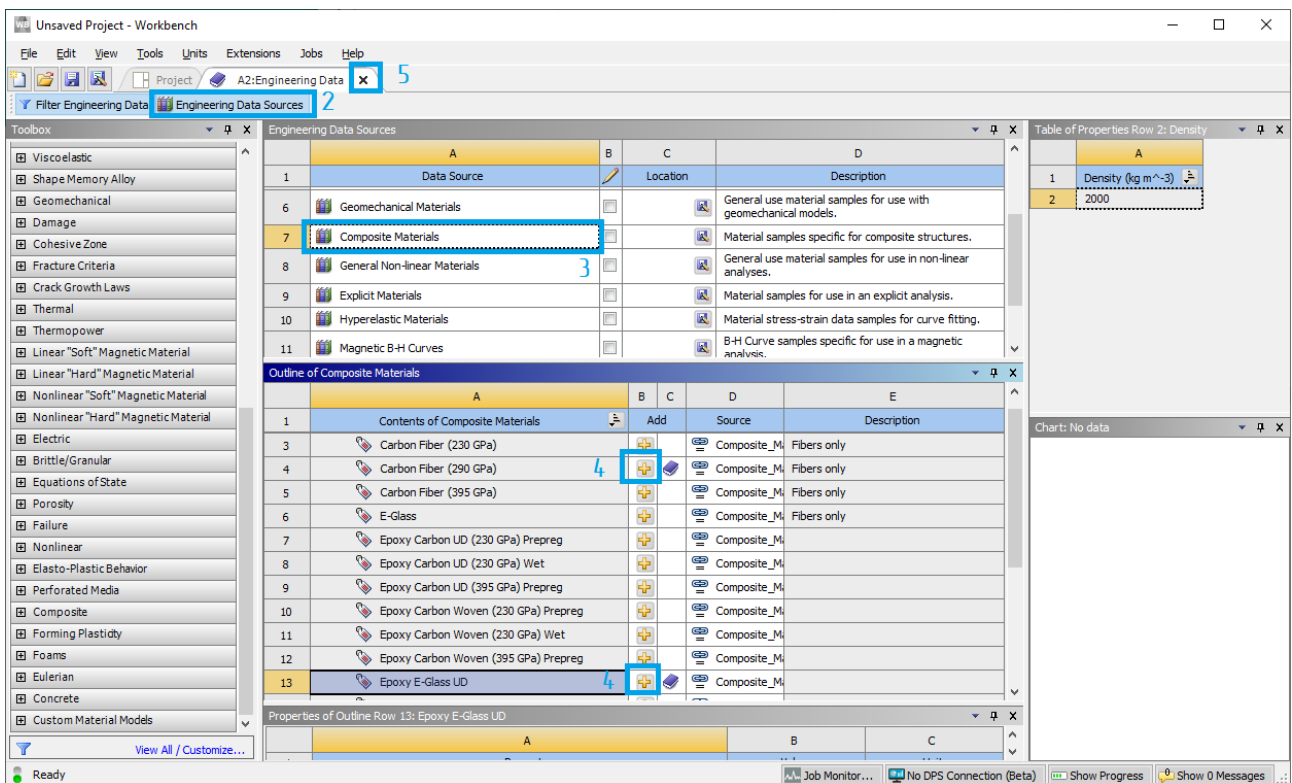
Рис. 4. Добавление рабочих блоков



2. Дважды нажимаем ЛКМ на блок *Engineering Data* (1), после чего жмем на *Engineering Data Sources* (2). Выбираем библиотеку *Composite Materials* (3) и подключаем материалы согласно своему варианту (4). После этого можно закрыть *Engineering Data* (5) (рис. 5).



a



b

Рис. 5. Выбор материала волокна и наполнителя

3. В первом модуле дважды нажимаем ЛКМ на *Material Designer*, после чего откроется окно, представленное на рис. 6.

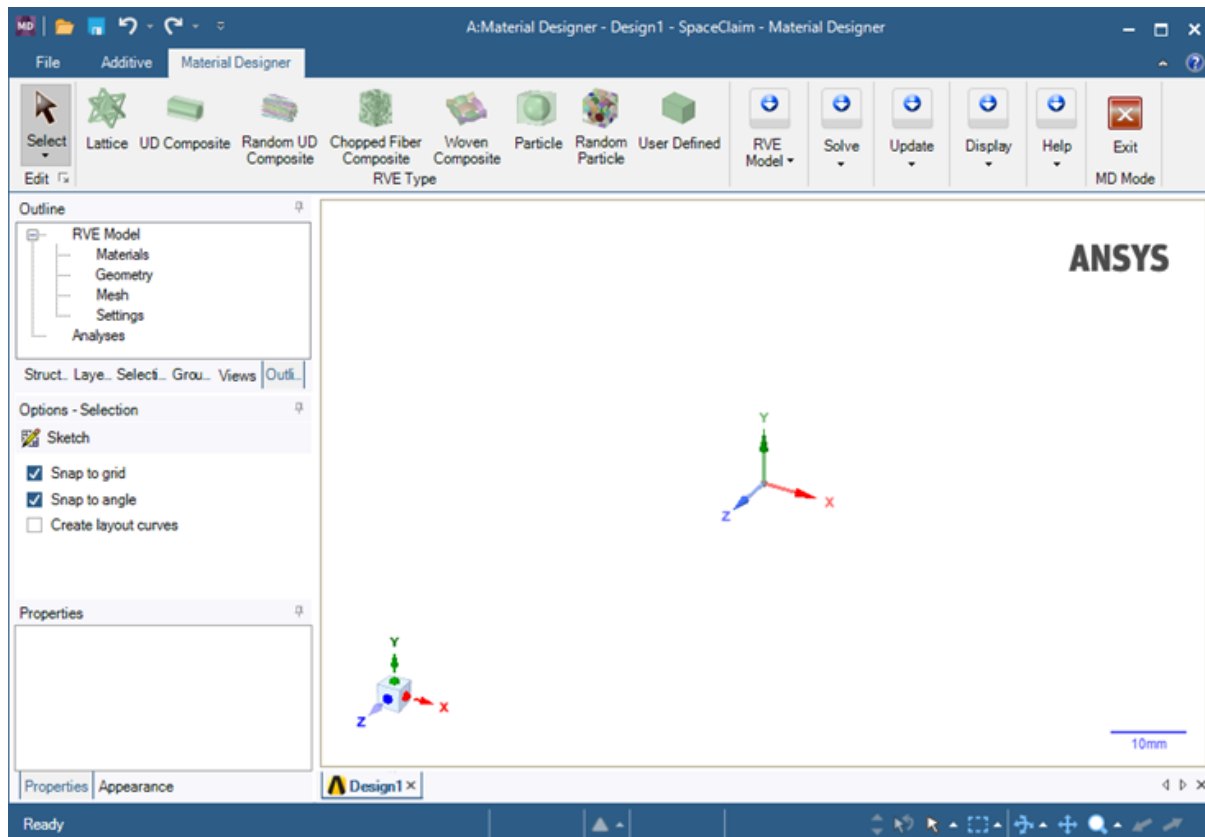


Рис. 6. Окно Material Designer

4. В верхней панели инструментов (рис. 7) выбираем тип объемного элемента модифицированной микроструктуры согласно своему варианту (таблица).

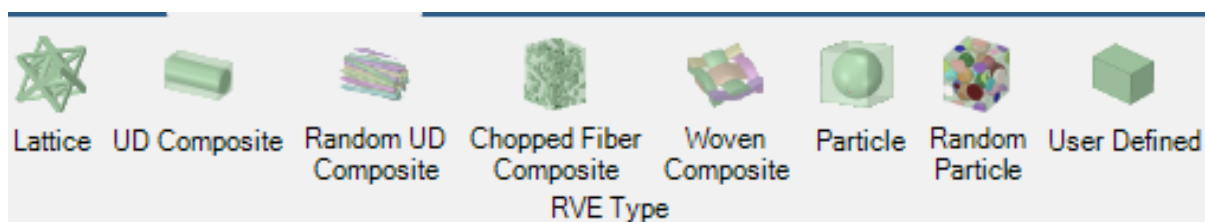


Рис. 7. Выбор объемного элемента модифицированной микроструктуры

5. В появившейся слева панели необходимо присвоить материал матрицы/наполнителя (1) и частицы/волокон (2) (рис. 8). После чего необходимо применить изменения (3).

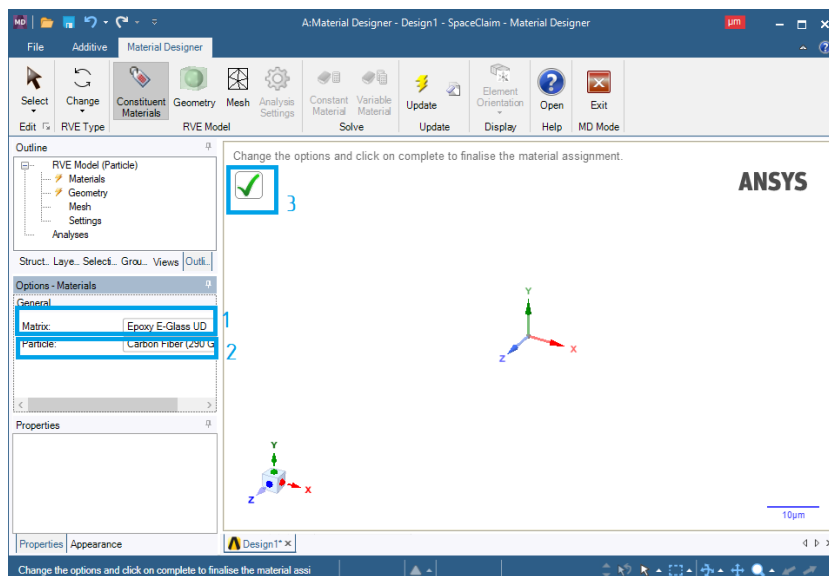


Рис. 8. Присвоение материалов

6. Для создания геометрии объемного элемента модифицированной микроструктуры (рис. 9) нажимаем ЛКМ на **Geometry** (1). После этого в левой панели настроек отобразятся настройки геометрии объемного элемента модифицированной микроструктуры (2) (в зависимости от типа выбранного объемного элемента настройки могут быть различны). Нажимаем галочку (3) и на рабочем пространстве появится трехмерная модель сгенерированного объемного элемента (4).

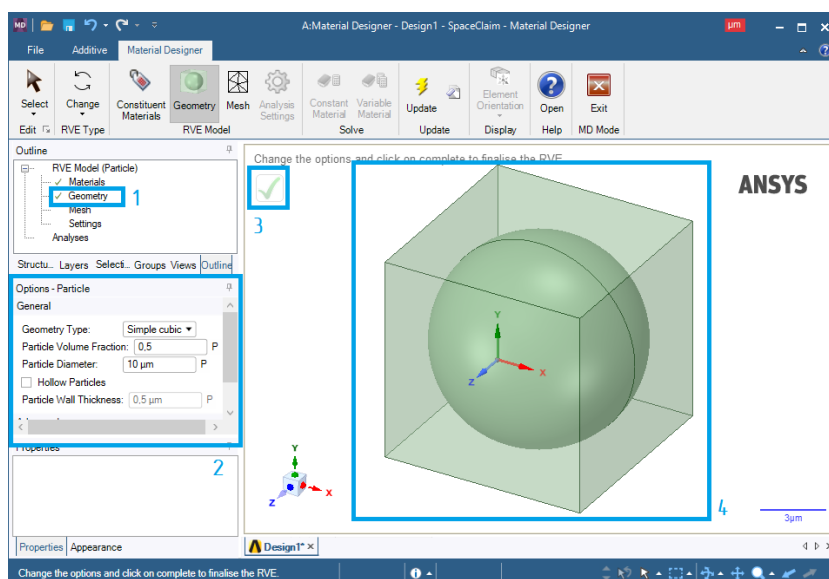


Рис. 9. Создание геометрии объемного элемента модифицированной микроструктуры

7. Сгенерируем сеточную модель объемного элемента модифицированной микроструктуры (рис. 10). Нажимаем ЛКМ на **Mesh** (1) и задаем максимальный размер сеточного объемного элемента (2). Нажимаем на галочку (3) и видим на экране сгенерированную сетку (4) объемного элемента.

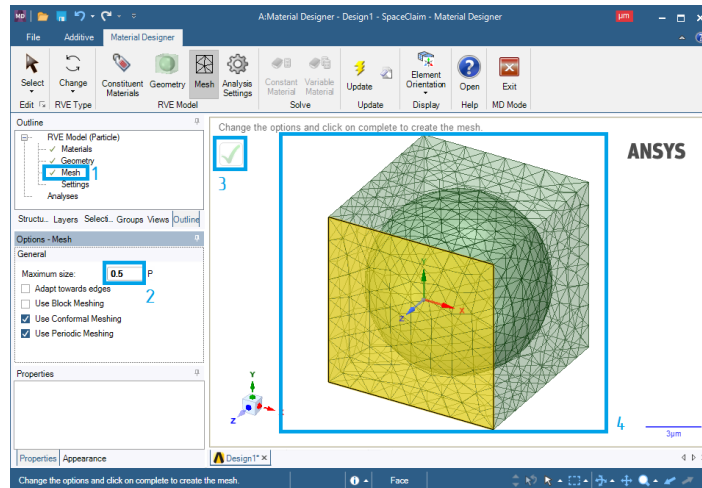


Рис. 10. Создание сетки объемного элемента модифицированной микроструктуры

8. Нажимаем ЛКМ на **Settings** (1). На панели слева (2) можно выставить интересные настройки анализа объемного элемента модифицированной микроструктуры (рис. 11), но в нашем случае, они остаются без изменения. Нажимаем галочку (3) и видим системное окно, предупреждающее о результатах проведенного анализа (4).

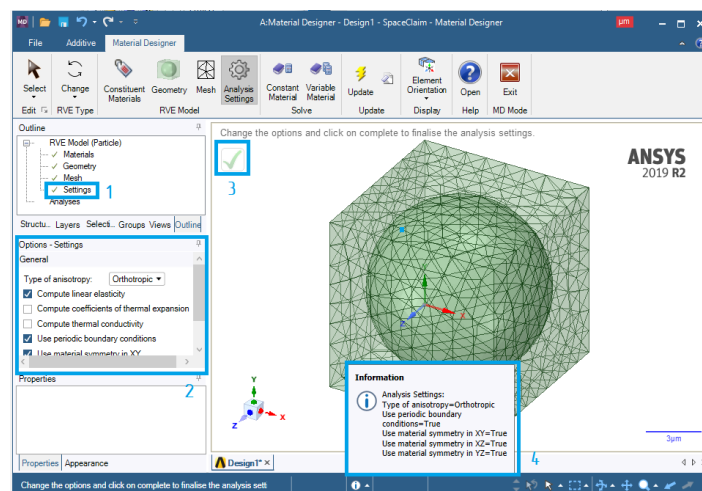


Рис. 11. Выбор характеристик частицы

9. Теперь осталось присвоить название материала, который будет состоять из созданного объемного элемента модифицированной микроструктуры (рис. 12). Для этого нажимаем правую кнопку мыши (ПКМ) на *Analyses* (1) – *Constant Material* (2), вводим название материала (3) и нажимаем галочку (4). Закрываем окно *Material Designer* (5).

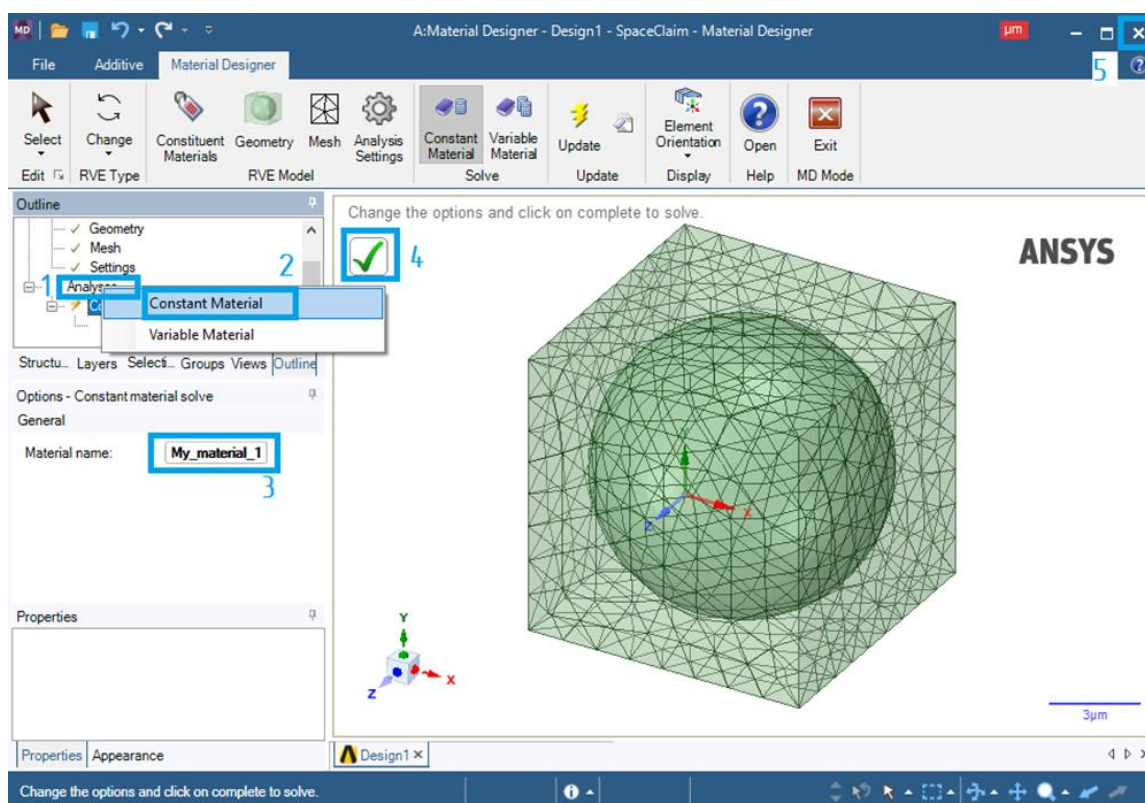


Рис. 12. Создание сетки объемного элемента модифицированной микроструктуры

10. Создадим связь между модулем *Material Designer* и *ACP (Pre)* для присвоения созданного нами композитного материала к анализируемой геометрии (рис. 13).

10.1. В окне *ANSYS Workbench* нажимаем ПКМ на *Material Designer* (1) и выбираем *Update* ⚡ *Update* для обновления проекта композитного материала.

10.2. Зажимаем ЛКМ *Material Designer* (1) и перетаскиваем его к *Engineering Data* (2).

10.3. Нажимаем ПКМ на *Engineering Data* (2) и жмем *Update*.

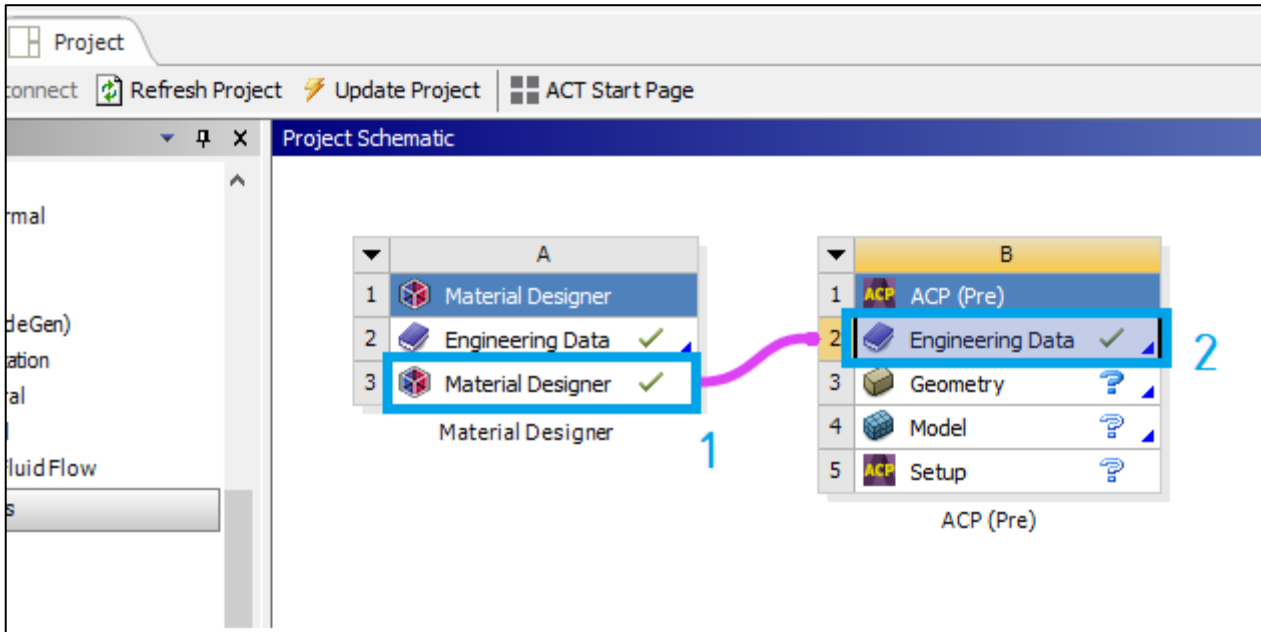



Рис. 13. Создание связи

11. Создадим геометрию, к которой будет присвоен созданный нами композитный материал.

11.1. Нажимаем дважды ЛКМ на **Geometry**  **Geometry** , после чего откроется окно, как показано на рис. 14.

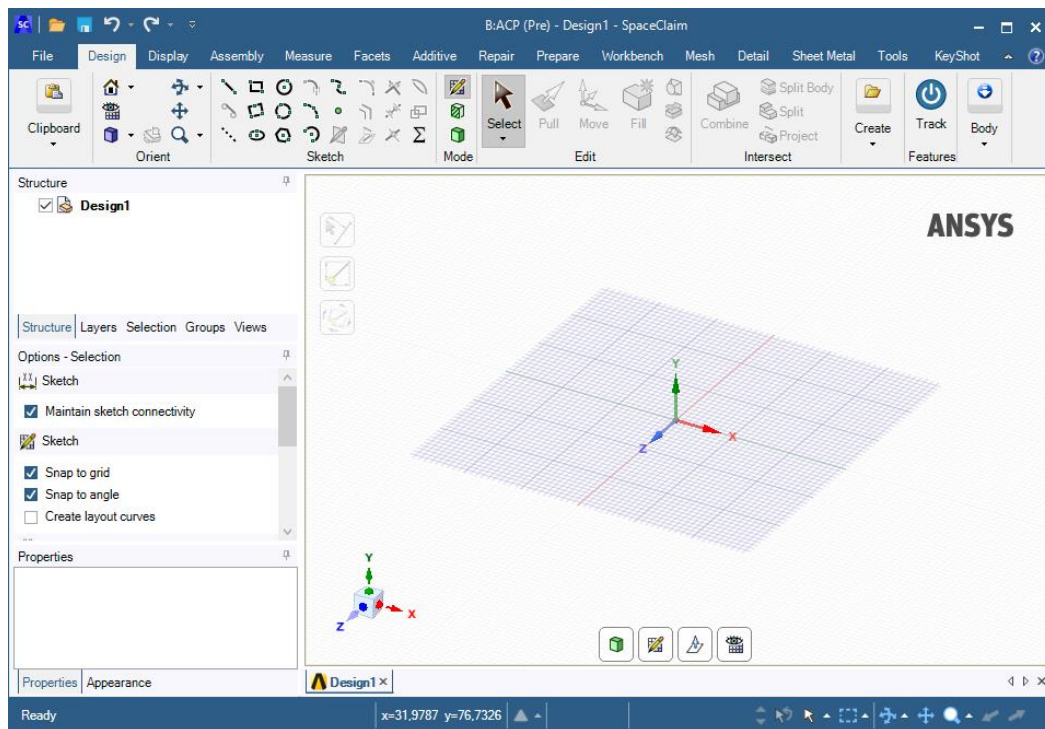


Рис. 14. Окно редактора геометрии

11.2. Нажимаем на иконку выбора вида (1) и выбираем вид сверху (2), после чего строим эскиз (3) согласно своему варианту (рис. 15). Для построения используется панель инструментов сверху (4) (принцип работы практически идентичен работе в *SolidWorks*). Выходим из редактора эскиза (5).

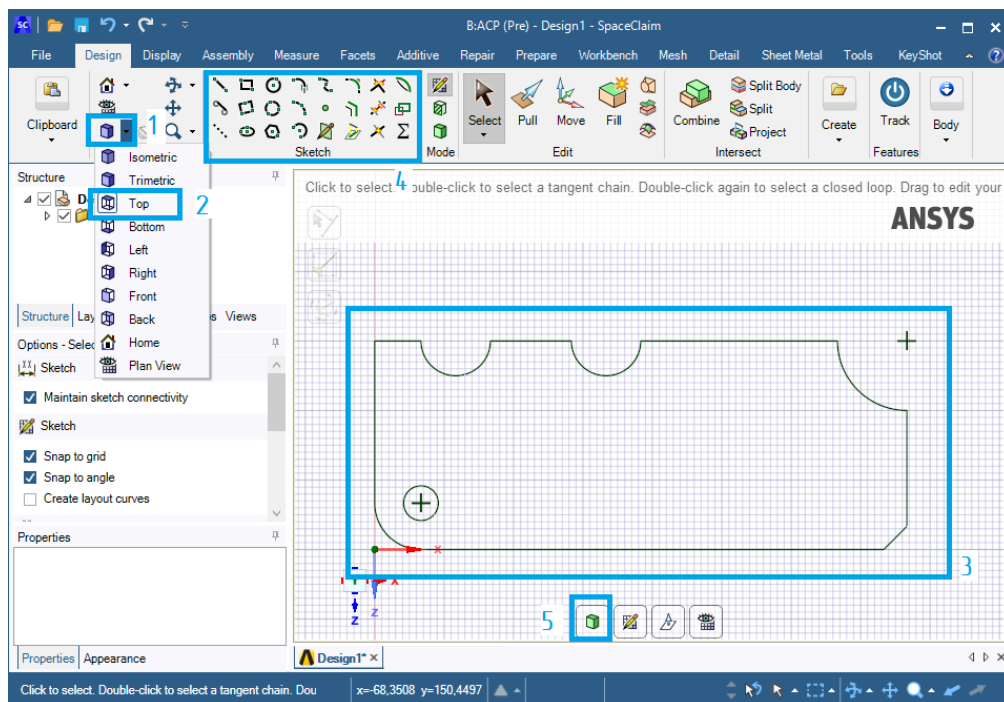





Рис. 15. Создание эскиза

*Примечание:* для построения эскиза можно ограничиться следующими инструментами:

**Линия**  – создает прямую линию по заданному размеру. Чтобы изменить размер, достаточно ввести его сразу или позже нажать ЛКМ и ввести необходимое значение в появившемся окне.

**Прямоугольник**  – создает прямоугольник по заданным размерам.

**Окружность**  – создает окружность по заданному размеру.

**Скругление/фаска**  – создает скругление или фаску по заданному размеру. Чтобы переключиться со скруглений на фаски, необходимо выбрать инструмент **Скругление/фаска** и поставить галочку напротив **Chamfer mode**  Chamfer mode .

**Обрезать**  – обрезает указанные линии.

11.3. Для того чтобы удалить лишние поверхности, заполняющие отверстия (рис. 16), необходимо нажать на них ПКМ и выбрать **Delete**

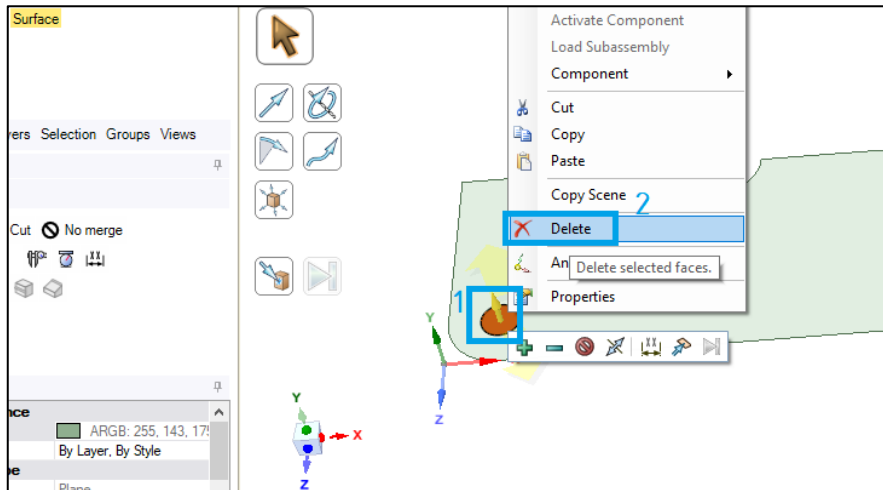


Рис. 16. Удаление лишних поверхностей

11.4. Готовая поверхность представлена на рис. 17.

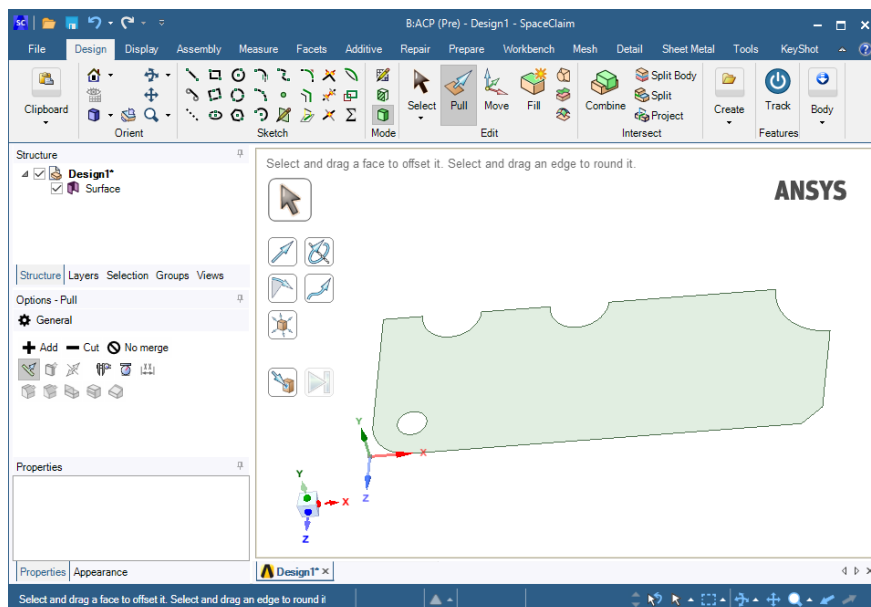



Рис. 17. Готовая поверхность

11.5. Закрываем окно создания геометрии.

*Примечание:* геометрия может быть создана в **SolidWorks** с расширением «.x\_t» и импортирована в **ANSYS Workbench** в разделе **Geometry**.



12. В окне *ANSYS Workbench* дважды нажимаем ЛКМ на Model  Model для вызова следующего рабочего окна (рис. 18). В этом окне будет необходимо присвоить композитный материал к созданной поверхности и задать её толщину.

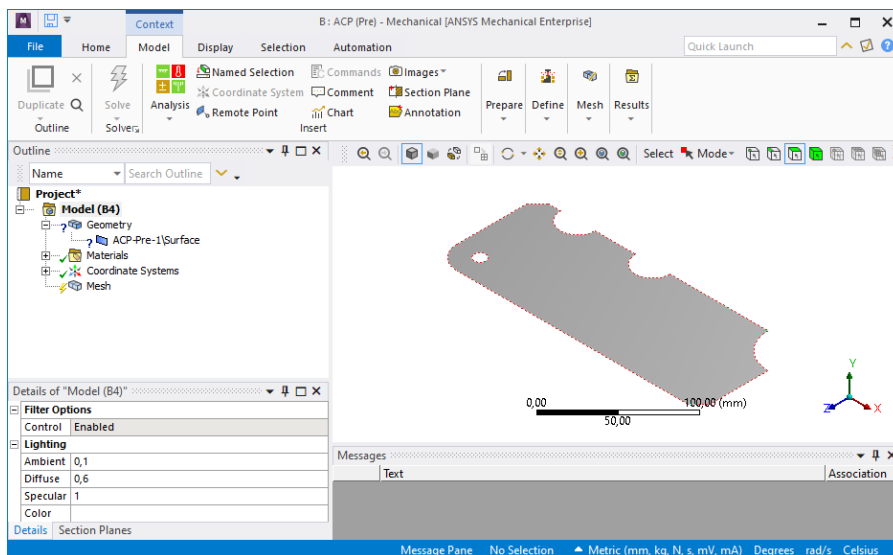



Рис. 18. Окно Model

13. Выделяем *ACP-Pre-1\Surface*  *ACP-Pre-1\Surface* (1) и в появившемся слева окне задаем толщину оболочки (2), равную 1 мм, и в строке выбора материала (3) выбираем созданный нами композитный материал (4) (рис. 19).

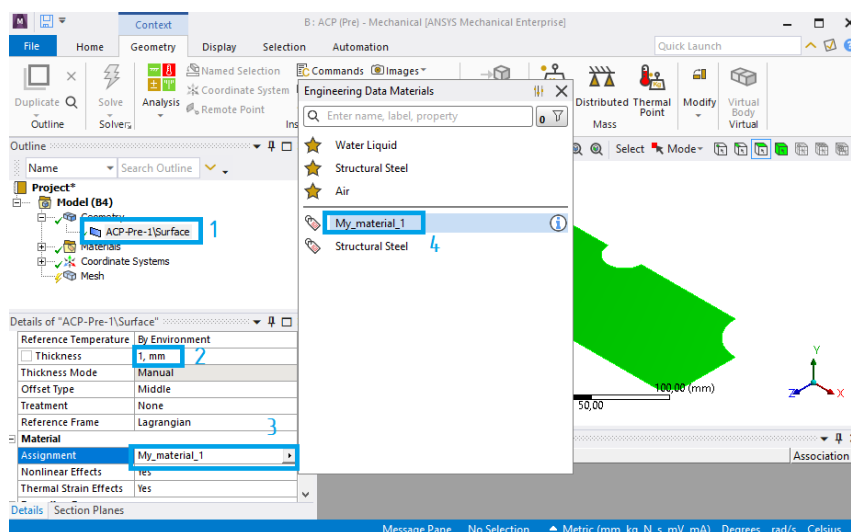



Рис. 19. Присвоение созданного материала

14. Окно *Model* можно закрыть.

15. Приступим к выполнению второй половины задания: присвоить второй вид объемного элемента, согласно варианту, к уже созданной поверхности. Для этого необходимо продублировать блок *ACP (Pre)*. Нажимаем ЛКМ на стрелочку в верхнем левом углу и выбираем *Duplicate*  . На всплывающем окне нажимаем No, в противном случае оставшаяся от *Material Designer* связь придется удалить вручную.

16. Добавляем еще один блок *Material Designer* и повторяем пункт 2.

17. Выбираем второй вариант объемного элемента модифицированной микроструктуры согласно варианту и повторяем пункты 5–9.

18. Создаем связь между второй парой блоков. Для этого повторяем пункт 10.

19. Так как блок *ACP (Pre)* был продублирован с готовой геометрией, то в её создании нет необходимости, и мы можем сразу перейти в раздел *Model* (в появившемся окне нажимаем *Yes*, для того чтобы обновить данные по материалу).

20. Присваиваем композитный материал с новым объемным элементом модифицированной микроструктуры к геометрии и задаем толщину поверхности. Для этого повторяем пункт 13. После чего окно *Model* можно закрыть.

21. Для сохранения проекта возвращаемся на окно *ANSYS Workbench* и сохраняем проект в папку, ранее созданную студентом (название папки и проекта должны быть на английском языке). Для этого нажимаем *File – Save As... – Сохранить*. Для того чтобы проект можно было копировать без опасений сбить прописанные пути файлов, необходимо создать его архив. Для этого нажимаем *File – Archive... – Сохранить – Archive*.

## Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы.

3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).
4. Этапы построения (со скриншотами этапов).
5. Результаты работы (финальные скриншоты окон ANSYS Workbench, Material Designer и Geometry).
6. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое ANSYS?
2. Краткая характеристика CAE-систем. Примеры.
3. Какие инструменты есть в блоке Geometry?
4. Для чего нужен Material Designer?
5. Какие виды объемных элементов модифицированной микроструктуры есть в Material Designer?
6. Основные этапы выполнения работы.

## Лабораторная работа № 4

### ПОДГОТОВКА СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ ОБОЛОЧКИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

#### Цель работы

Приобретение и закрепление студентами навыков работы в *ANSYS Workbench – ACP (Pre)* при создании сеточной модели оболочек сложной формы.

#### Описание работы

В блоке *Model*, находящемся в *ACP (Pre)*, необходимо создать сеточную модель для двух геометрий согласно своему варианту (рис. 1–4). Первая геометрия строится в *SolidWorks* согласно размерам своего варианта (таблица), а вторая выдаётся готовой.

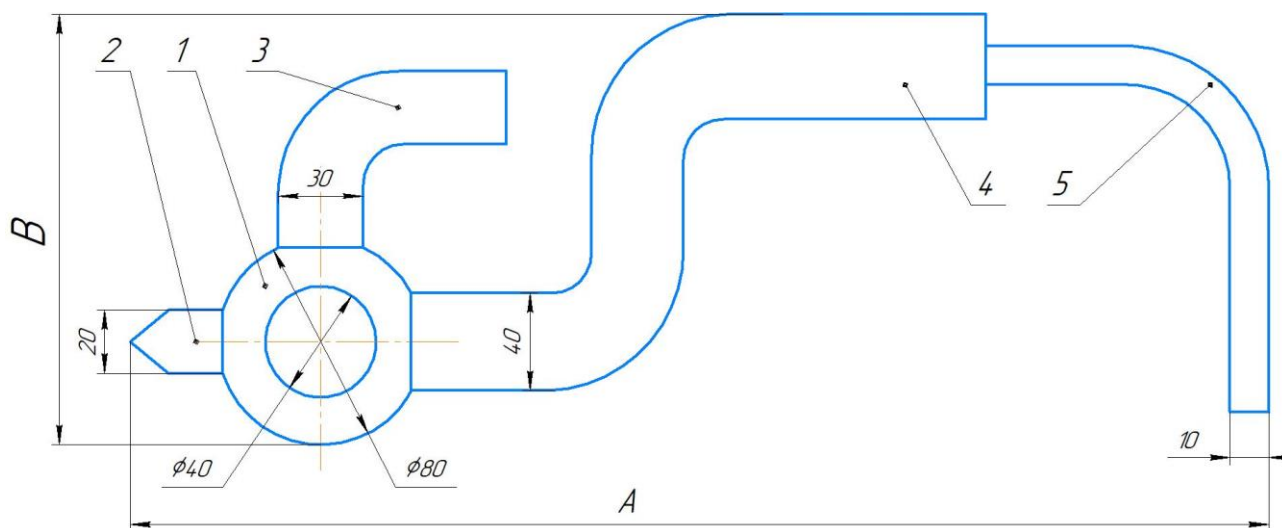


Рис. 1. Схема № 1

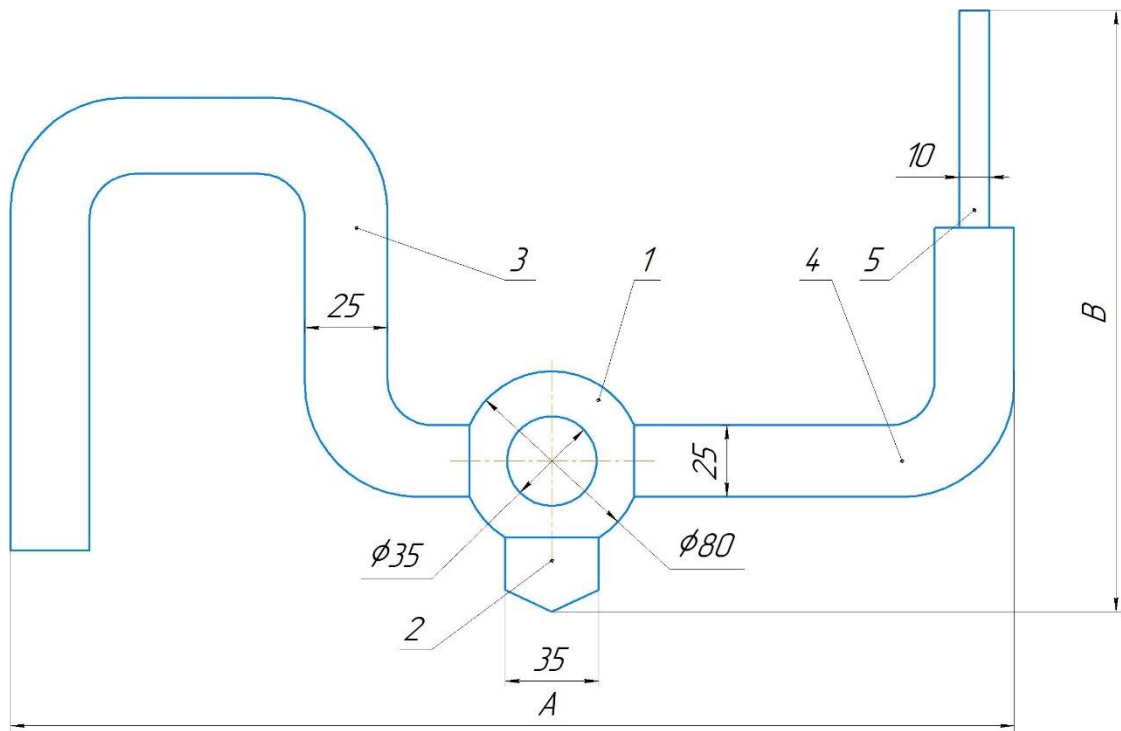


Рис. 2. Схема № 2

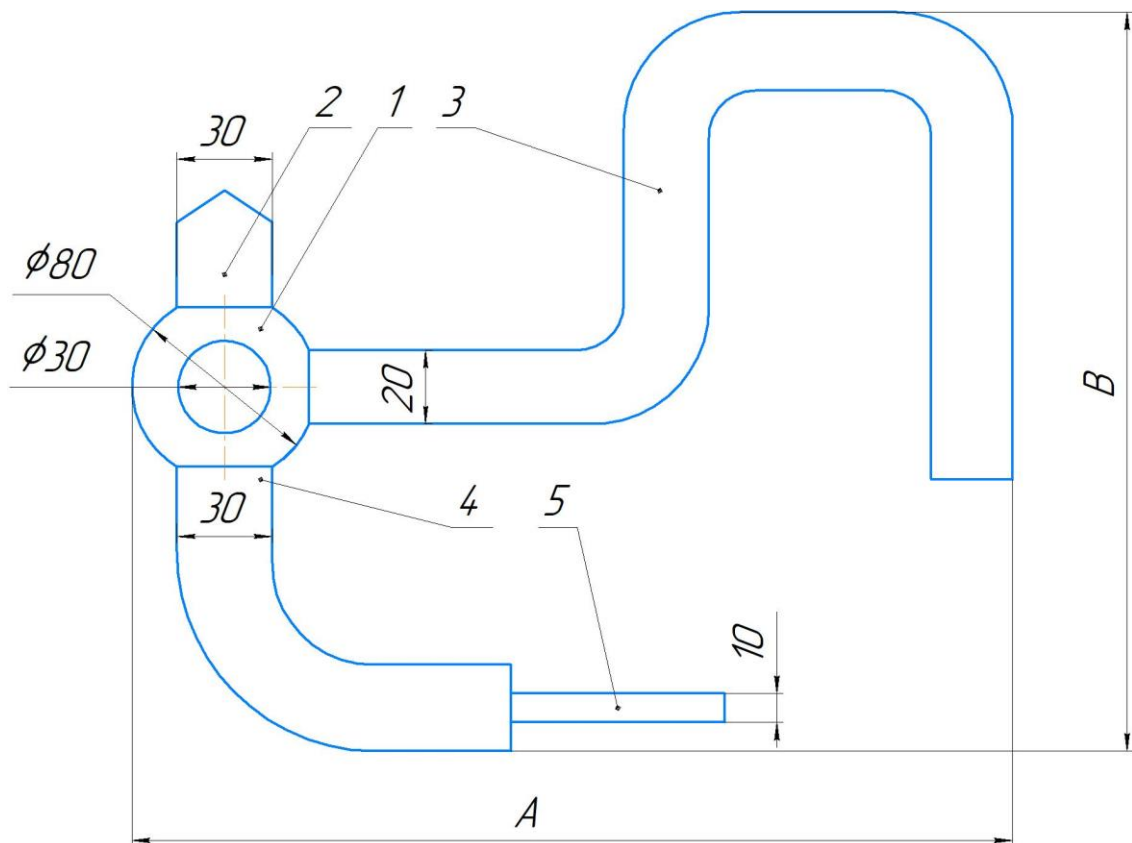


Рис. 3. Схема № 3

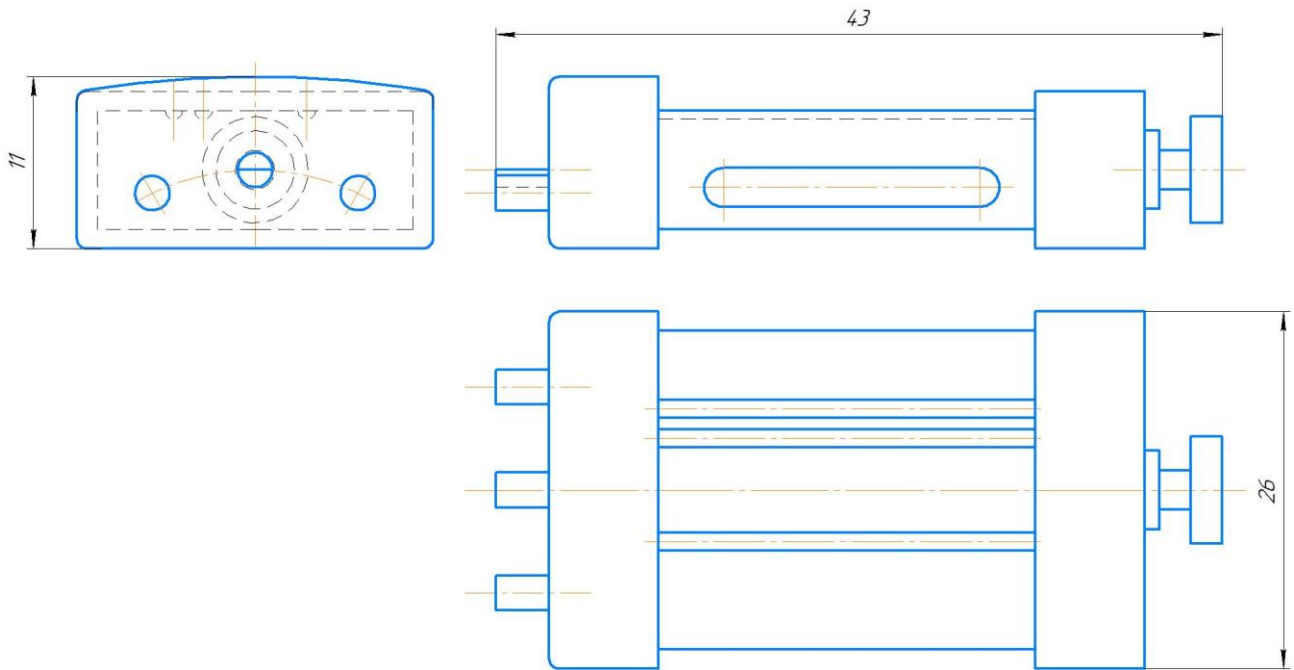


Рис. 4. Схема № 4

Таблица

**Исходные данные**

Вариант	Номер схемы	А, мм	В, мм
1	1, 4	350	170
2	2, 4	310	170
3	3, 4	260	180
4	1, 4	420	205
5	2, 4	210	145
6	3, 4	400	220
7	1, 4	505	245
8	2, 4	320	180
9	3, 4	270	190
10	1, 4	605	295
11	2, 4	210	150
12	3, 4	420	230
13	1, 4	315	150
14	2, 4	400	220
15	3, 4	235	160

Вариант	Номер схемы	А, мм	В, мм
16	1, 4	380	180
17	2, 4	270	190
18	3, 4	360	200
19	1, 4	450	220
20	2, 4	420	230
21	3, 4	240	170
22	1, 4	545	260
23	2, 4	195	130
24	3, 4	545	300
25	1, 4	280	140
26	2, 4	520	290
27	3, 4	210	145
28	1, 4	340	165
29	2, 4	350	240
30	3, 4	330	180

### Порядок выполнения лабораторной работы

1. Создадим геометрию согласно первой схеме своего варианта и её размерам (таблица).

1.1. На виде *Спереди* создаём пять отдельных эскизов, как показано на рис. 5. В точном соблюдении размеров необходимости нет, главное, чтобы совпадали указанные размеры и общие пропорции.

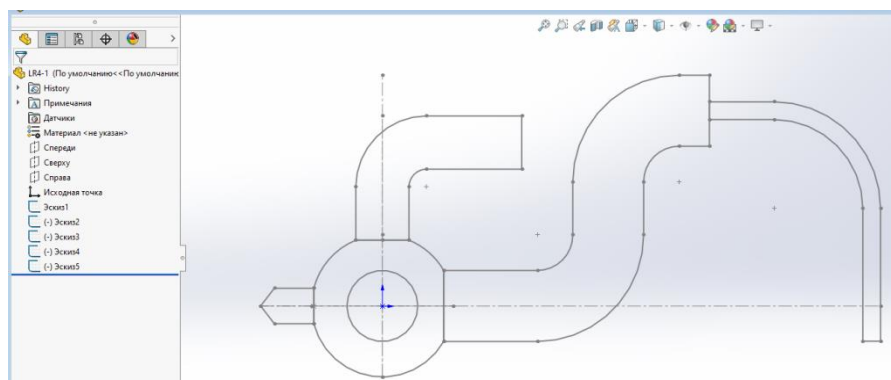


Рис. 5. Построение эскизов

1.2. Используя инструмент *Плоская поверхность* , эскизы преобразуем в поверхности (рис. 6).

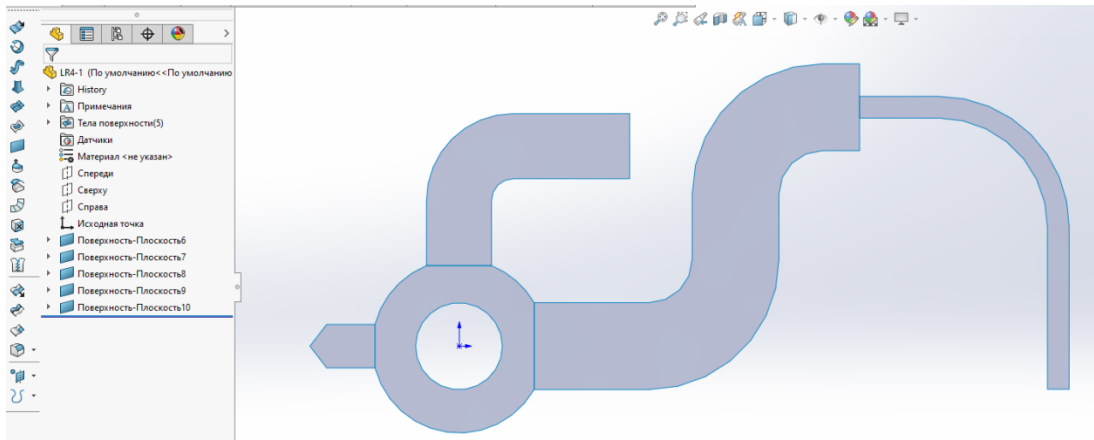


Рис. 6. Получение плоских поверхностей

1.3. Сохраняем проект в родном формате *SolidWorks* и «.x\_t». Второй формат необходим для открытия в *ANSYS Workbench*.

2. Запустим *ANSYS Workbench* и создадим два проекта *ACP (Pre)* (рис. 7).

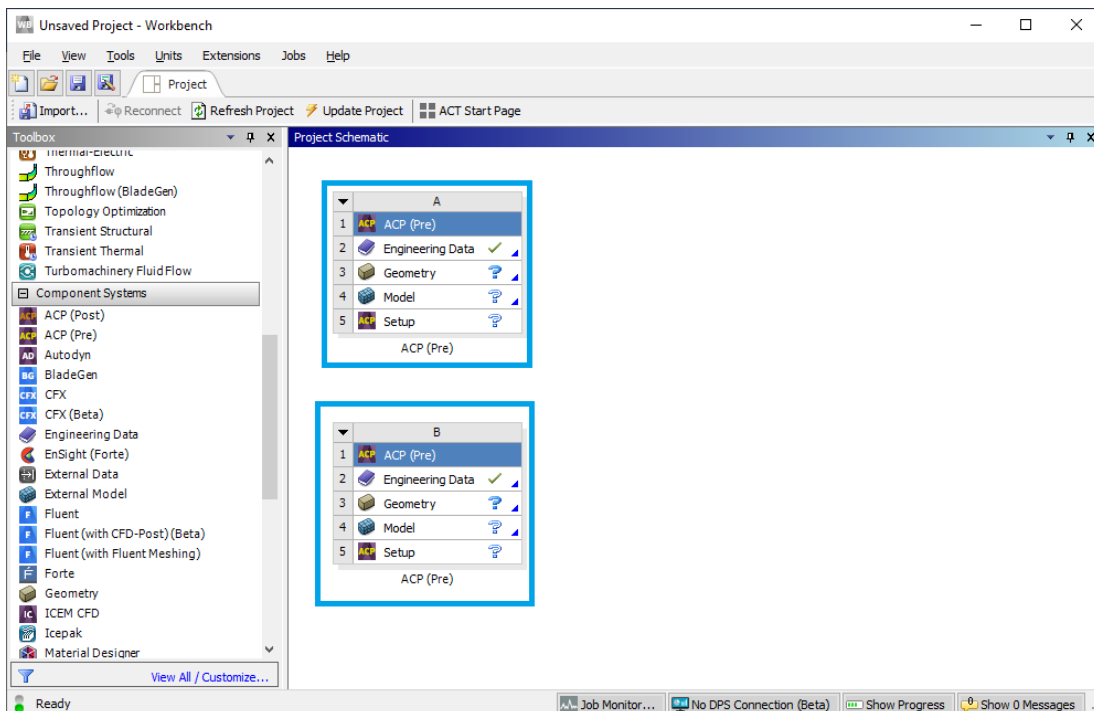


Рис. 7. Добавление ACP (Pre)



3. Импортируем первую геометрию.

3.1. Дважды нажимаем ЛКМ на блок **Geometry** у верхнего проекта **ACP (Pre)**.

3.2. В появившемся окне нажимаем **File – Open**.

3.3. Для того чтобы найти созданную геометрию, переходим в папку с ней и выбираем отображение всех форматов – **All Files (\*.\*)**. Нажимаем на созданную геометрию с расширением «.x\_t» и нажимаем кнопку Открыть. Импортированная геометрия показан на рис. 8.

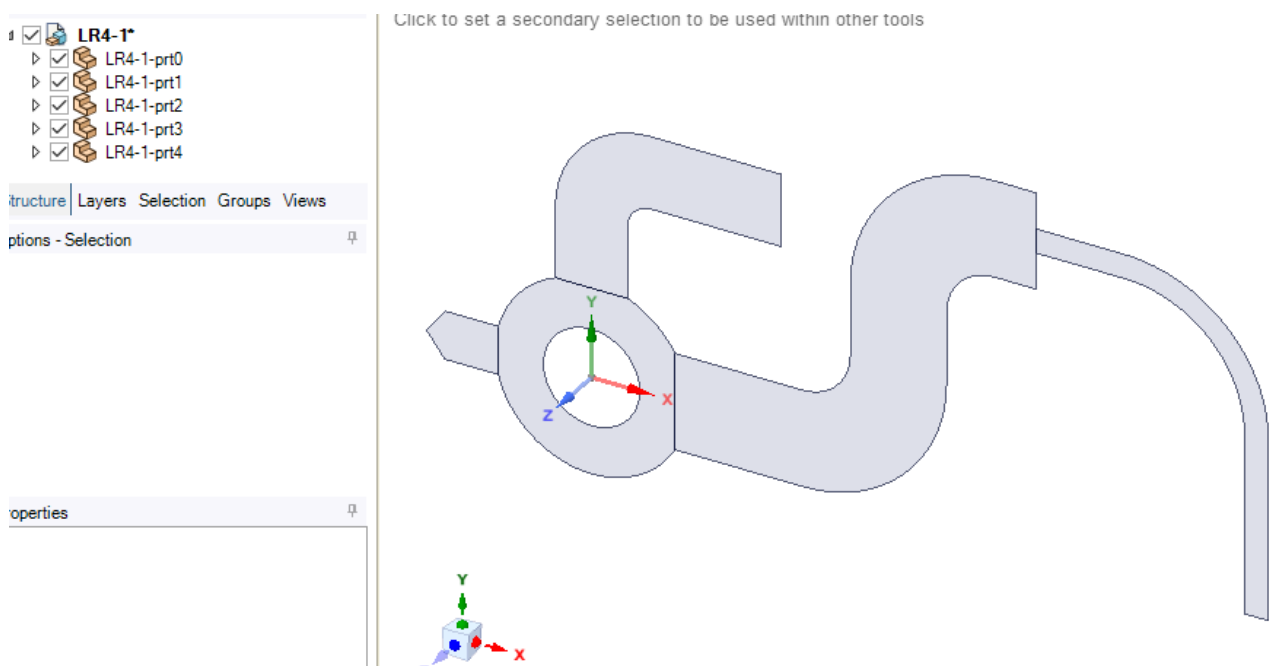


Рис. 8. Импорт геометрии

3.4. После этого окно геометрии можно закрыть.

4. Приступаем к созданию сетки для первой геометрии.

4.1. Дважды нажимаем ЛКМ на блок **Model** у верхнего проекта **ACP (Pre)**.

4.2. В открывшемся окне раскрываем вкладку Geometry (1), выделяем все поверхности (2) и задаём толщину (3) в 1 мм (рис. 9).

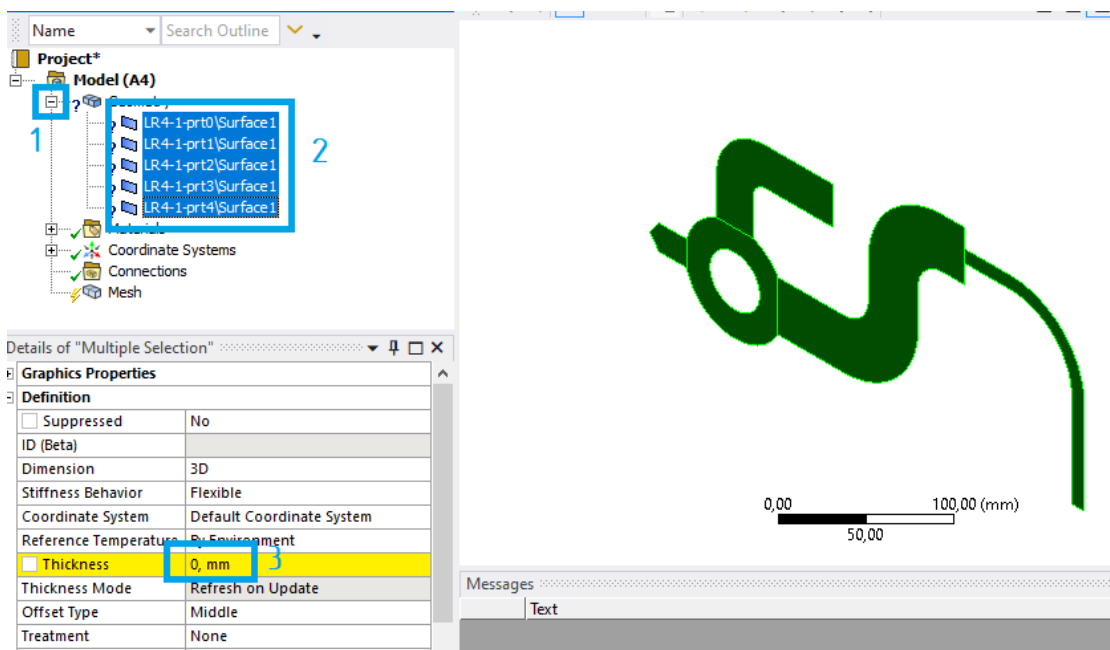
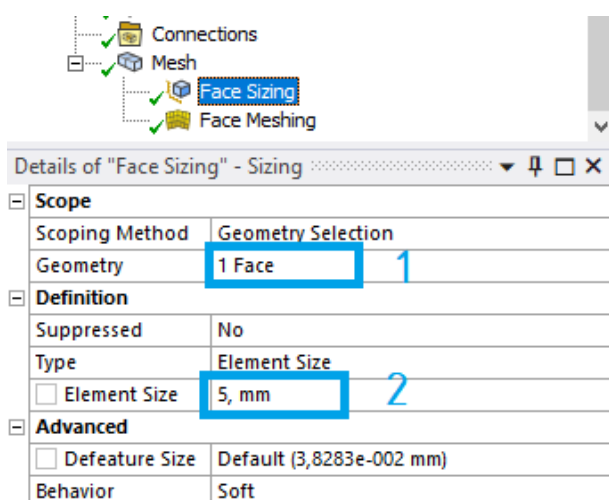


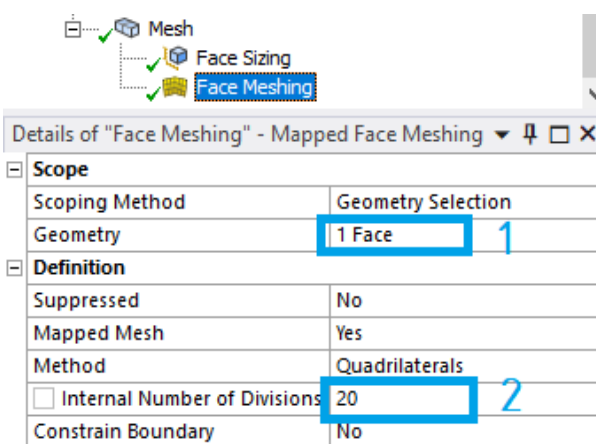
Рис. 9. Задание толщины оболочки

#### 4.3. Задаем настройки сеточной модели для участка № 1:

- жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Sizing**, выделяем участок №1 (1) и задаем величину ячеек (2) 5 мм (рис. 10, а);
- жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Face Meshing**, выделяем участок № 1 (1) и задаем число сегментов, на которые будет разбита область от центра (2), 20 (рис. 10, б).



а



б

Рис. 10. Задание настроек сетки для участка № 1

#### 4.4. Задаем настройки сеточной модели для участка № 2:

- жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Sizing**, выделяем участок № 2 и задаем величину ячеек 1 мм;
- жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Refinement**, выделяем ребра, образующие вершину треугольника на участке № 2 (1) и задаем степень улучшения в данном сегменте (2) 3 (рис. 11);

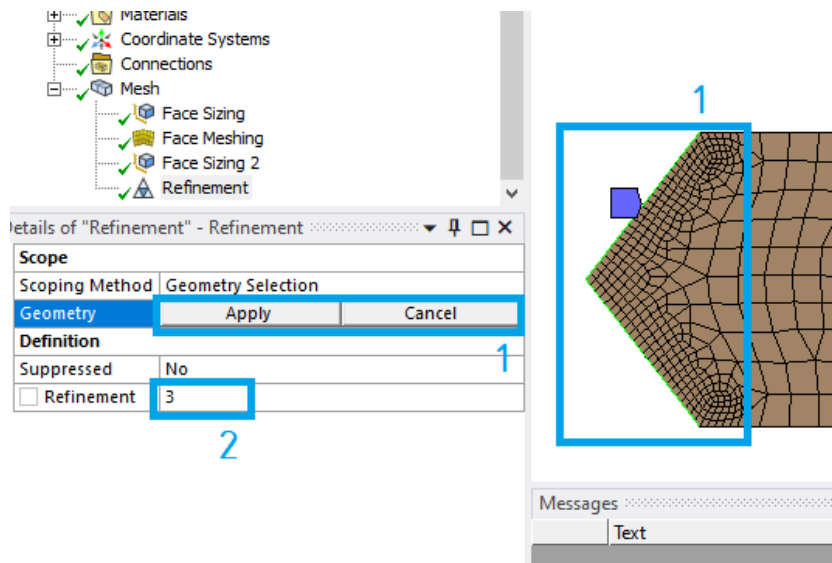


Рис. 11. Задание настроек сетки для участка № 2

- жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Inflation**, указываем участок № 2 (1), выделяем торцевые ребра на участке № 2 (2) и задаем величину дополнительных разбиений ячеек (3) 5 (рис. 12).

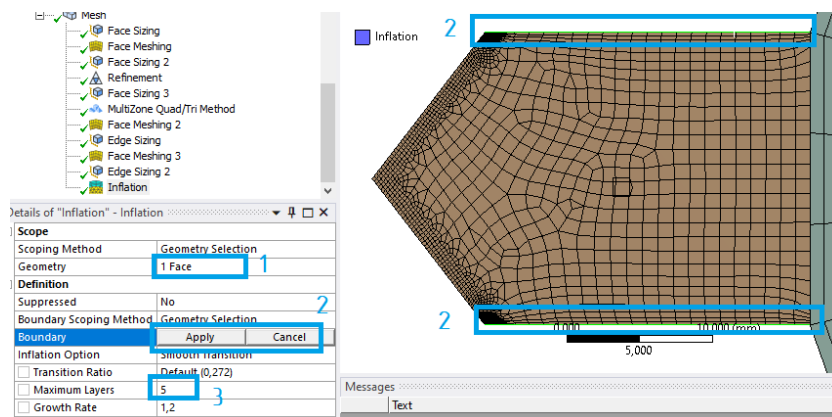


Рис. 12. Задание настроек сетки для участка № 2

#### 4.5. Задаем настройки сеточной модели для участка № 3:

- жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Sizing**, выделяем участок № 3 и задаем величину ячеек 2 мм;
- жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Method**, выделяем участок № 3 (1) и выбираем метод (2) – **Multizone Quad/Tri** (рис. 13).

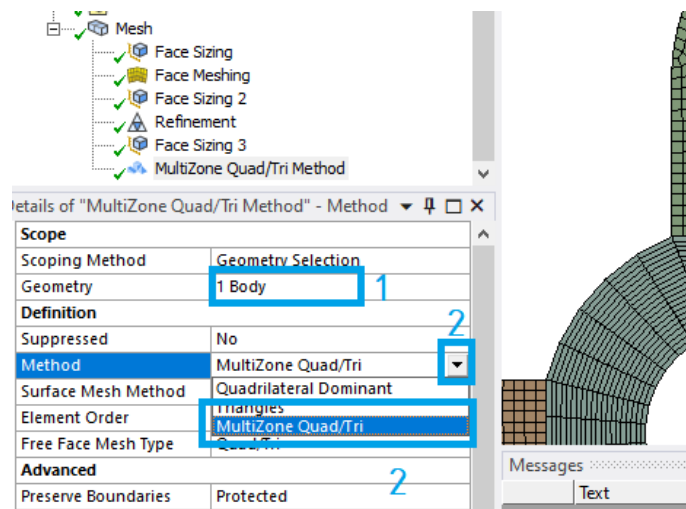


Рис. 13. Задание настроек сетки для участка № 3

#### 4.6. Задаем настройки сеточной модели для участка № 4:

- жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Face Meshing** и выделяем участок № 4;
- жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Sizing**, выделяем длинные ребра участка № 4 (1), меняем тип на **Number of Divisions** (2) и задаем число делений (3) 20 (рис. 14).

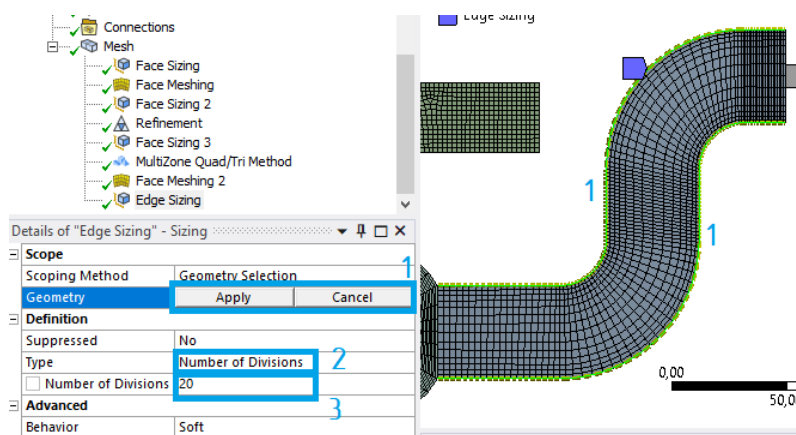


Рис. 14. Задание настроек сетки для участка № 4

4.7. Задаем настройки сеточной модели для участка № 5:

- жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Face Meshing* и выделяем участок № 5;
- жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Sizing*, выделяем длинные ребра участка № 5 (1), меняем тип на *Number of Divisions* (2) и задаем число делений (3) 20 (рис. 15);

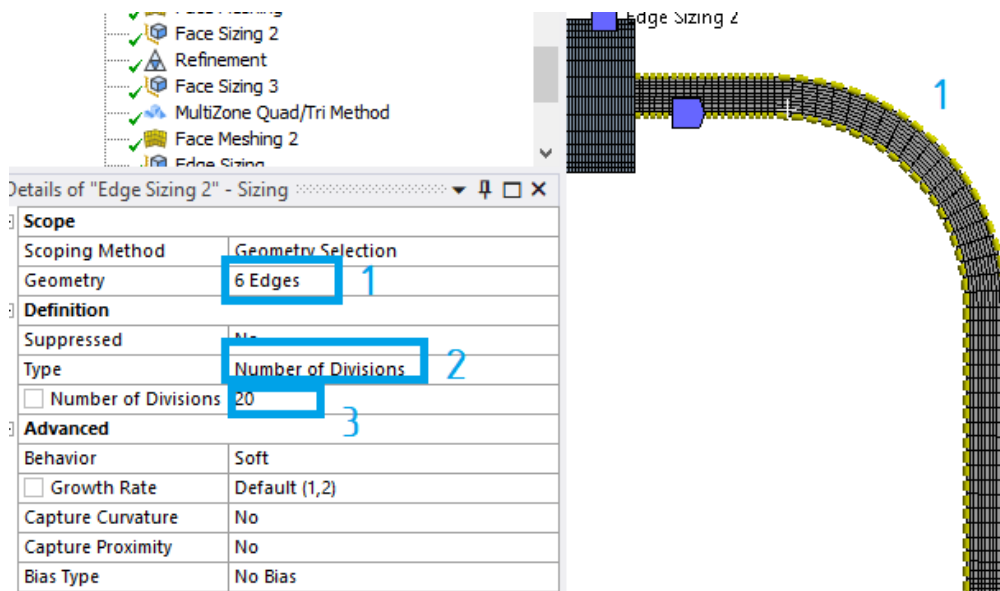


Рис. 15. Задание настроек сетки для участка № 5

- жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Sizing*, выделяем короткие ребра участка № 5, меняем тип на *Number of Divisions* и задаем число делений 10.

4.8. Нажимаем ПКМ на *Mesh* и выбираем *Generate mesh*. Готовая сеточная модель представлена на рис. 16. Закрываем окно блока *Model*.

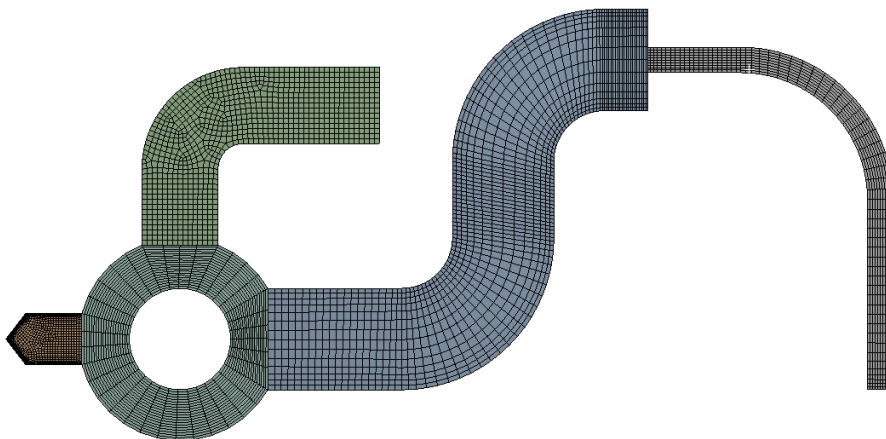


Рис. 16. Генерация сеточной модели

5. Повторяем пункт 3 во втором проекте ACP (Pre) для схемы № 4 (рис. 17). Особенность этой геометрии в том, что она является цельной оболочкой сложной формы, а не как предыдущая геометрия, состоящая из нескольких отдельных участков.

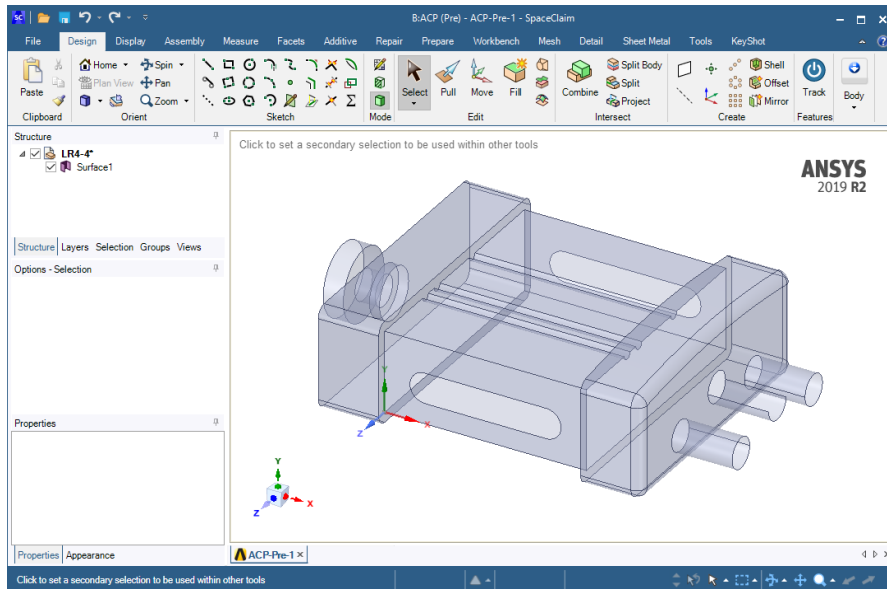


Рис. 17. Импортированная геометрия

6. Приступаем к созданию сетки для второй геометрии.

6.1. Переходим в блок Model и повторяем пункт 4.2, но задаем 0,1 мм.

6.2. Жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Method**, выделяем геометрию (1) и выбираем метод (2) – **Multizone Quad/Tri** (рис. 18).

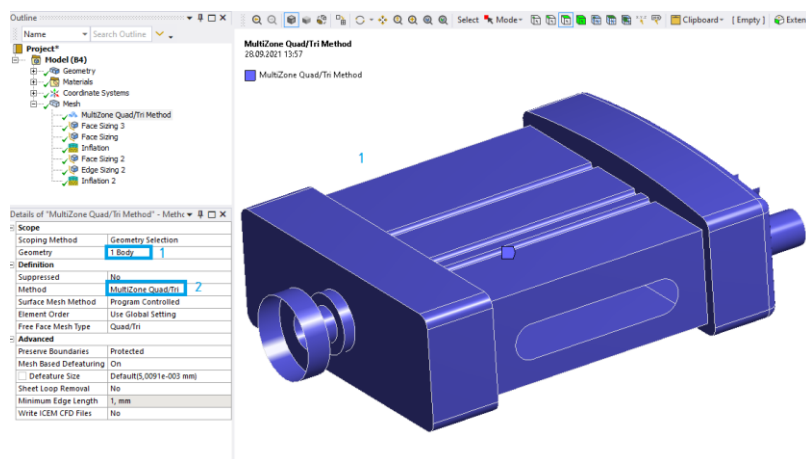


Рис. 18. Задание метод генерации сетки

6.3. Жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Sizing*, выделяем поверхность (1) и задаем величину ячеек (2) 0,3 мм (рис. 19).

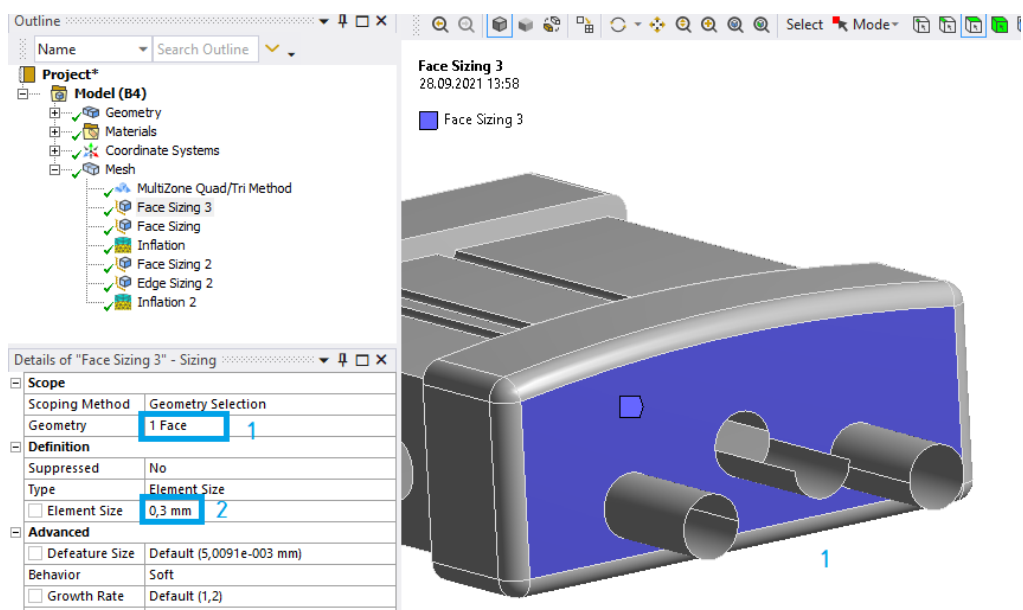


Рис. 19. Задание настроек сетки

6.4. Жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Sizing*, выделяем две боковые поверхности с обеих сторон (1) и задаем величину ячеек (2) 0,4 мм (рис. 20). Иногда данная операция игнорируется программой из-за низкого приоритета, поэтому необходимо заменить значение *Soft* на *Hard* (3).

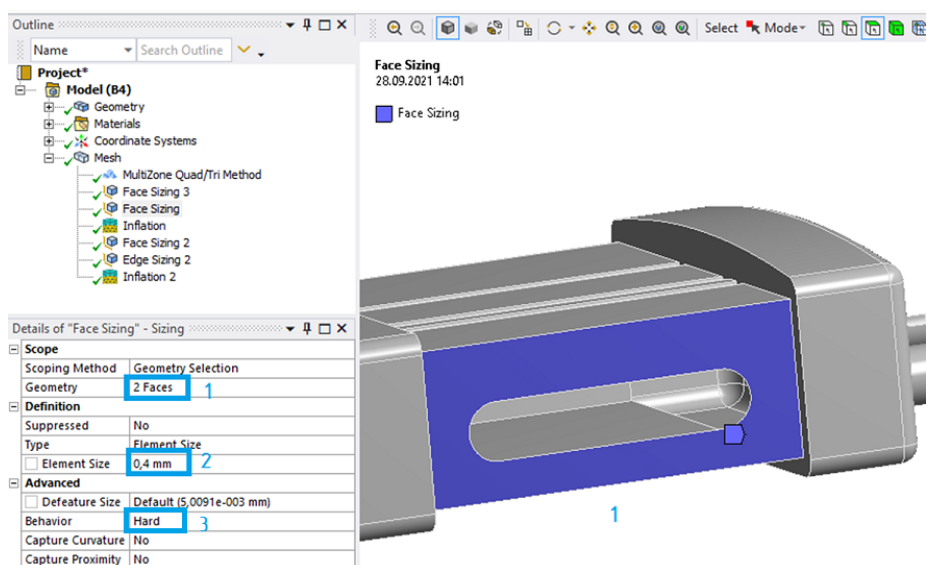


Рис. 20. Задание настроек сетки

6.5. Жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Sizing*, выделяем ряд поверхностей со стороны одного отверстия (1) и задаем величину ячеек (2) 0,5 мм (рис. 21).

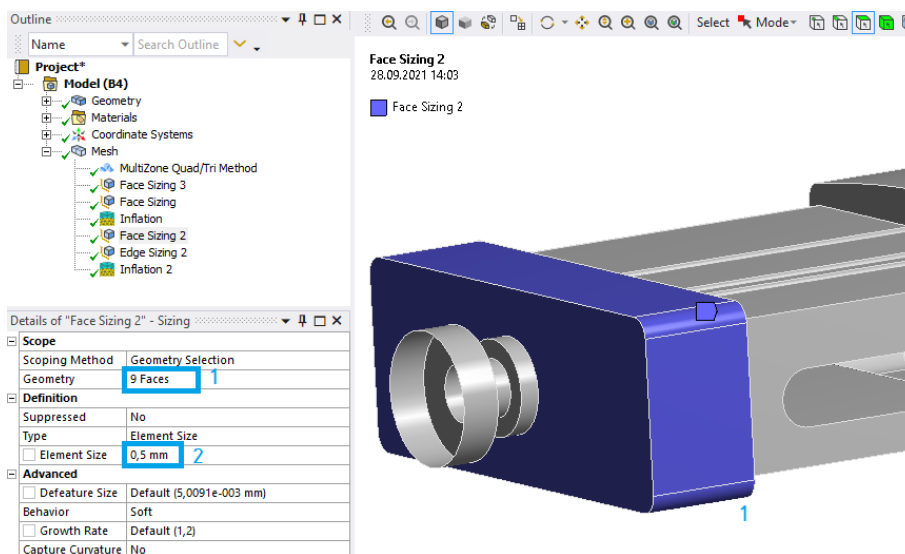


Рис. 21. Задание настроек сетки

6.6. Жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Sizing*, выделяем длинные ребра участка № 4 (1), меняем тип на *Number of Divisions* (2) и задаем число делений (3) 40 (рис. 22). Иногда данная операция игнорируется программой из-за низкого приоритета, поэтому необходимо заменить значение *Soft* на *Hard* (3).

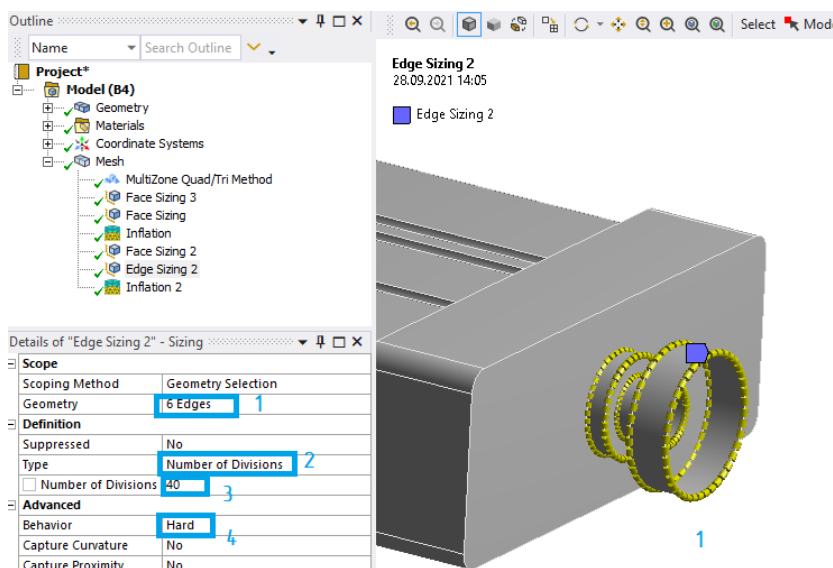


Рис. 22. Задание настроек сетки



6.7. Жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Inflation*, указываем всю геометрию (1), выделяем ребра на обеих боковых сторонах (2) и задаем величину дополнительных разбиений ячеек (3) 4 (рис. 23).

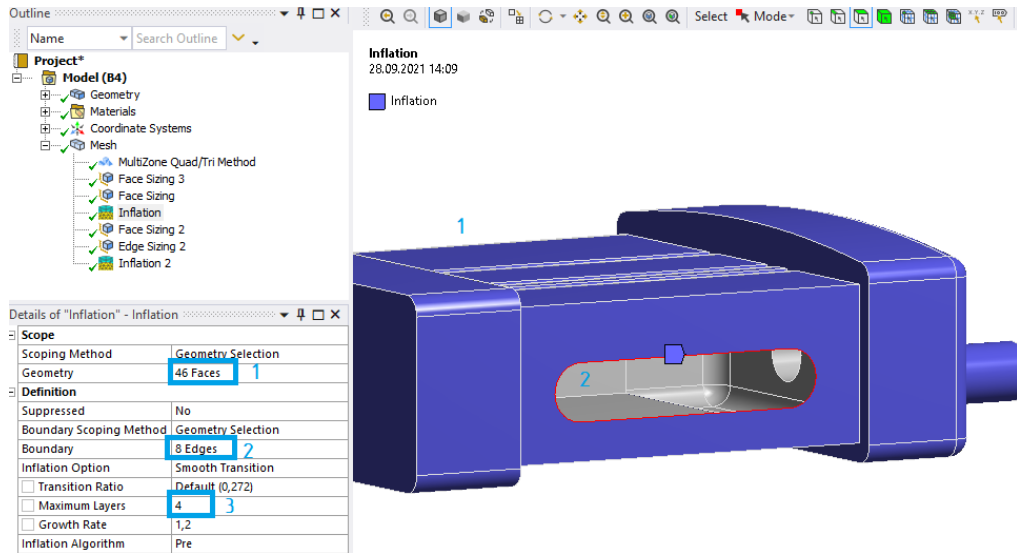


Рис. 23. Задание настроек сетки

6.8. Жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Inflation*, указываем всю геометрию (1), выделяем ребра четырех трубок (2) и задаем величину дополнительных разбиений ячеек (3) 5 (рис. 24).

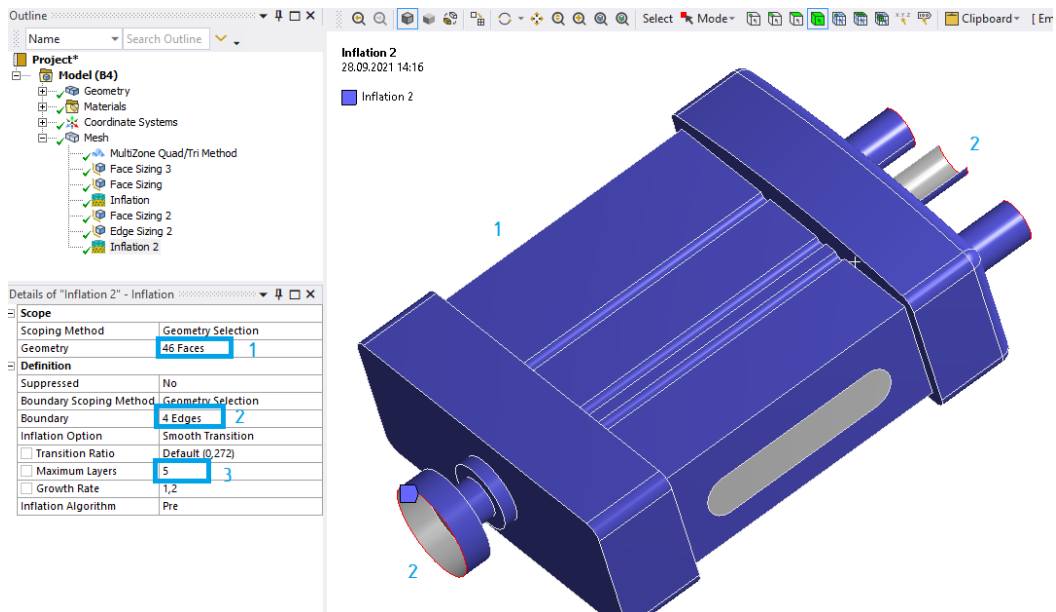


Рис. 24. Задание настроек сетки

6.9. Нажимаем ПКМ на *Mesh* и выбираем *Generate mesh*. Готовая сеточная модель представлена на рис. 25. Закрываем окно блока *Model*.

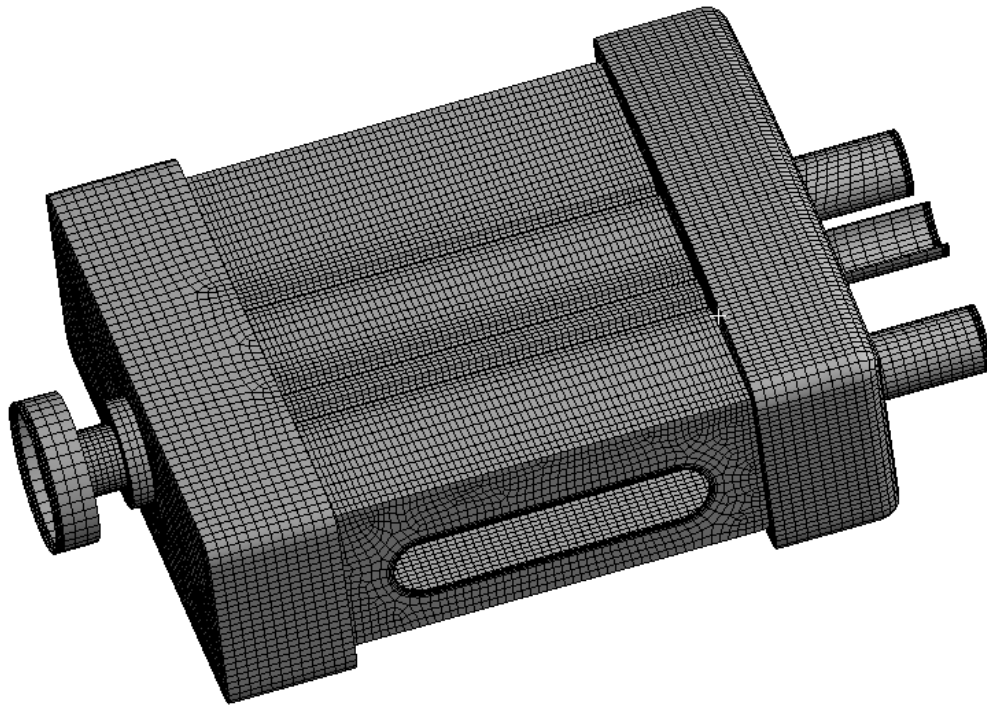


Рис. 25. Генерация сеточной модели

7. Для сохранения проекта возвращаемся на окно *ANSYS Workbench* и сохраняем проект в папку, ранее созданную студентом (названия папки и проекта должны быть на английском языке). Для этого нажимаем *File – Save As... – Сохранить*. Для того чтобы проект можно было копировать без опасений сбить прописанные пути файлов, необходимо создать его архив. Для этого нажимаем *File – Archive... – Сохранить – Archive*.

### Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).
4. Этапы построения (со скриншотами этапов).

5. Результаты работы (финальные скриншоты окон ANSYS Workbench, Geometry и Model).
6. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое сеточная модель?
2. Краткая характеристика CAE-систем. Примеры.
3. Как импортировать геометрию в проект ANSYS?
4. В каком блоке происходит настройка сеточной модели?
5. Основные инструменты для создания сетки в ANSYS.
6. Основные этапы выполнения работы.

# Лабораторная работа № 5

## СОЗДАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Цель работы

Приобретение и закрепление студентами навыков работы в *ANSYS Workbench* и *ANSYS Workbench – ACP (Pre)* при создании многослойной оболочки из композитных материалов.

### Описание работы

Необходимо выбрать готовую схему оболочки, состоящую из двух сегментов (рис. 1–3) и настроить их свойства согласно варианту таблицы. Каждый сегмент имеет два слоя композитного материала с противоположным направлением волокон.

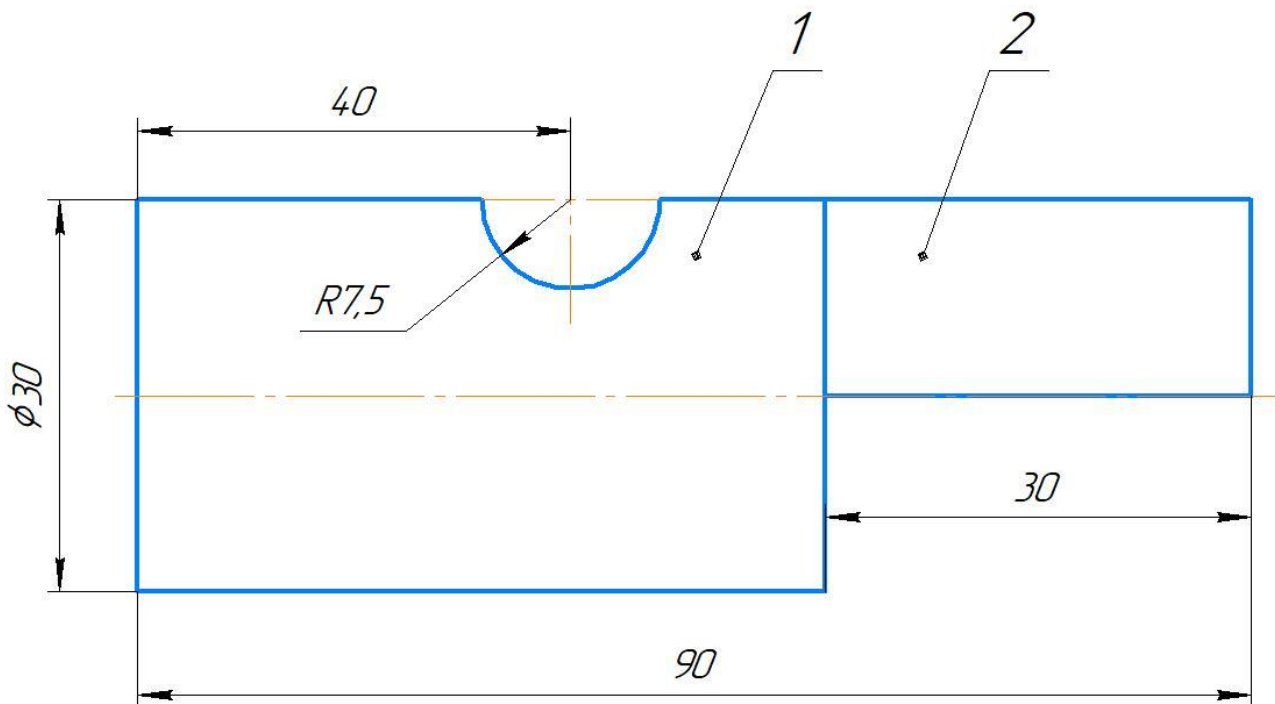


Рис. 1. Схема № 1

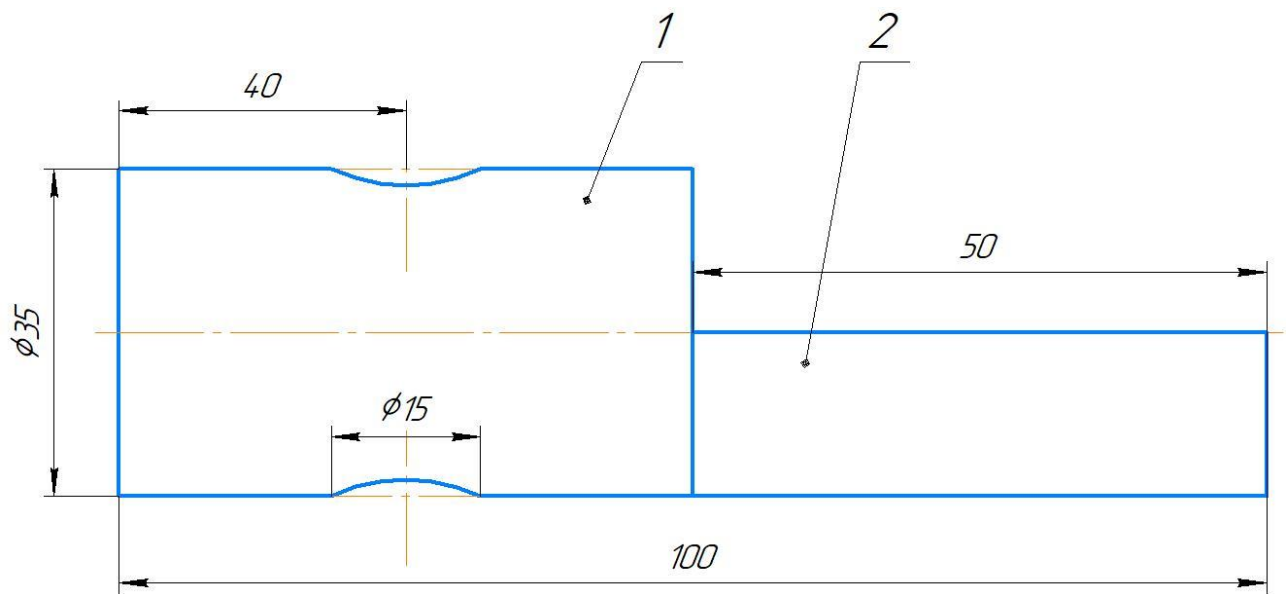


Рис. 2. Схема № 2

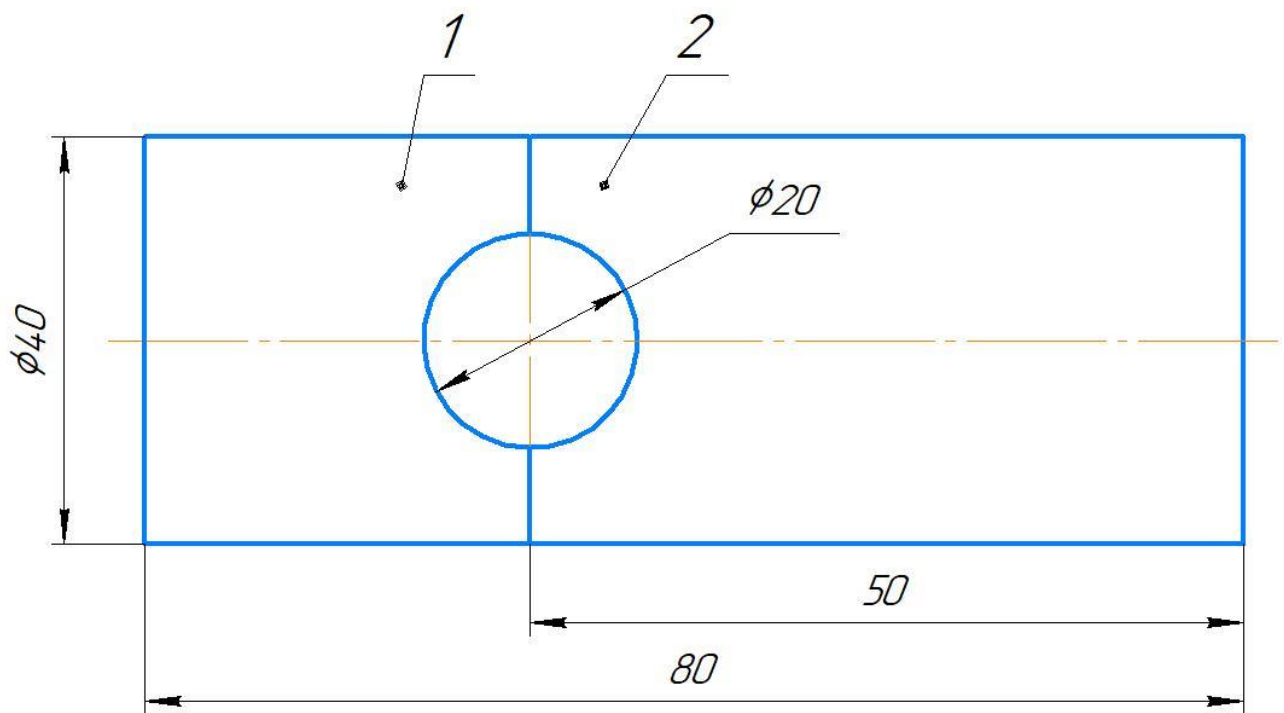


Рис. 3. Схема № 3

## Исходные данные

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента № 1 (1) / № 2 (2)
1	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Регулярная однонаправленная 2) Сферическая
2	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Сферическая 2) Плетеная
3	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Плетеная 2) Регулярная однонаправленная
4	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Сферическая 2) Регулярная однонаправленная
5	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Регулярная однонаправленная 2) Плетеная
6	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Сферическая 2) Регулярная однонаправленная
7	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Плетеная 2) Регулярная однонаправленная
8	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Сферическая 2) Плетеная
9	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Регулярная однонаправленная 2) Сферическая
10	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Сферическая 2) Регулярная однонаправленная
11	2	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Плетеная 2) Регулярная однонаправленная
12	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Сферическая 2) Плетеная

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента № 1 (1) / № 2 (2)
13	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Регулярная однонаправленная 2) Сферическая
14	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Сферическая 2) Регулярная однонаправленная
15	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Плетеная 2) Сферическая
16	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Сферическая 2) Регулярная однонаправленная
17	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Регулярная однонаправленная 2) Плетеная
18	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Сферическая 2) Плетеная
19	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Плетеная 2) Сферическая
20	2	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Сферическая 2) Регулярная однонаправленная
21	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Регулярная однонаправленная 2) Сферическая
22	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Сферическая 2) Плетеная
23	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Плетеная 2) Регулярная однонаправленная
24	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Сферическая 2) Плетеная
25	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Регулярная однонаправленная 2) Сферическая

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента № 1 (1) / № 2 (2)
26	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Сферическая 2) Плетеная
27	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Плетеная 2) Сферическая
28	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Сферическая 2) Плетеная
29	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Регулярная однонаправленная 2) Сферическая
30	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	1) Сферическая 2) Плетеная

### Порядок выполнения лабораторной работы

1. Запустим *ANSYS Workbench* и добавляем несколько модулей: два последовательных *Material Designer*, *ACP (Pre)* и *Static Structural* (рис. 4).

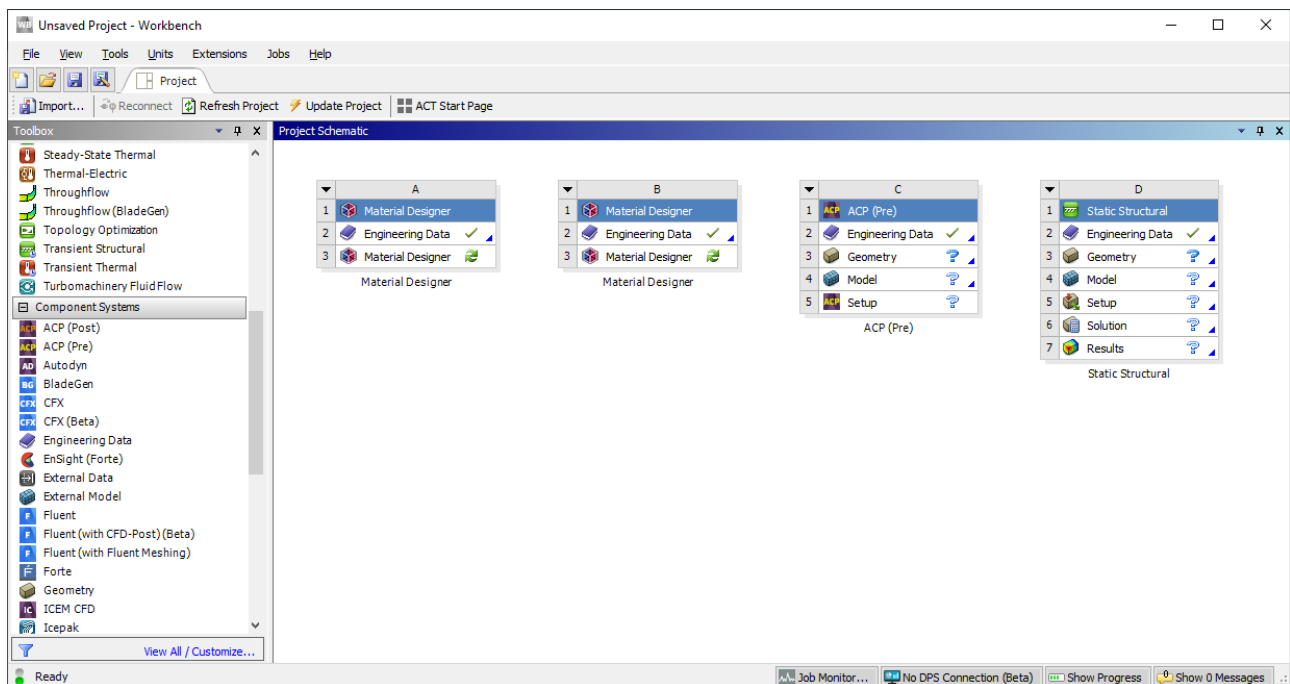
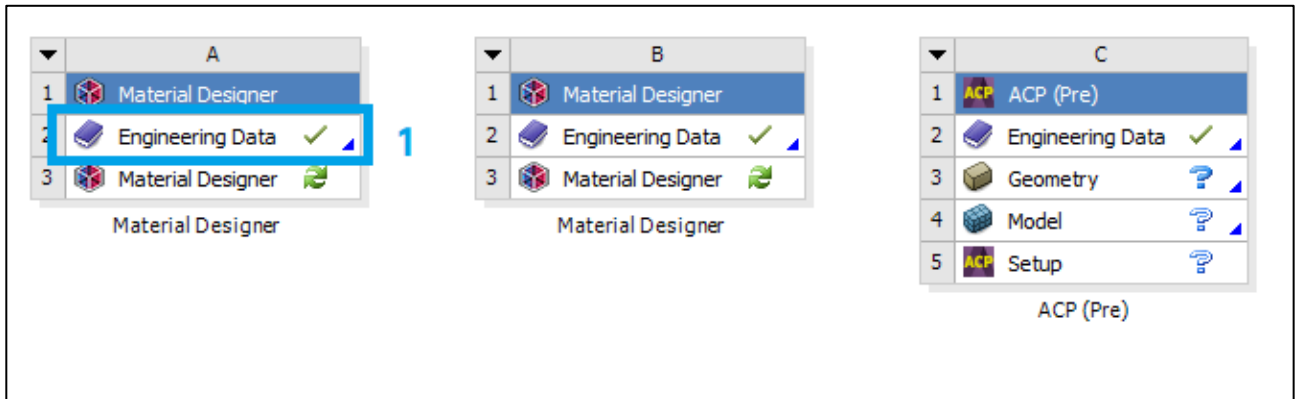


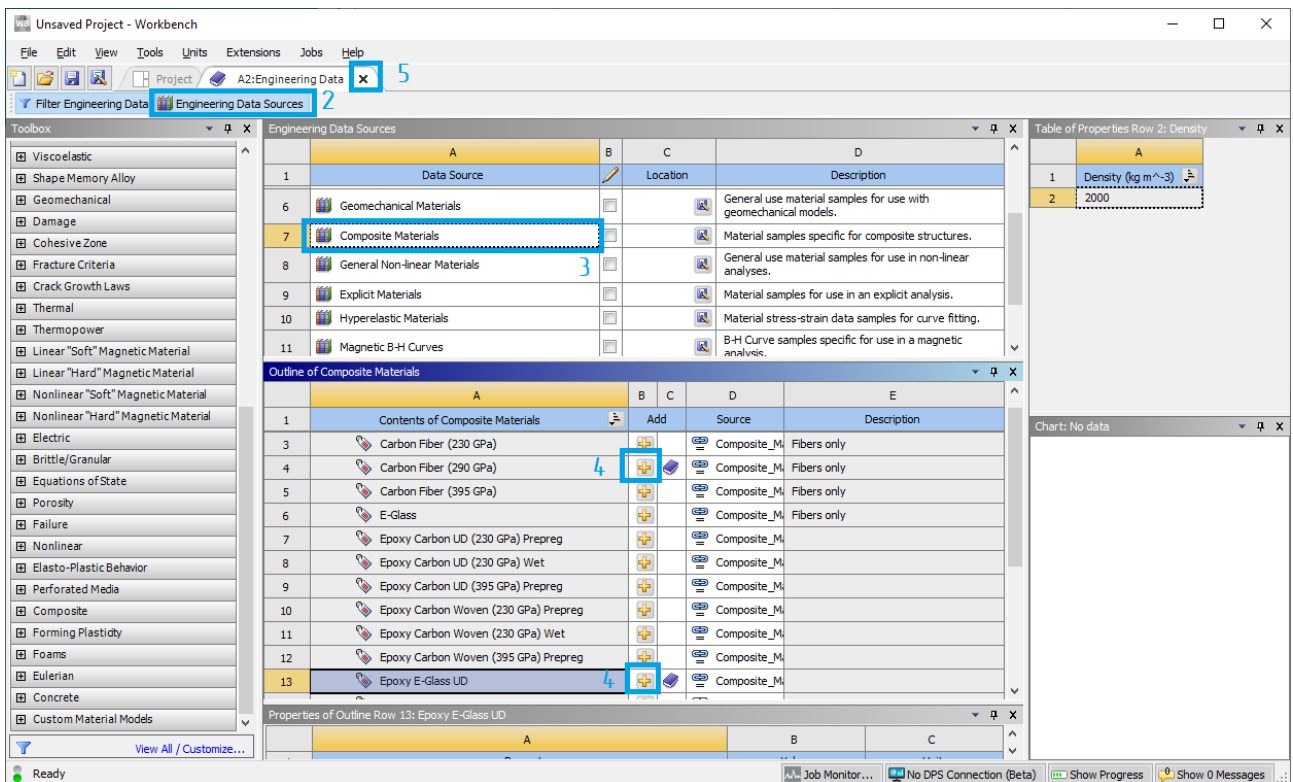
Рис. 4. Добавление модулей



2. Дважды нажимаем ЛКМ на блок *Engineering Data* (1), после чего жмем на *Engineering Data Sources* (2). Выбираем библиотеку *Composite Materials* (3) и подключаем материалы, согласно своему варианту (4). После этого можно закрыть *Engineering Data* (5) (рис. 5).



a



б

Рис. 5. Выбор материала волокна и наполнителя

3. В первом модуле дважды нажимаем ЛКМ на *Material Designer*, после чего откроется окно, представленное на рис. 6.

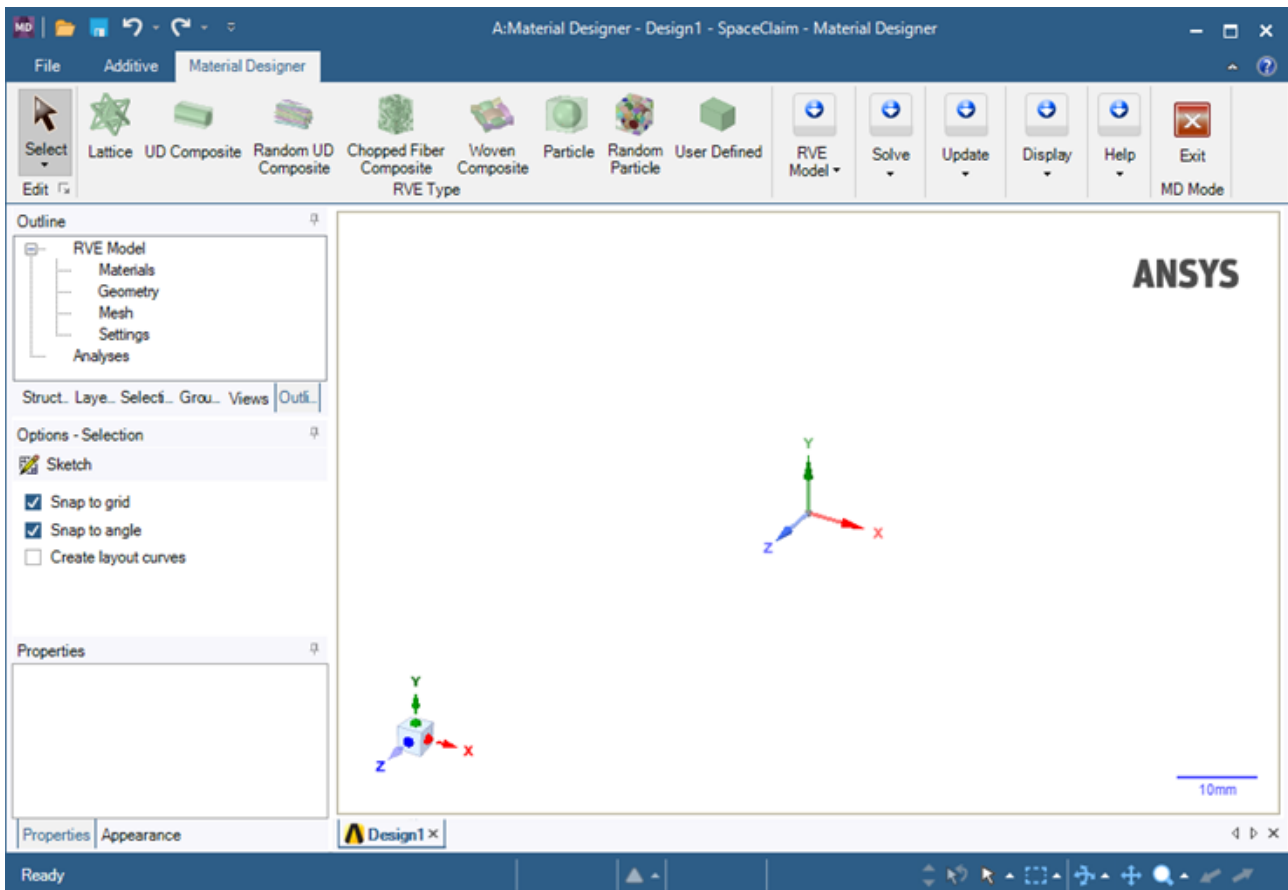


Рис. 6. Окно Material Designer

4. В верхней панели инструментов (рис. 7) выбираем тип объемного элемента модифицированной микроструктуры, согласно своему варианту таблицы.

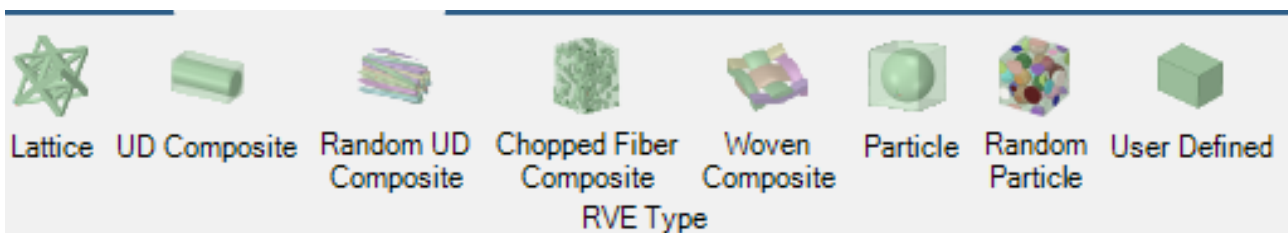


Рис. 7. Выбор объемного элемента модифицированной микроструктуры

5. В появившейся слева панели необходимо присвоить материал матрицы/наполнителя (1) и частицы/волокон (2) (рис. 8). После чего необходимо применить изменения (3).

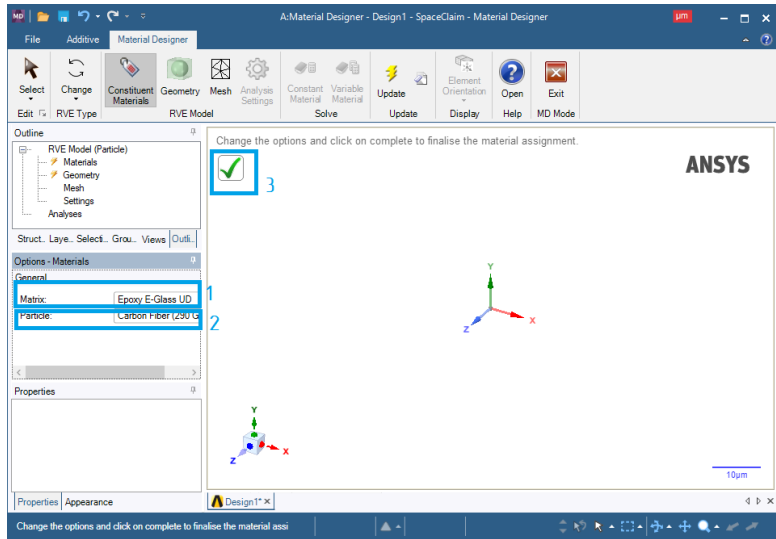


Рис. 8. Присвоение материалов

6. Для создания геометрии объемного элемента (рис. 9) нажимаем ЛКМ на **Geometry** (1). После этого в левой панели настроек отобразятся настройки геометрии объемного элемента (2) (в зависимости от типа выбранного объемного элемента настройки могут быть различны). Нажимаем галочку (3) и на рабочем пространстве появится трехмерная модель сгенерированного объемного элемента (4).

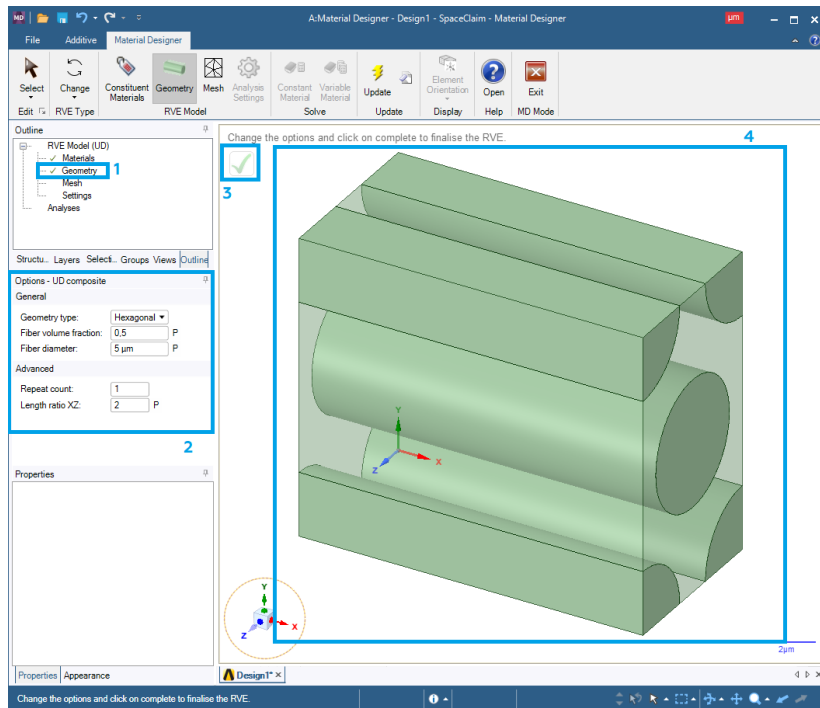


Рис. 9. Создание геометрии объемного элемента

7. Сгенерируем сеточную модель объемного элемента (рис. 10). Нажимаем ЛКМ на **Mesh** (1) и задаем максимальный размер сеточного объемного элемента (2). Нажимаем на галочку (3) и видим на экране сгенерированную сетку (4) объемного элемента.

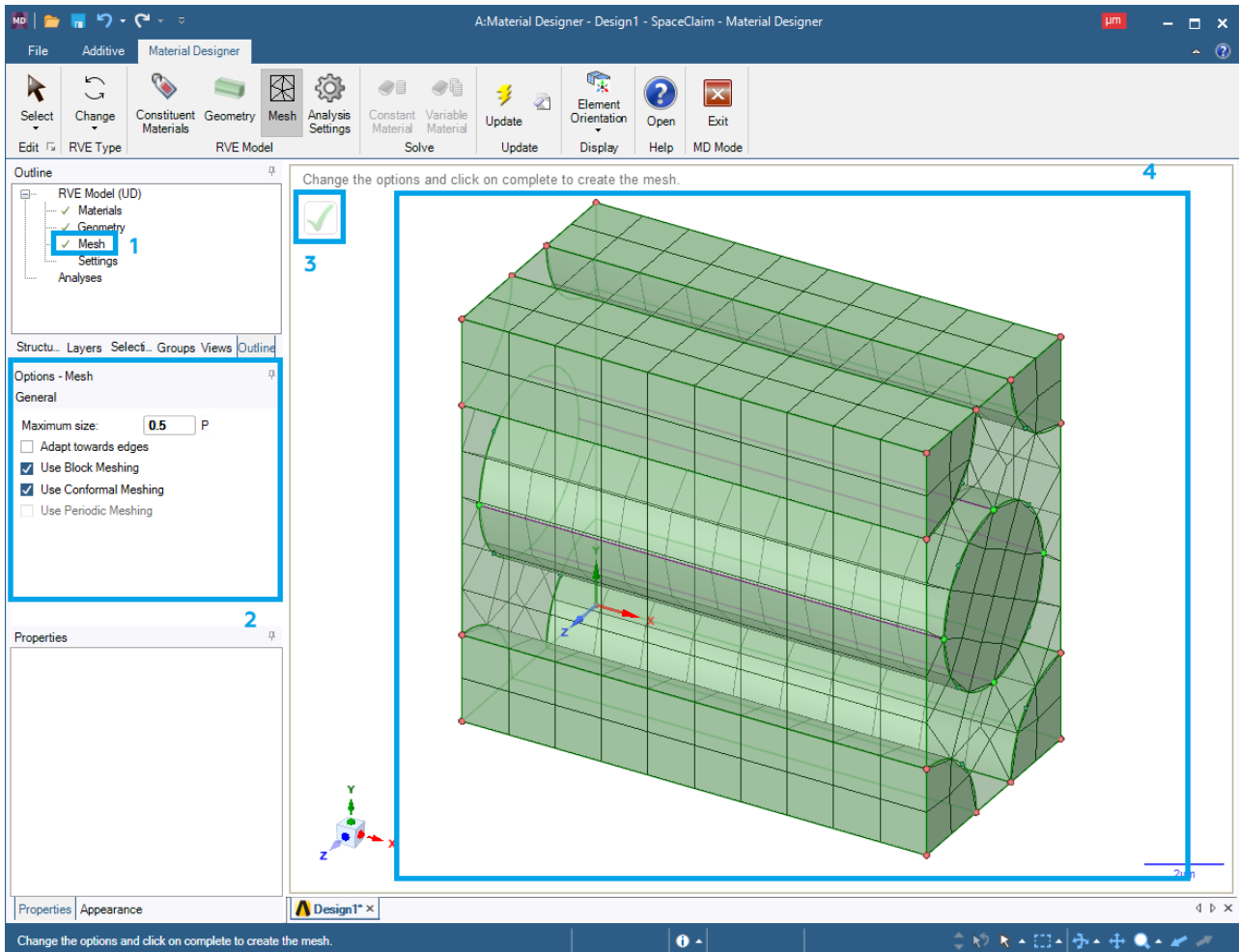


Рис. 10. Создание сетки объемного элемента

8. Нажимаем ЛКМ на **Settings** (1). На панели слева (2) можно выставить интересующие настройки анализа объемного элемента (рис. 11), но в нашем случае они остаются без изменения. Нажимаем галочку (3) и видим системное окно, предупреждающее о результатах проведенного анализа (4).

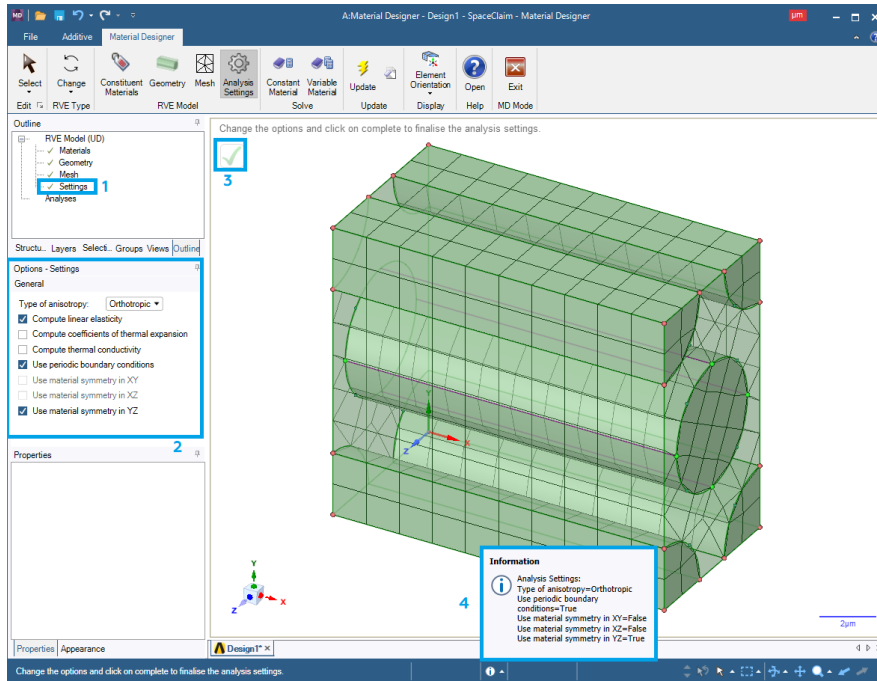


Рис. 11. Выбор характеристик частицы

9. Теперь осталось присвоить название материалу, который будет состоять из созданного объемного элемента (рис. 12). Для этого нажимаем правую кнопку мыши (ПКМ) на **Analyses** (1) – **Constant Material** (2), вводим название материала (3) и нажимаем галочку (4). Закрываем окно **Material Designer**.

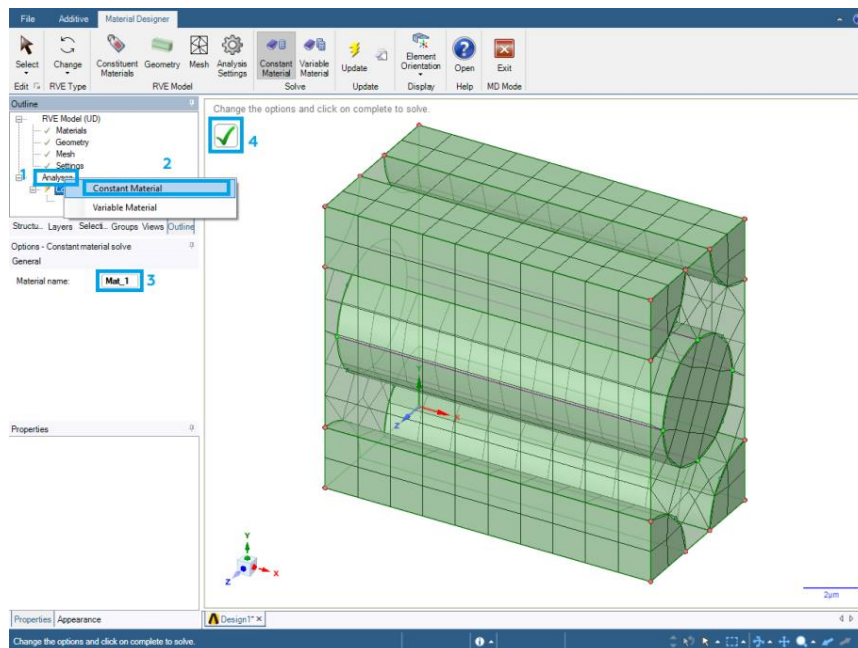



Рис. 12. Создание сетки объемного элемента

10. Создадим связь между первым и вторым модулями *Material Designer* для присвоения созданного нами композитного материала к анализируемой геометрии через второй блок (рис. 13):

10.1. В окне *ANSYS Workbench* нажимаем ПКМ на *Material Designer* (1) и выбираем *Update*  *Update* для обновления проекта композитного материала.

10.2. Зажимаем ЛКМ *Material Designer* (1) и перетаскиваем его к *Engineering Data* (2).

10.3. Нажимаем ПКМ на *Engineering Data* (2) и жмем *Update*.

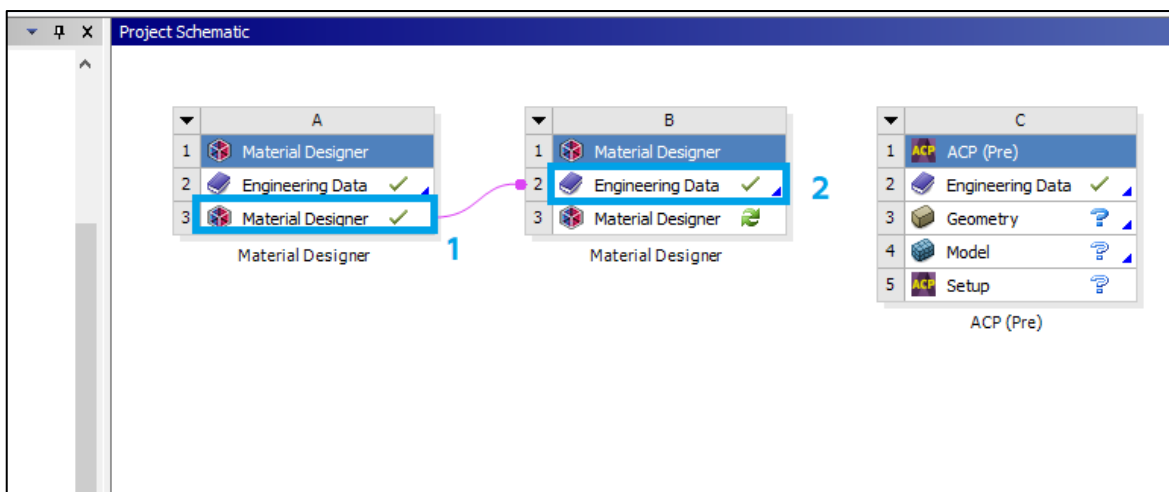
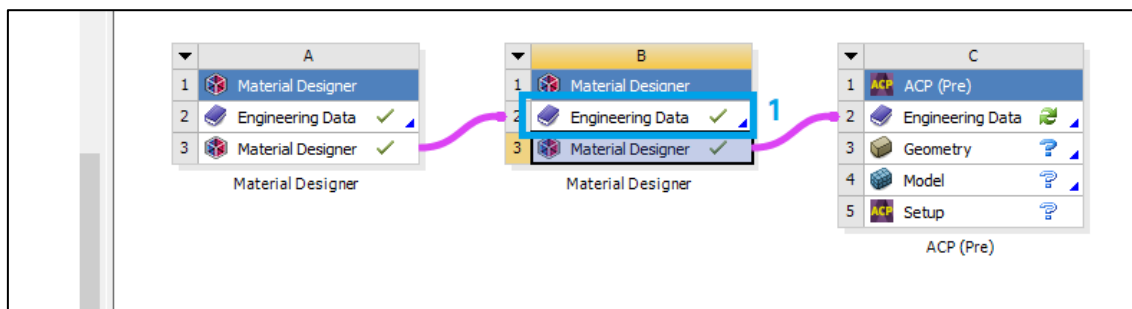


Рис. 13. Создание связи

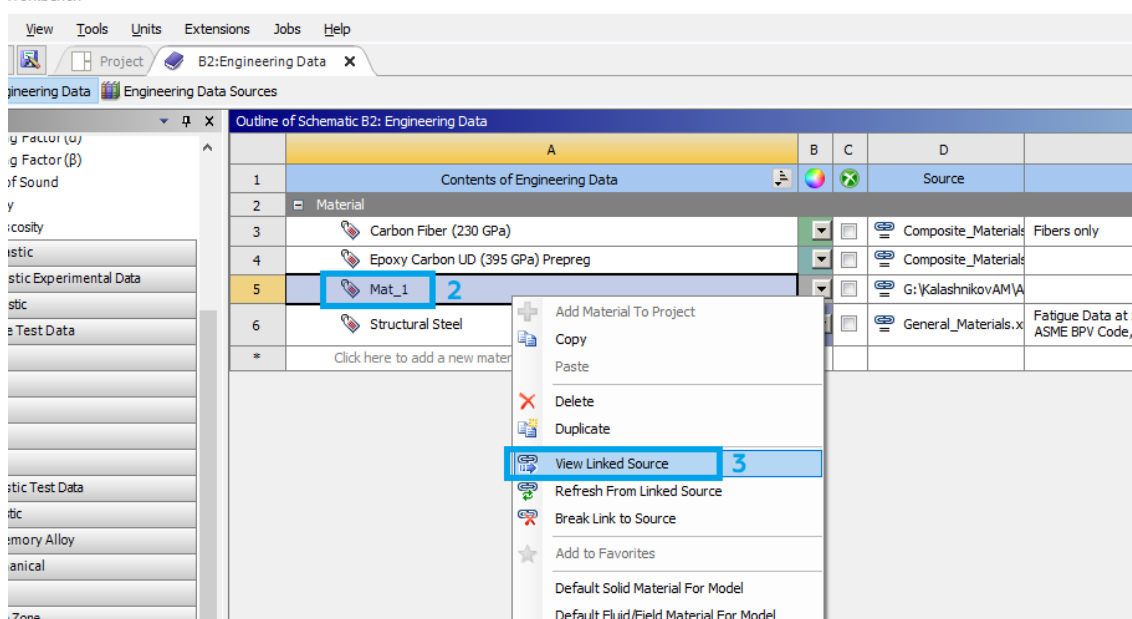
11. Повторяем пункты 2–10 для создания второго типа композитного материала (материал волокна и наполнителя остается тем же) и соединяем блоки *Material Designer* и *Engineering Data*, как делали это ранее.

*Примечание:* имя второго композитного материала должно отличаться от первого.

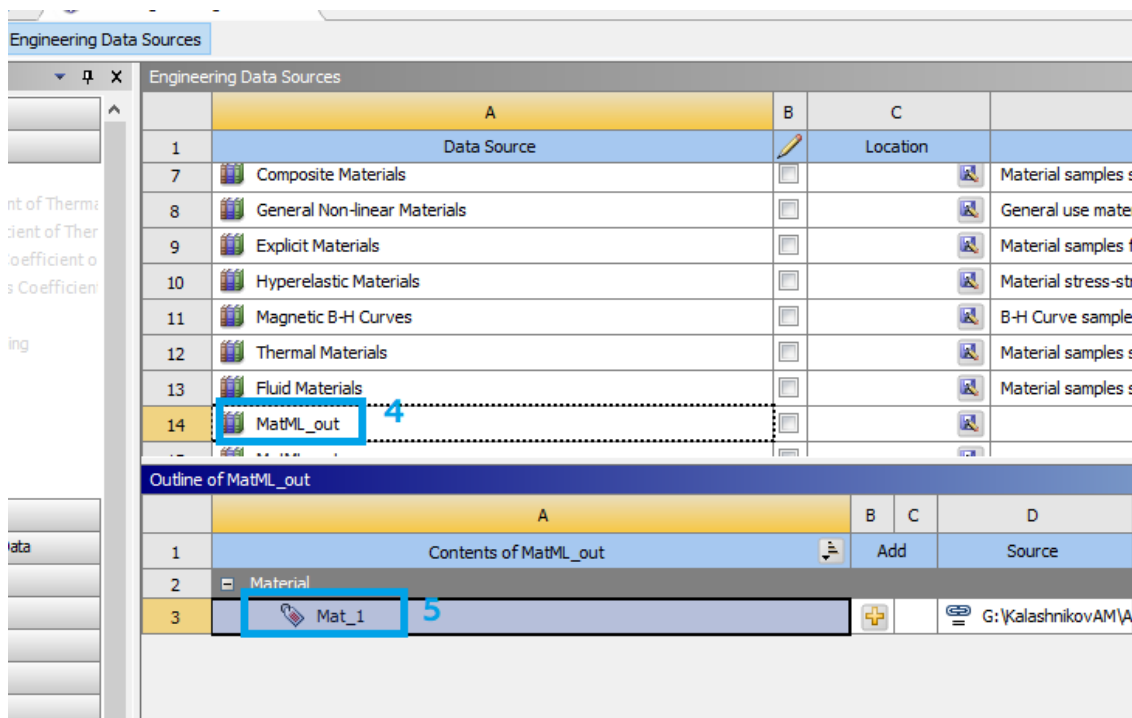
12. Для того чтобы в модуле *ACP (Pre)* было два различных композитных материала, необходимо перейти в блок *Engineering Data* (1) второго модуля *Material Designer*, нажать ПКМ на первый композитный материал (2) и выбрать *View Linked Source* (3) для создания и просмотра библиотеки (4) созданного нами композитного материала в данном модуле (5) (рис. 14). Теперь данная библиотека и материал будут отображаться в других модулях.



a




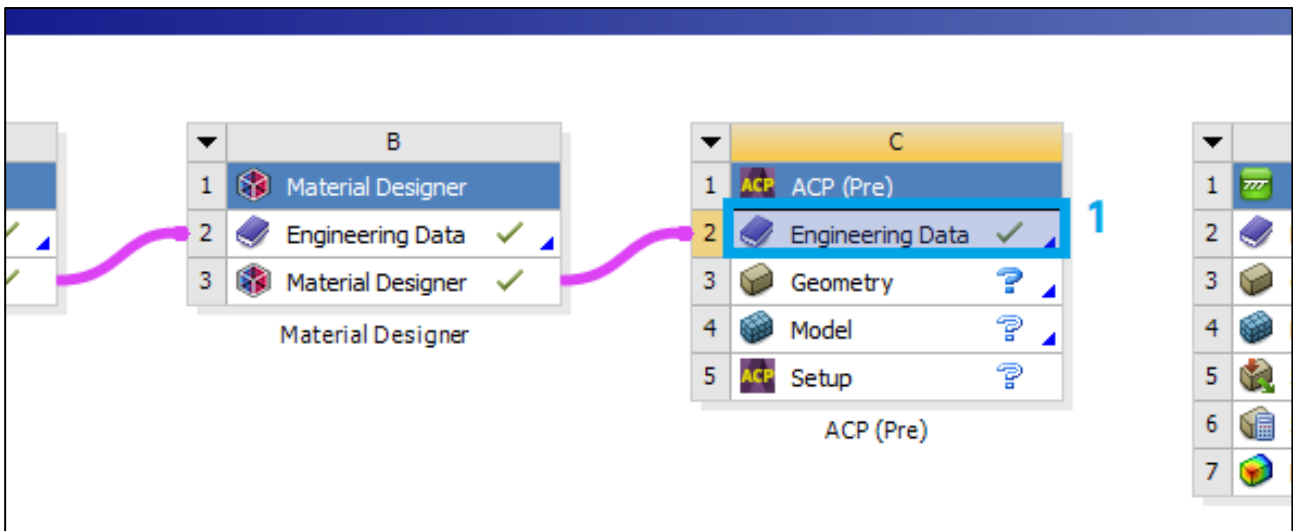
b



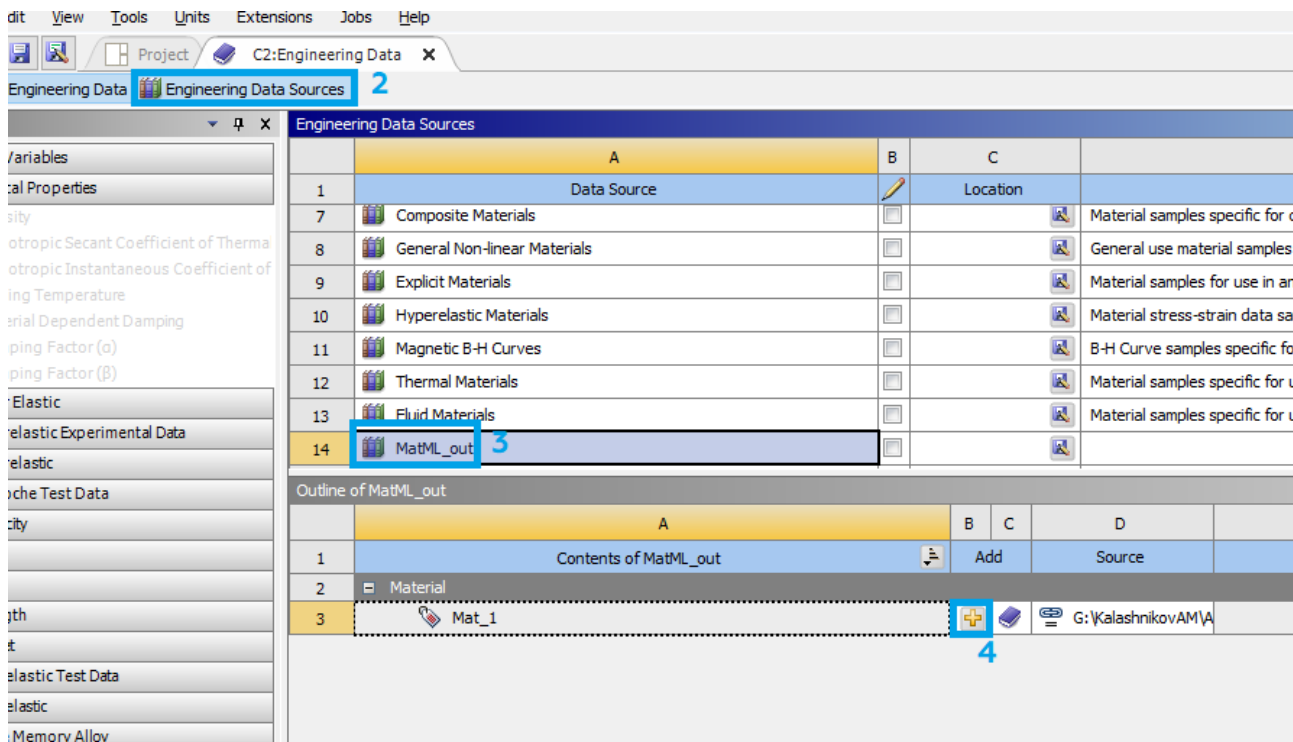
6

Рис. 14. Создание и добавление библиотеки материала

13. Для того чтобы первый композитный материал появился в модуле ACP (Pre), переходим в *Engineering Data* (1), после чего жмем на *Engineering Data Sources* (2), выбираем созданную нами библиотеку материалов (3) и нажимаем  (4) напротив первого композитного материала (рис. 15). После этого можно закрыть *Engineering Data*.



a



b

Рис. 15. Импорт композитного материала



14. Импортируем геометрию.

14.1. Дважды нажимаем ЛКМ на блок **Geometry** у модуля **ACP (Pre)**.

14.2. В появившемся окне нажимаем **File – Open**.

14.3. Для того чтобы найти созданную геометрию, переходим в папку с ней и выбираем отображение всех форматов – **All Files (\*.\*)**. Нажимаем на созданную геометрию с расширением «.x\_t» и нажимаем кнопку Открыть. Импортированная геометрия показан на рис. 16.

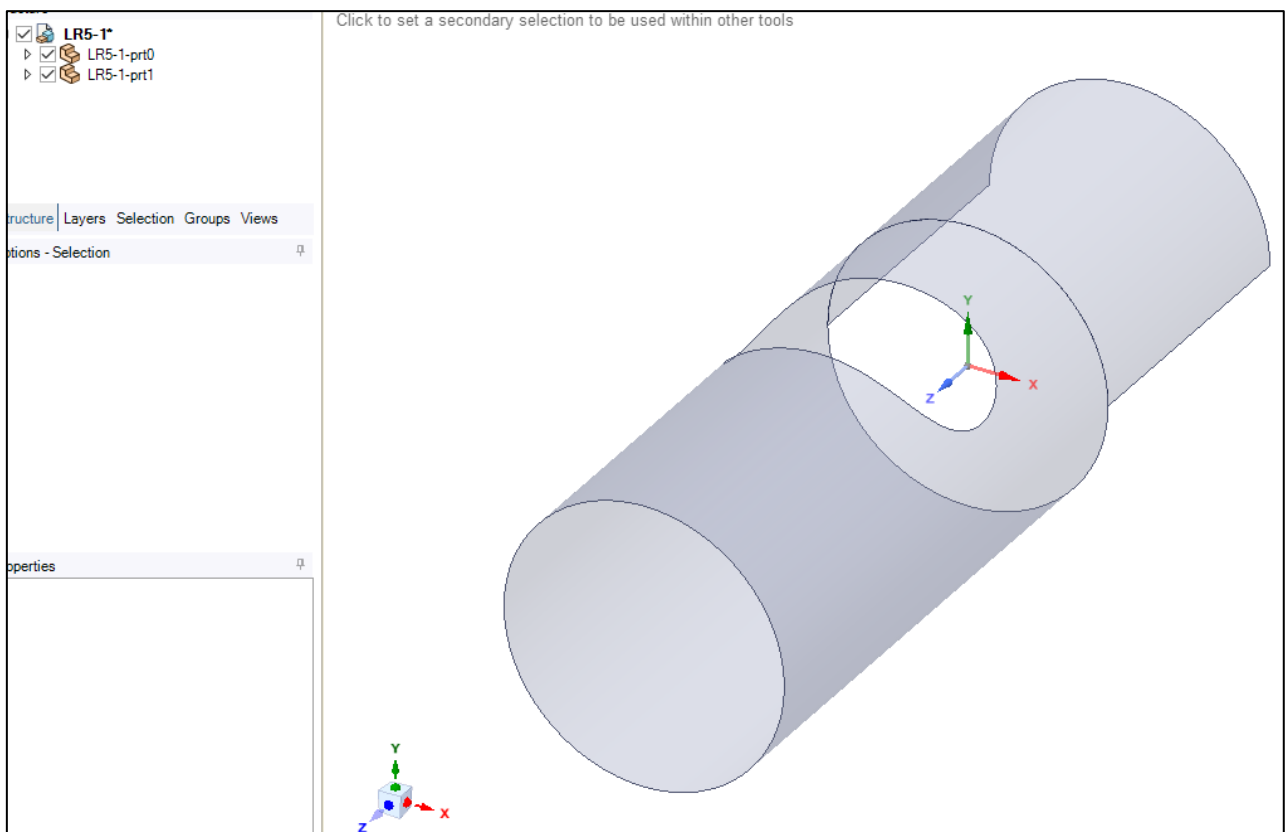


Рис. 16. Импорт геометрии

14.4. После этого окно геометрии можно закрыть.

15. Приступаем к созданию сетки.

15.1. Дважды нажимаем ЛКМ на блок **Model** у модуля **ACP (Pre)**.

15.2. В открывшемся окне раскрываем вкладку Geometry (1), выделяем все поверхности (2) и задаём толщину (3) 0,2 мм (рис. 17).

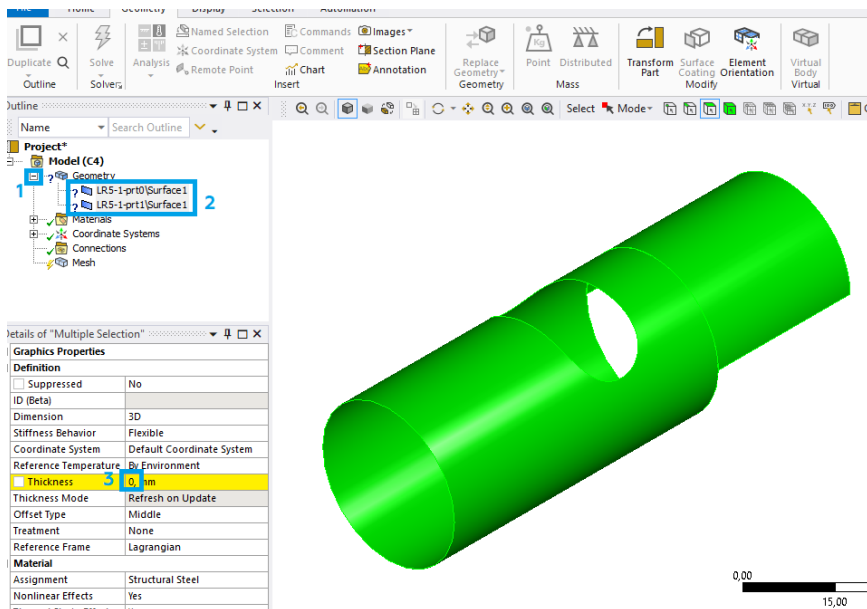


Рис. 17. Задание толщины оболочки

15.3. Зададим контактные регионы (рис. 18):

- жмем ПКМ на **Connections** (1) – **Insert** (2) – **Manual Contact Region** (3) и задаем контактные области между двумя сегментами;

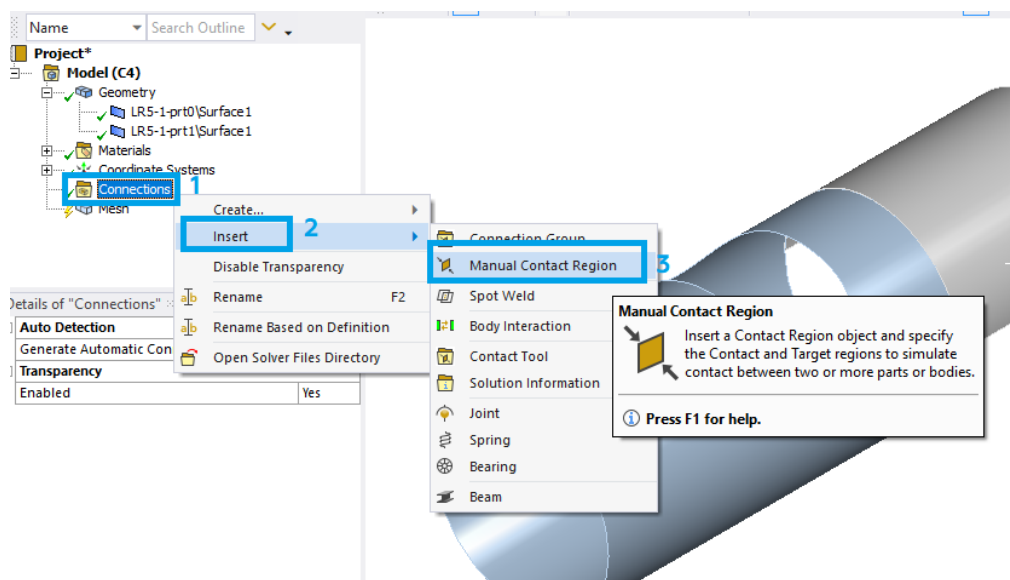



Рис. 18. Создаем контактный регион

- выбираем контактную грань (1) и цель (2) (рис. 19). Если одна грань перекрывает другую, то можно раскрыть вкладку **Geometry**, нажать ПКМ

на любую из двух сегментов и выбрать **Hide Body** , чтобы скрыть его. Чтобы снова отобразить сегмент, нажмем ПКМ и выберем **Show Body**.

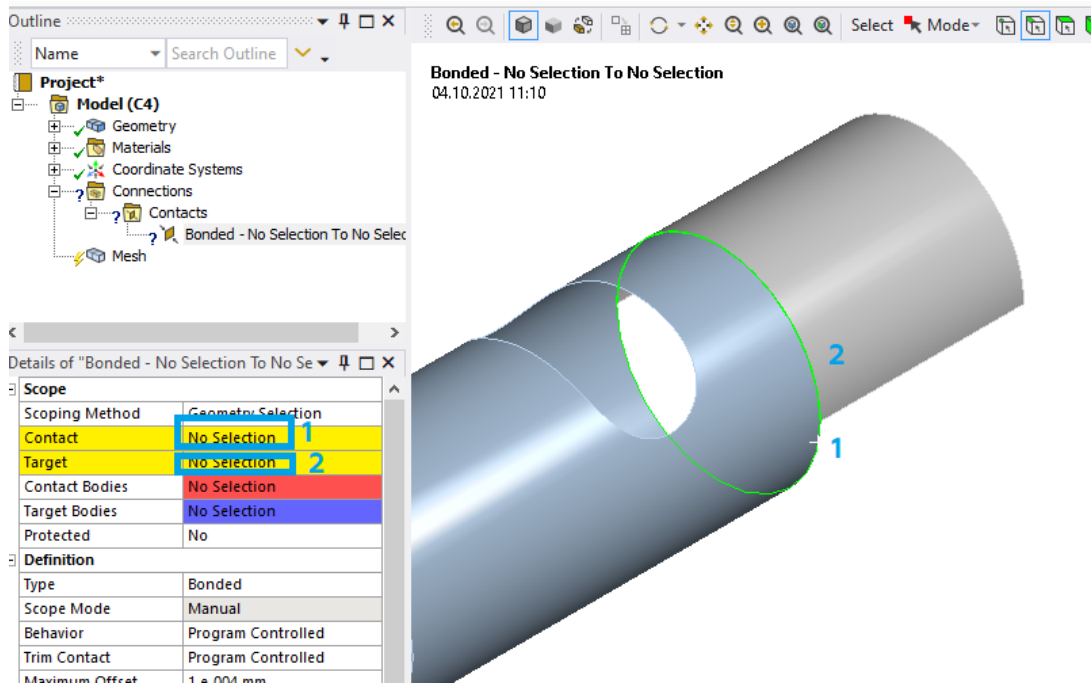


Рис. 19. Выбираем контактные грани

15.4. Жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Sizing**, выделяем обе геометрии (1) и задаем величину ячеек 2 мм (2) (рис. 20).

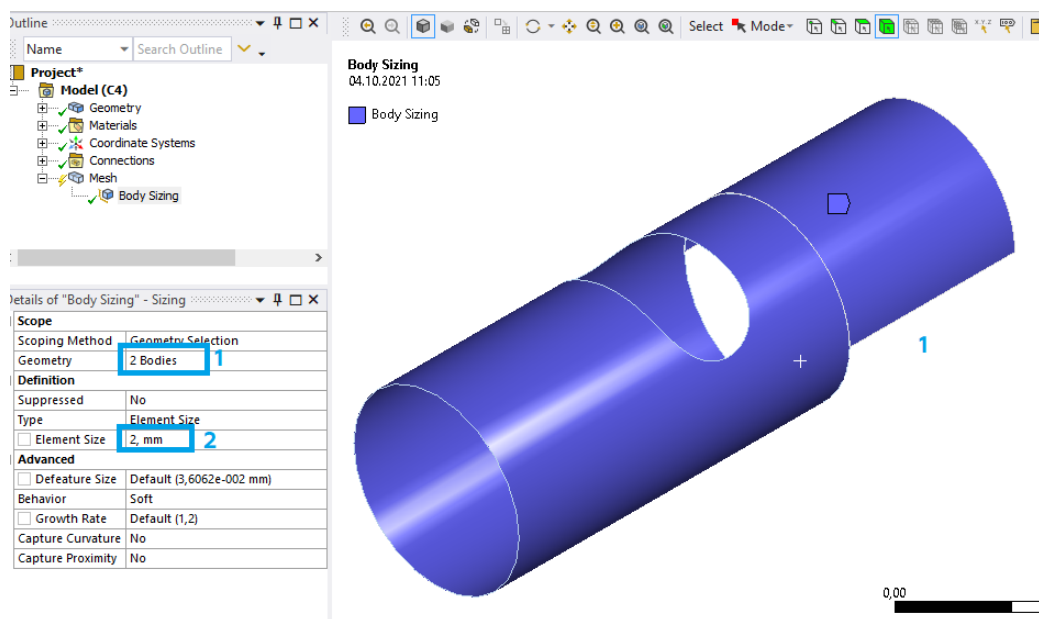


Рис. 20. Задание настроек сетки

15.5. Нажимаем ПКМ на *Mesh* и выбираем *Generate mesh*. Готовая сеточная модель представлена на рис. 21. Закрываем окно блока *Model*.

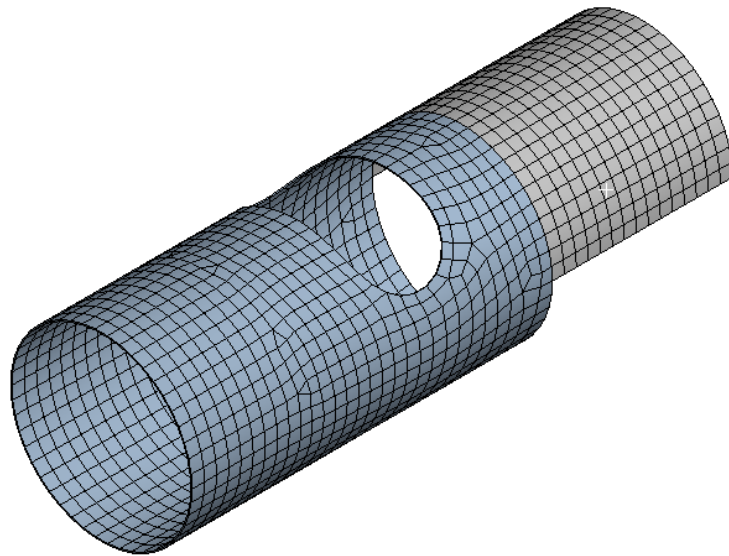



Рис. 21. Генерация сеточной модели

15.6. Зададим имена для каждого сегмента. Нажимаем ПКМ на каждый из них и выбираем *Create Named Selection...*  (рис. 22).

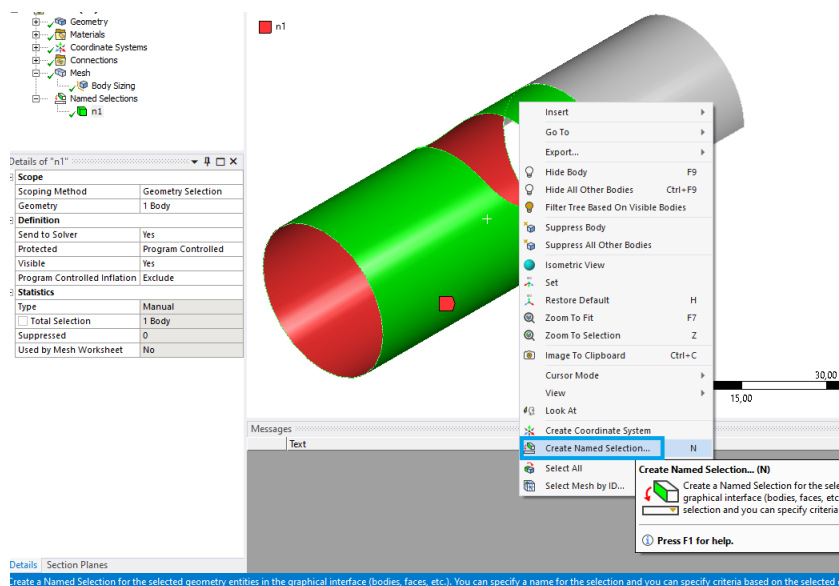



Рис. 22. Присвоение сегменту имени

15.7. Нажимаем ПКМ на *Mesh*, выбираем *Update* , после этого окно Mechanical можно закрыть.

16. Теперь можно настроить слои созданных композитных материалов.

16.1. В окне Workbench дважды нажимаем на Setup в блоке ACP (Pre). После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 23.

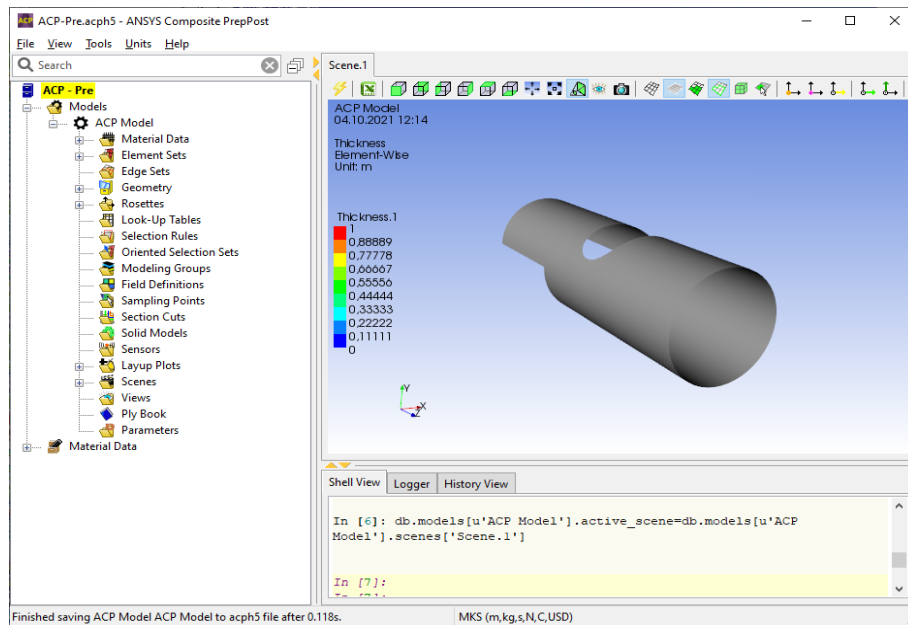


Рис. 23. Окно ANSYS Composite PrepPost

16.2. Сразу изменим единицы измерения на миллиметры. Для этого нажимаем на **Units** (1) и выбираем **MPA (mm,t,s,N,C,USD)** (2) (рис. 24).

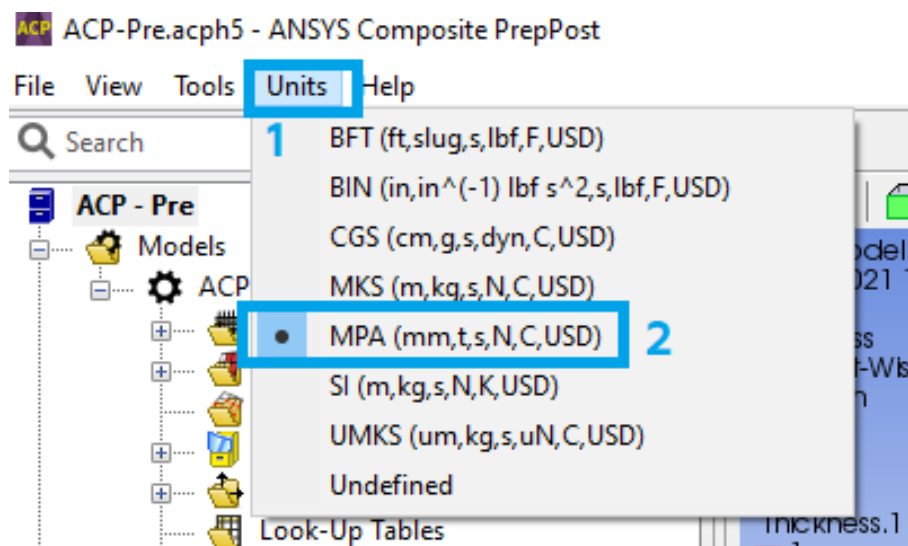
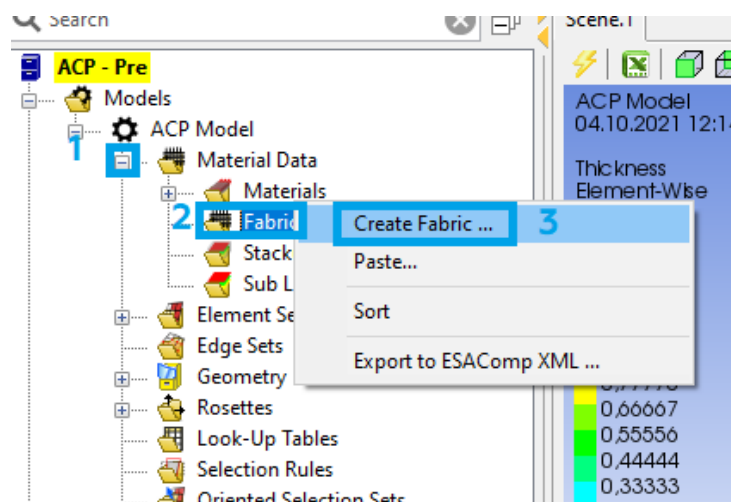


Рис. 24. Изменение единиц измерения

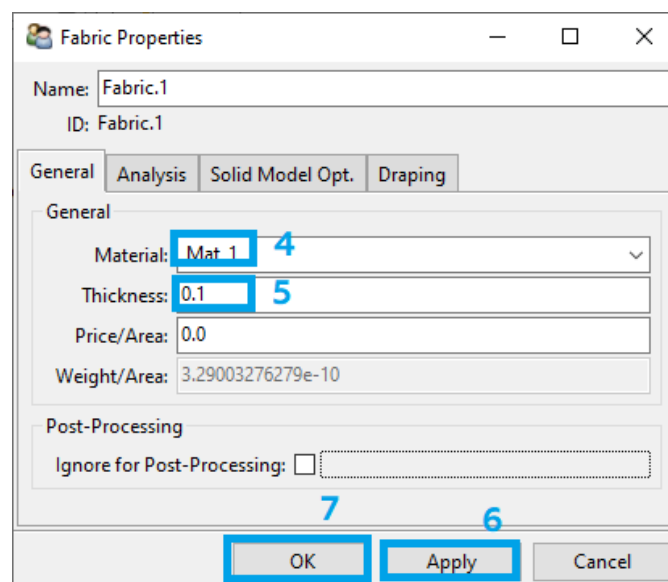
16.3. Создадим слой волокон первого композитного материала (рис. 25):

– для этого раскрываем раздел *Material Data* (1), нажимаем ПКМ на *Fabrics* (2) и выбираем *Create Fabric...* (3);

– выбираем первый композитный материал (4), задаем толщину 0,1 мм (так как будет два слоя с разным направлением волокон) (5) и жмем *Apply* (6). Если на экране появится окно с предупреждением, то его можно закрыть. После этого окно можно закрыть (7).



a



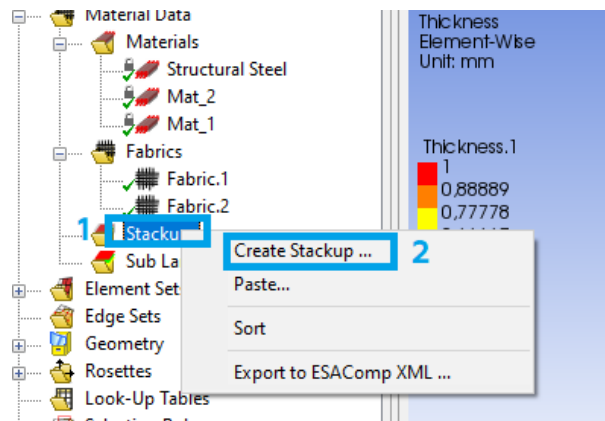
b

Рис. 25. Создание слоя волокон

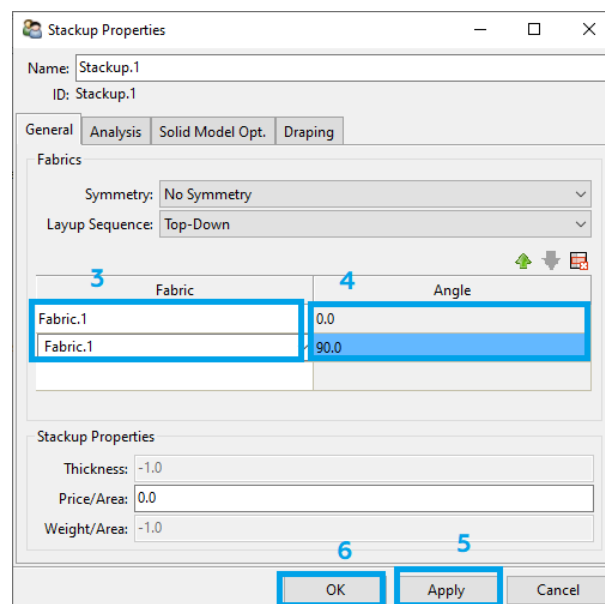
16.4. Создадим слой волокон второго композитного материала. Для этого повторяем операции из пункта 16.3, но выбираем второй композитный материал.

16.5. Создадим пакет из двух слоев первого композитного материала (рис. 26):

- нажимаем ПКМ на *Stackups* (1) и выбираем *Create Stackup...* (2);
- выбираем первый композитный материал в двух строках (3), задаем угол волокон  $0^\circ$  и  $90^\circ$  (4) и жмем *Apply* (5). После этого окно можно закрыть (6).



a



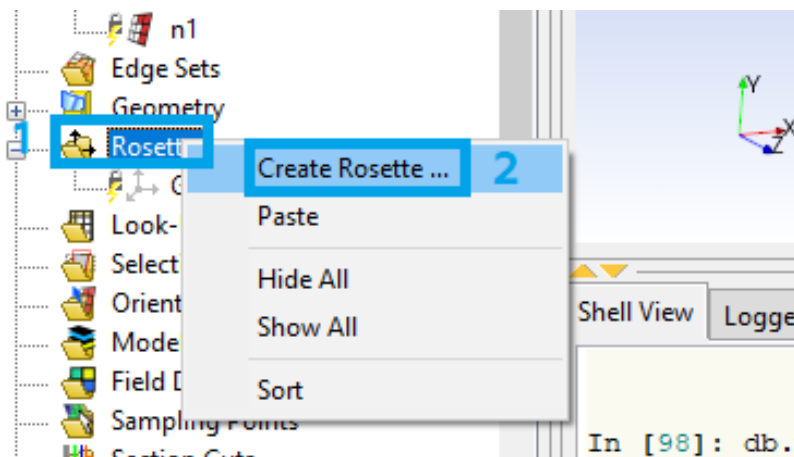
б

Рис. 26. Создание пакета слоев

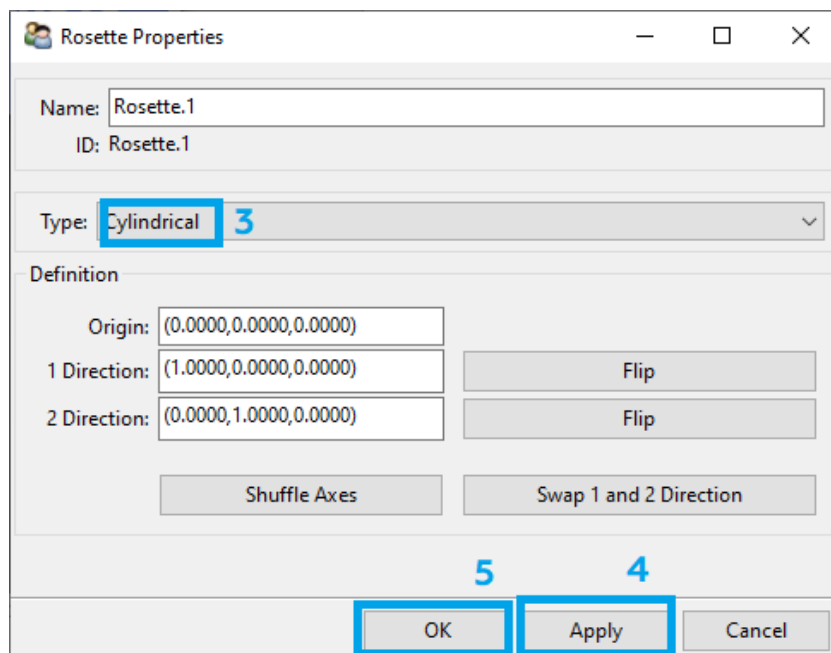
16.6. Создадим пакет из двух слоев второго композитного материала. Для этого повторяем операции из пункта 16.5, но выбираем второй композитный материал.

16.7. Создадим цилиндрическую ось координат (рис. 27):

- нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1) и выбираем **Create Rosette...** (2);
- выбираем цилиндрический тип (3) и жмем **Apply** (4). После этого окно Fabric можно закрыть (5).



a



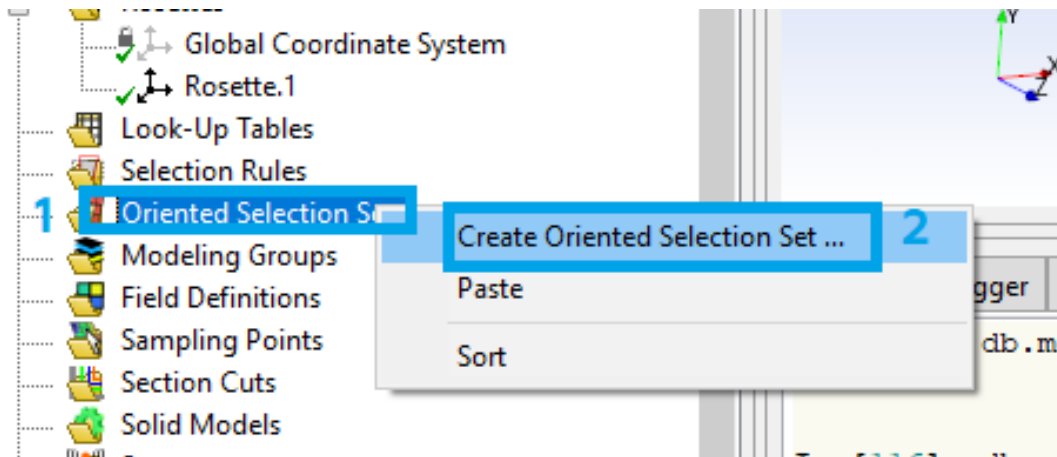
б

Рис. 27. Создание оси координат

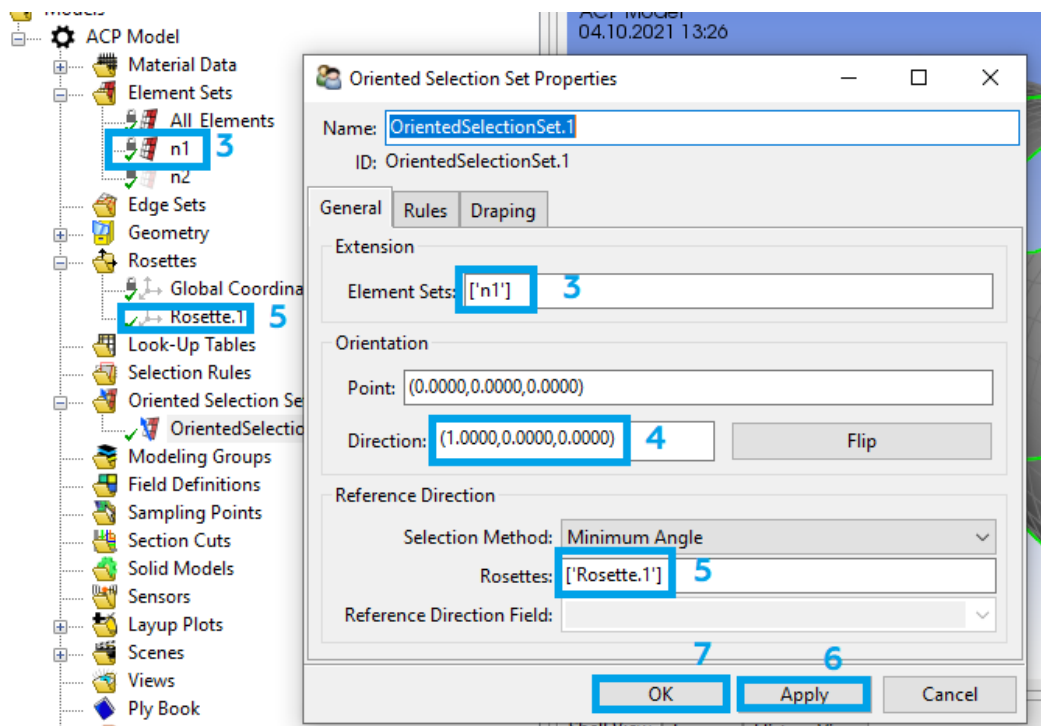


16.8. Создадим первый ориентированный блок (рис. 28):

- нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1) и выбираем **Create Rosette...** (2);
- выбираем первый сегмент (нажимаем на область элемента и выбираем его в дереве построения) (3), настраиваем ориентацию (4), выбираем созданную ось координат (5) и жмем **Apply** (6). После этого окно можно закрыть (7).



a



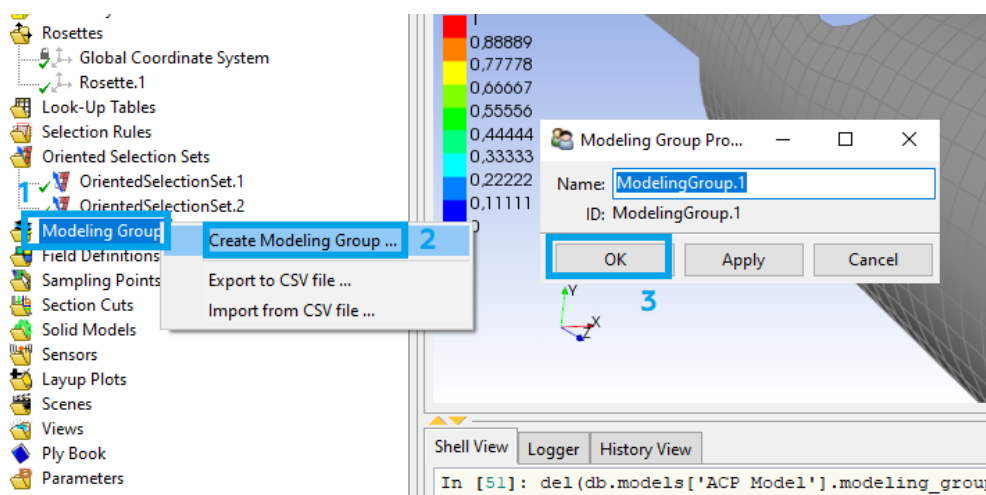
б

Рис. 28. Создание ориентированного блока

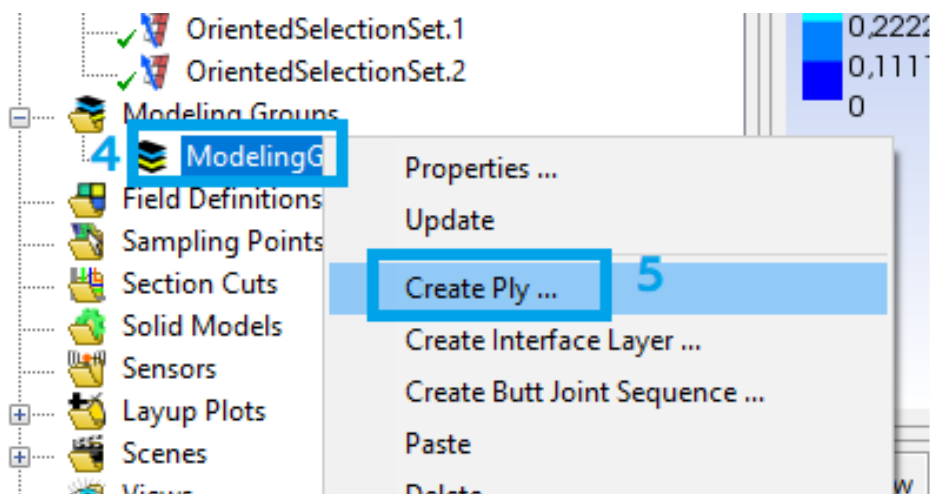
16.9. Создадим второй ориентированный блок. Для этого повторяем операции из пункта 16.8, но выбираем второй сегмент.

16.10. Создадим модельную группу первого сегмента (объединение ориентированного элемента и пакета слоев) (рис. 29):

- нажимаем ПКМ на **Modeling Groups** (1) и выбираем **Create Modeling Group...** (2). В появившемся окне жмем **Ok** (3);
- нажимаем ПКМ на **ModelingGroups.1** (4) и выбираем **Create Ply...** (5);
- выбираем первый ориентированный блок (6) и пакет слоев первого композитного материала и жмем **Apply** (8). После этого окно можно закрыть (9).

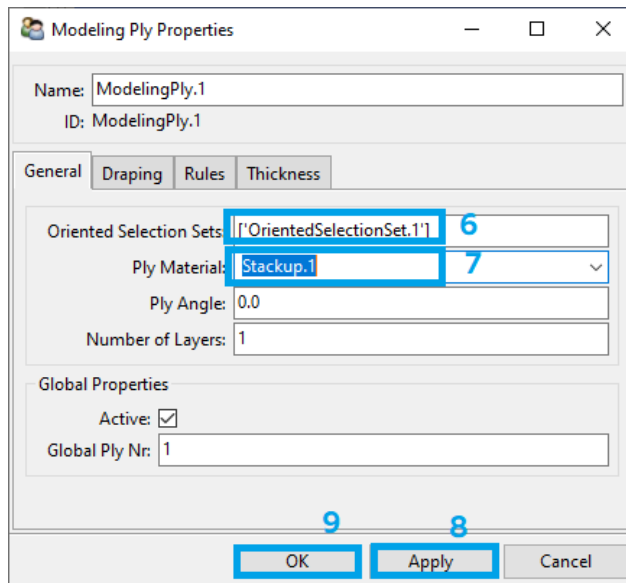


a



б

Рис. 29. Создание модельной группы (начало)



6

Рис. 29. Создание модельной группы (окончание)

16.11. Создадим модельную группу второго сегмента. Для этого повторяем операции из пункта 16.10, но выбираем второй ориентированный блок и второй пакет слоев.

16.12. Включим отображение сетки (1) и направление волокон (2) в верхней панели (рис. 30). Переключаясь между слоями (3), видим зеленые стрелочки, показывающие направление волокон (4).

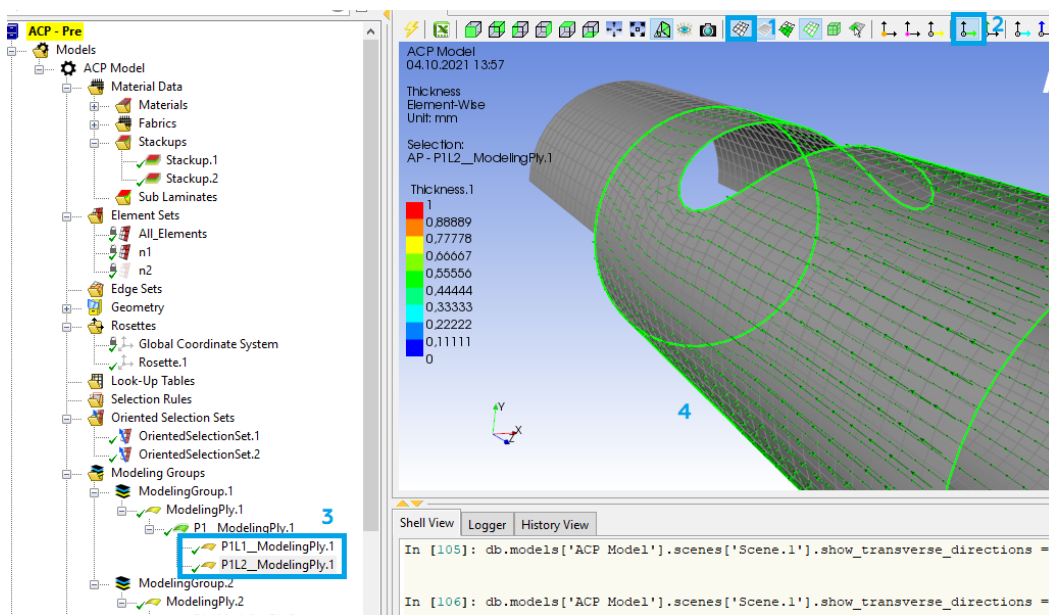
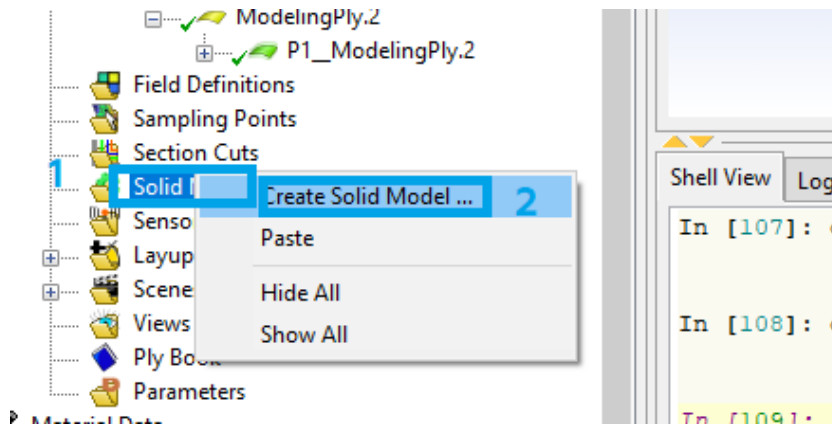


Рис. 30. Отображение направления волокон

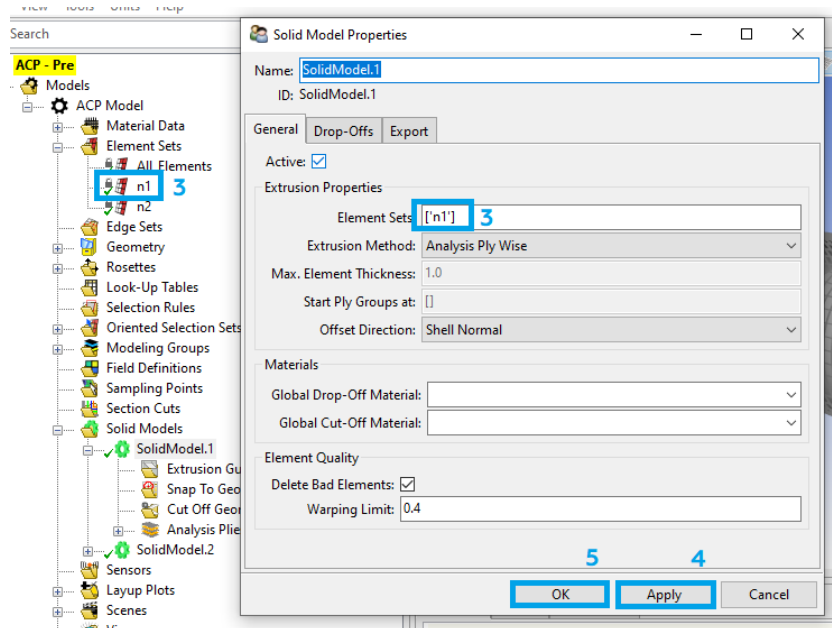
### 16.13. Создадим твердотельную модель первого сегмента (рис. 31):

– нажимаем ПКМ на *Solid Models* (1) и выбираем *Create Solid Model...* (2);

– выбираем первый элемент (нажимаем на область элемента и выбираем его в дереве построения) (3) и жмем *Apply* (4). После этого окно можно закрыть (5).



a



б

Рис. 31. Создание твердотельной модели

### 16.14. Закрываем окно ANSYS Composite PrepPost.

17. Зажимаем ЛКМ блок **Setup** (1) в модуле **ACP (Pre)** и перетаскиваем его на блок **Model** (2) в модуле **Static Structural** (рис. 32). После этого появляется окно с двумя вариантами: первый переместит твердотельную модель (есть возможность анализировать каждый слой выбранного сегмента (может понадобится повторно создать контактные области)), а второй переместит тонкостенную оболочку (нет возможности анализировать каждый слой отдельно). После выбора первого варианта нажимаем ПКМ на **Setup** (1) в модуле **ACP (Pre)** и выбираем **Update**.

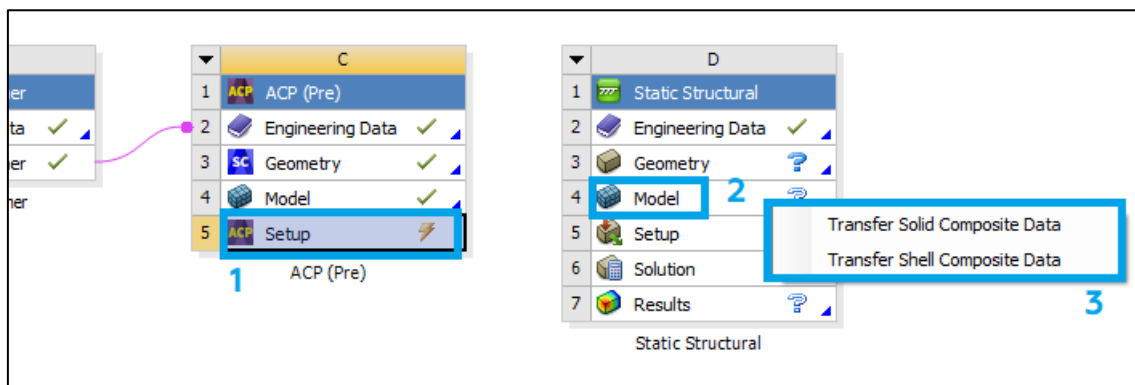


Рис. 32. Импорт данных в Static Structural

18. В итоге должен получиться проект, имеющий следующую цепочку модулей (рис. 33).

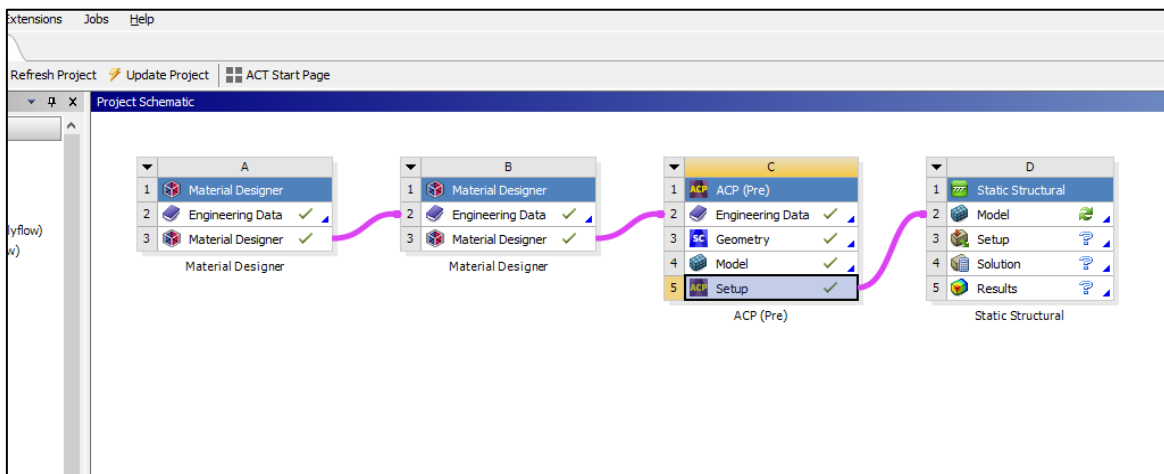


Рис. 33. Готовый проект

19. Сохраняем проект в папку, ранее созданную студентом (названия папки и проекта должны быть на английском языке). Для этого нажимаем **File – Save As... – Сохранить**. Для того чтобы проект можно было копировать без опасений сбить прописанные пути файлов, необходимо создать его архив. Для этого нажимаем **File – Archive... – Сохранить – Archive**.

### **Содержание отчета**

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).
4. Этапы построения (со скриншотами этапов).
5. Результаты работы (финальные скриншоты окон ANSYS Workbench, Material Designer, Geometry, Model и Setup).
6. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое сеточная модель?
2. Краткая характеристика CAE-систем. Примеры.
3. Для чего нужен Material Designer?
4. Как импортировать геометрию в проект ANSYS?
5. В каком блоке происходит настройка сеточной модели?
6. Как создавать связь между модулями?
7. Основные инструменты для создания сетки в ANSYS.
8. Основные этапы выполнения работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В практикуме приведены пять лабораторных работ, которые могут быть использованы при изучении студентами следующих дисциплин: «Прикладные программы анализа технологических систем и процессов», «Проектная деятельность», «Цифровые технологии в химическом, нефтегазовом и энергетическом машиностроении», «Основы сеточного моделирования для цифровых двойников технических объектов», «Компьютерные системы для проектирования технологического оборудования», «Технология разработки цифровых двойников технических систем, машин и аппаратов» и «Цифровые технологии проектирования технологического оборудования».

Библиографический список, а также приложение «Пример оформления отчета», приведенное в конце практикума, будут полезны при выполнении представленных лабораторных работ.

Выполнение данных лабораторных работ позволяет студенту продемонстрировать свой уровень квалификационной подготовки и наиболее глубоко изучить теорию на примере: построения объемных оболочек; создания объемных элементов модифицированных микроструктур; построения сложных сеточных моделей; создания многослойных оболочек из композитных материалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов и [др.]. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 800 с. – ISBN 5-94157-558-0.
2. Дударева, Н. Ю. SolidWorks. Оформление проектной документации / Н. Ю. Дударева, С. А. Загайко. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2009. – 384 с. – ISBN 978-5-9775-0390-7.
3. Соллогуб, А. В. SolidWorks 2007. Технология трехмерного моделирования / А. В. Соллогуб, З. Сабирова. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2007. – 333 с. – ISBN 5-9775-0013-0.
4. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. для вузов / А. Г. Касаткин. – 10-е изд., стереот., дораб., перепеч. с изд. 1973 г. – Москва : Альянс, 2004. – 751 с. – ISBN 5-98535-004-5.
5. Логинов, А. В. Процессы и аппараты химических и пищевых производств : пособие по проектированию / А. В. Логинов, Н. М. Подгорнова, И. Н. Болгова ; М-во образования Рос. Федерации, Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж : ВГТА, 2003. – 262, [1] с. – ISBN 5-89448-257-7.
6. Лацинский, А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры : справ. / А. А. Лацинский, А. Р. Толчинский ; под ред. Н. Н. Логинова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. Калашников, А. М. Моделирование и анализ компрессорного и теплообменного оборудования с применением компьютерных технологий : практикум : в 2 ч. / А. М. Калашников, А. Н. Фот. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – Ч. 1 : Трехмерное моделирование. – 1 CD-ROM (46,3 Мб). – Систем. требования: процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше ; оперативная память 256 Мб и более ; свободное место на жестком диске 260 Мб и более ; операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10 ; разрешение экрана 1024×768 и выше ; акустическая система не требуется ; дополнительные



программные средства Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – Загл. с этикетки диска. – ISBN 978-5-8149-2534-3.

8. Калашников, А. М. Моделирование и анализ компрессорного и теплообменного оборудования с применением компьютерных технологий : практикум : в 2 ч. / А. М. Калашников, А. Н. Фот. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – Ч. 2 : Компьютерные технологии в инженерном анализе. – 1 CD-ROM (30,3 Мб). – Систем. требования: процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше ; оперативная память 256 Мб и более ; свободное место на жестком диске 260 Мб и более ; операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10 ; разрешение экрана 1024×768 и выше ; акустическая система не требуется ; дополнительные программные средства Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – Загл. с этикетки диска. – ISBN 978-5-8149-2535-0.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Омский государственный технический университет»

Кафедра «Холодильная и компрессорная техника и технология»

Дисциплина «Прикладные программы анализа технологических систем  
и процессов»

Лабораторная работа №5  
на тему: «СОЗДАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ОБОЛОЧКИ  
ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Вариант 1

Выполнил: ст. гр. НИ-191

Иванов И. И.

Проверил: ст. пр. каф. ХКТТ

Калашников А. М.

Омск, 2022

**Цель работы:**

Приобретение и закрепление студентами навыков работы в ANSYS Workbench и ANSYS Workbench – ACP (Pre) при создании многослойной оболочки из композитных материалов.

**Описание работы:**

Необходимо выбрать готовую схему оболочки, состоящую из двух сегментов (рис. 1) и настроить их свойства согласно своему варианту из таблицы. Каждый сегмент имеет два слоя композитного материала с противоположным направлением волокон.

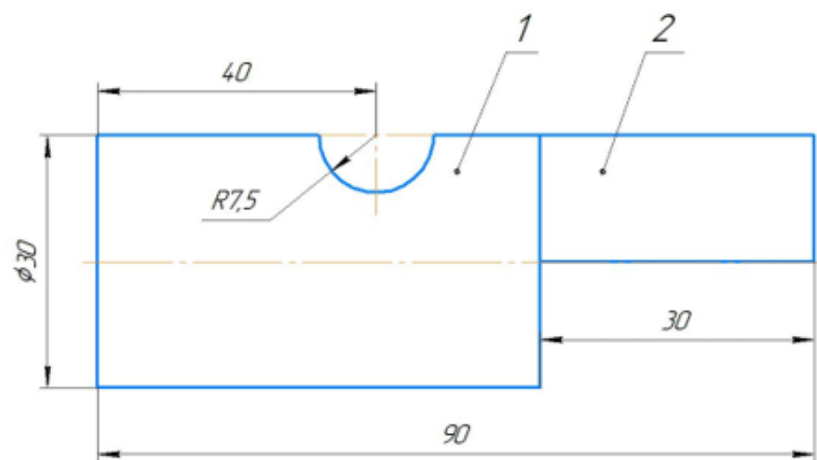


Рис. 1. Исходная схема

Табл. 1. Исходные данные

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента №1 (1) / №2 (2)
1	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Ероху Carbon UD (230 GPa) Prepreg	1) Регулярная однонаправленная 2) Сферическая

### **Порядок выполнения лабораторной работы:**

1. Запустим *ANSYS Workbench* и добавляем несколько модулей: два последовательных *Material Designer*, *ACP (Pre)* и *Static Structural*.
2. Дважды нажимаем ЛКМ на блок *Engineering Data*, после чего жмем на *Engineering Data Sources*. Выбираем библиотеку *Composite Materials* и подключаем материалы согласно своему варианту. После этого можно закрыть *Engineering Data*.
3. В первом модуле дважды нажимаем ЛКМ на *Material Designer*, после чего откроется окно.
4. В верхней панели инструментов выбираем тип объемного элемента согласно своему варианту (табл. 1).
5. В появившейся слева панели необходимо присвоить материал матрицы/наполнителя и частицы/волокон. После чего необходимо применить изменения.
6. Для создания геометрии объемного элемента нажимаем ЛКМ на *Geometry*. После этого в левой панели настроек отобразятся настройки геометрии объемного элемента (в зависимости от типа выбранного объемного элемента настройки могут быть различны). Нажимаем галочку и на рабочем пространстве появится трехмерная модель сгенерированного объемного элемента № 1 (1) / № 2 (2).
7. Стенерируем сеточную модель объемного элемента. Нажимаем ЛКМ на *Mesh* и задаем максимальный размер сеточного объемного элемента. Нажимаем на галочку и видим на экране сгенерированную сетку объемного элемента.
8. Нажимаем ЛКМ на *Settings*. На панели слева можно выставить интересные настройки анализа объемного элемента, но в нашем случае, они остаются без изменения. Нажимаем галочку и видим системное окно, предупреждающее о результатах проведенного анализа.
9. Теперь осталось присвоить название материалу, который будет состоять из созданного объемного элемента. Для этого нажимаем правую кнопку мыши (ПКМ)

## Результаты:

Data Sources

Outline of Schematic A2: Engineering Data			
	A	B	C
1	Contents of Engineering Data		
2	Material		
3	Carbon Fiber (290 GPa)		020
4	Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg		030
5	Structural Steel		050
*	Click here to add a new material		

Рис. 2. Выбор материалов

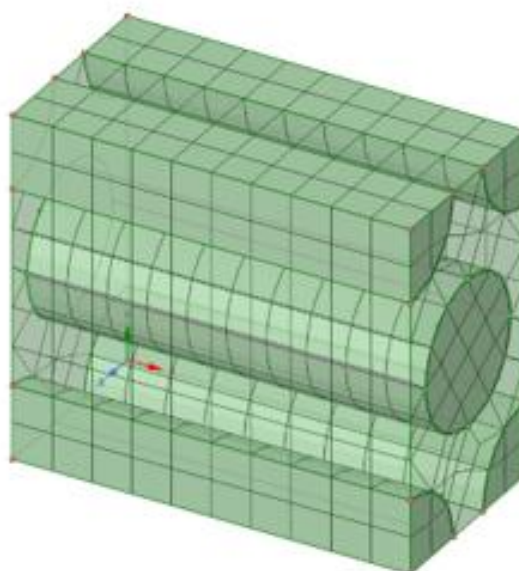


Рис. 3. Создание сетки первого объемного элемента

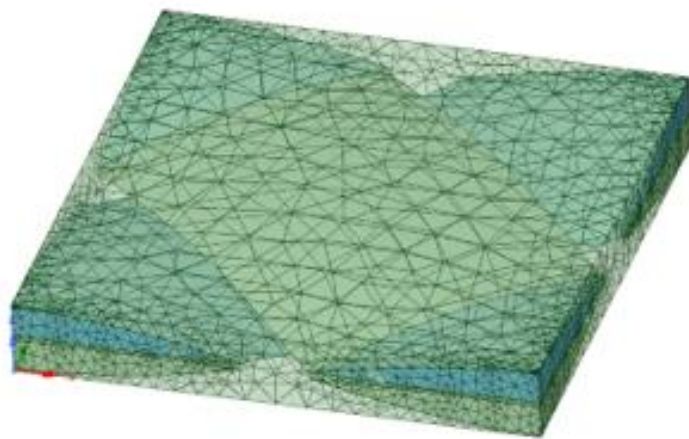


Рис. 4. Создание сетки второго объемного элемента

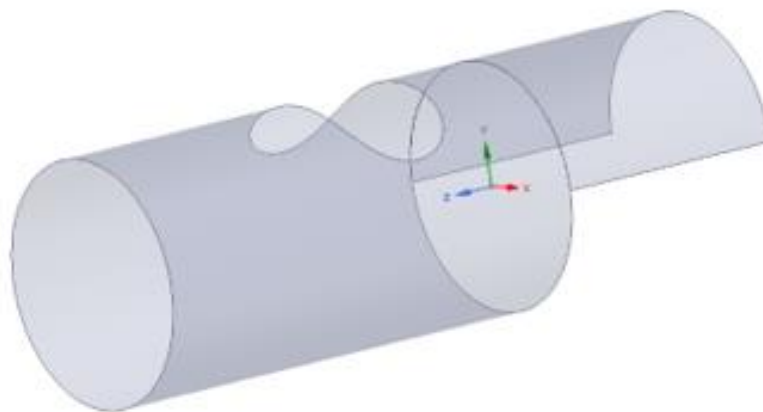


Рис. 5. Импорт 3D-модели

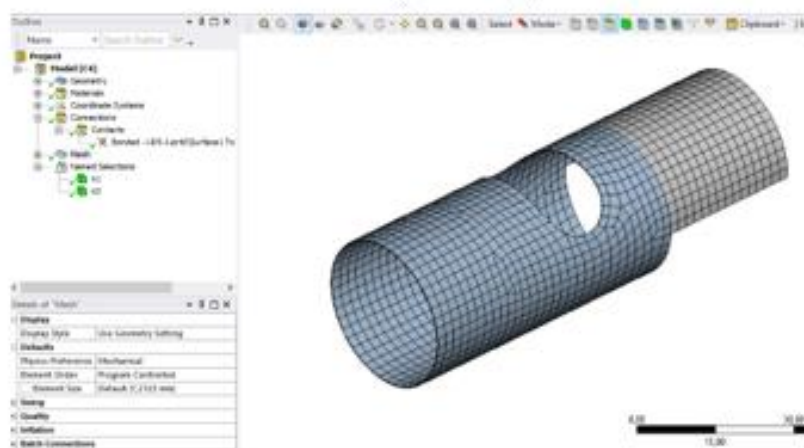


Рис. 6. Окно Model

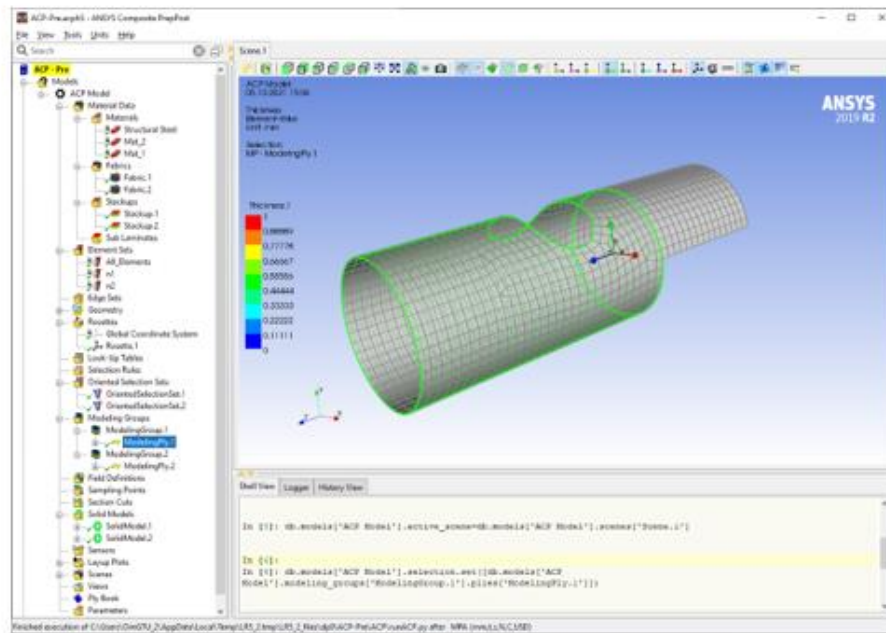


Рис. 7. Окно Setup

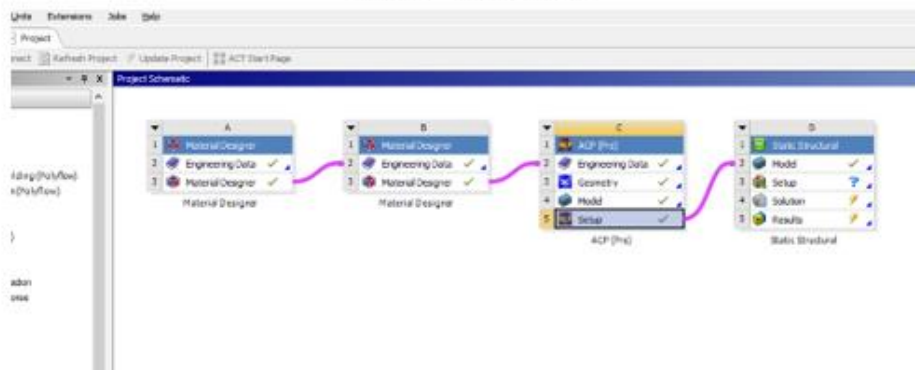


Рис. 8. Окно ANSYS Workbench

**Вывод:** Закреплены навыки работы в ANSYS Workbench и ANSYS – ACP (Pre) при создании многослойной оболочки из композитных материалов.

В результате выполнения лабораторной работы были получены следующие изображения: выбор материалов; создание первой элементарной ячейки; создание второй элементарной ячейки; импорт 3D-модели; окно Model; окно Setup.