

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Омский государственный технический университет»

А. М. Калашников

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ
С КОНТРОЛИРУЕМОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ
КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное текстовое электронное издание
локального распространения

В двух частях

Часть 2

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ

*Рекомендовано редакционно-издательским советом
Омского государственного технического университета*

Омск
Издательство ОмГТУ
2022

УДК 004:94:539.4
ББК 32.97+34.43
К17

Рецензенты:

А. Е. Раханский, к.т.н., старший научный сотрудник
ООО НТК «Криогенная техника»;

Д. Г. Новиков, к.т.н., главный эксперт направления
перспективного развития АО «Омск РТС»

Калашников, А. М. Моделирование и анализ объектов с контролируемой микроструктурой композитных конструкционных материалов : практикум : в 2 ч. / А. М. Калашников ; Минобрнауки России, Ом. гос. техн. ун-т. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2021–2022. – Систем. требования: процессор с частотой 1,3 ГГц и выше ; 256 Мб RAM и более ; свободное место на жестком диске 300 Мб и более ; Windows XP и выше ; разрешение экрана 1024×768 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – Загл. с титул. экрана. – ISBN 978-5-8149-3371-3.

Ч. 2 : Инженерный анализ. – 2022. – CD-ROM (14,7 Мб) : ил. – ISBN 978-5-8149-3444-4.

Практикум состоит из двух частей. Во второй части приведены лабораторные работы по изучению инструментов для подготовки и проведения инженерного анализа объектов с контролируемой микроструктурой композитных конструкционных материалов.

Предназначен для обучающихся по направлениям 28.03.02 «Наноинженерия»; 15.03.02, 15.04.02 «Технологические машины и оборудование»; 16.03.03, 16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

Редактор *Т. А. Москвитина*

Компьютерная верстка *Л. Ю. Бутаковой*

*Для дизайна этикетки использованы материалы
из открытых интернет-источников*

Сводный темплан 2022 г.
Подписано к использованию 04.05.22.
Объем 14,7 Мб.

© ОмГТУ, 2022

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 осуществляется оптимизация конструкции путем корректировки исходной CAD-модели. Поэтому при отработке виртуальной модели первый же созданный рабочий образец будет работоспособен и надежен.

Цель данного практикума – помочь студентам приобрести навыки для проведения анализа объектов с контролируемой микроструктурой композитных конструкционных материалов с применением CAE-пакетов на примере Ansys при выполнении самостоятельной работы, курсового и дипломного проектирования.

Вторая часть учебного пособия направлена на углубленное изучение процессов инженерного анализа объектов с контролируемой микроструктурой композитных конструкционных материалов с применением таких модулей, как ANSYS Workbench, ANSYS Material Designer, ANSYS Composite PrepPost, ANSYS Static Structural, Transient Structural, Steady-State Thermal и инструмента Parameters.

Приобретение и закрепление знаний в области моделирования объектов с контролируемой микроструктурой композитных конструкционных материалов у студентов происходит в процессе выполнения следующих лабораторных работ:

1. Статический прочностной анализ пластины из композиционных материалов.

2. Динамический прочностной анализ оболочки из композиционных материалов.

3. Тепловой анализ оболочки из композиционных материалов.

4. Проведение комбинированного анализа оболочки из композиционных материалов.

5. Использование инструмента Parameters при моделировании деформации оболочки из композиционных материалов.

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, обеспечивает уникальную интеграцию с CAD-системами в процессе проектирования.

Рабочее окно *Workbench* представлено на рис. 1.

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).

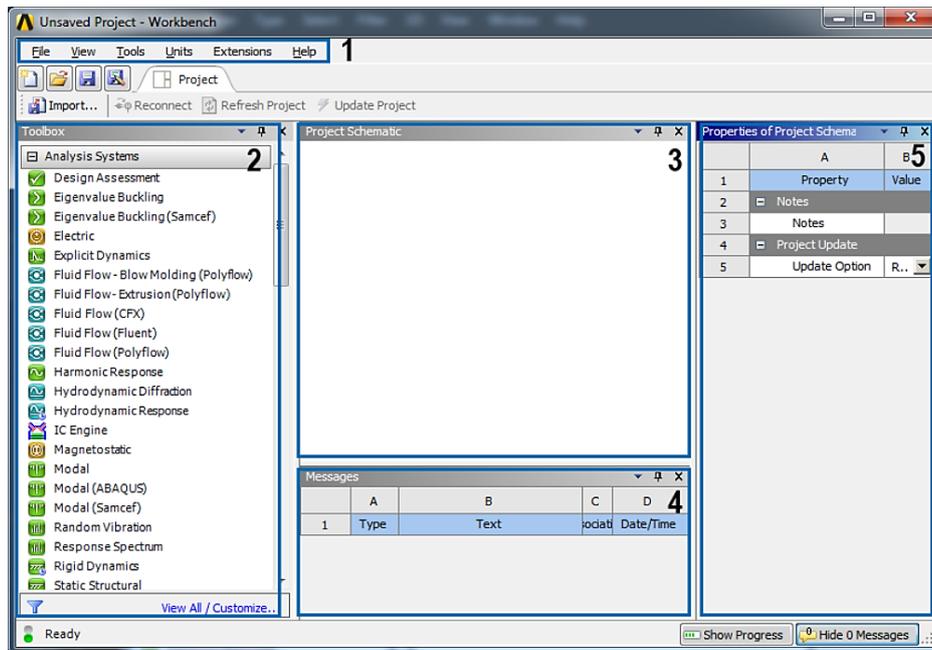


Рис. 1. Рабочее окно Workbench:

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

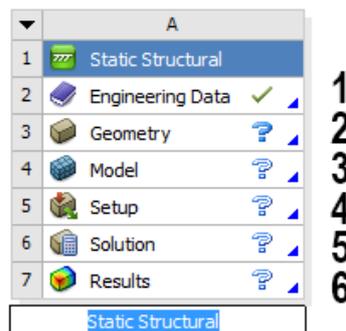


Рис. 2. Блок проекта:

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

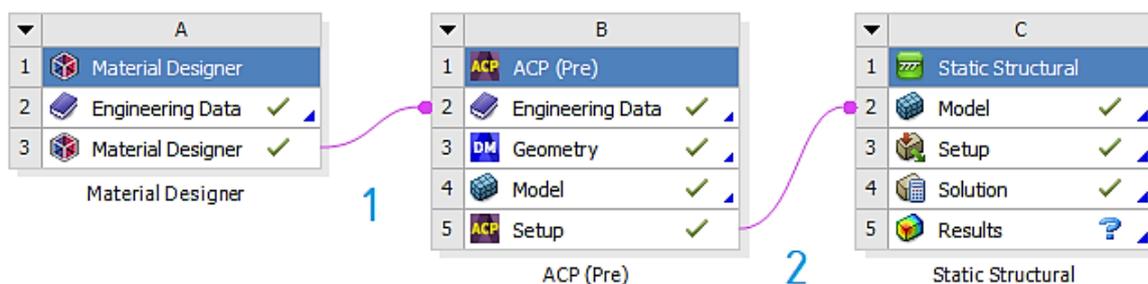


Рис. 3. Настройка связей:

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

В среду *ANSYS Workbench* входит несколько различных приложений: *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.

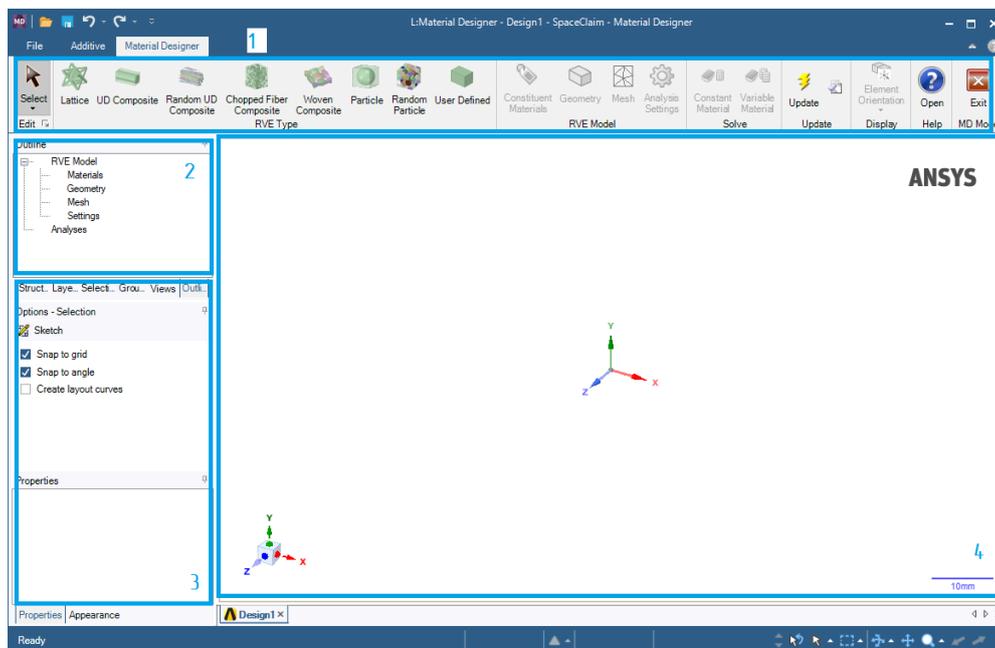


Рис. 4. Окно Material Designer:

- 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.

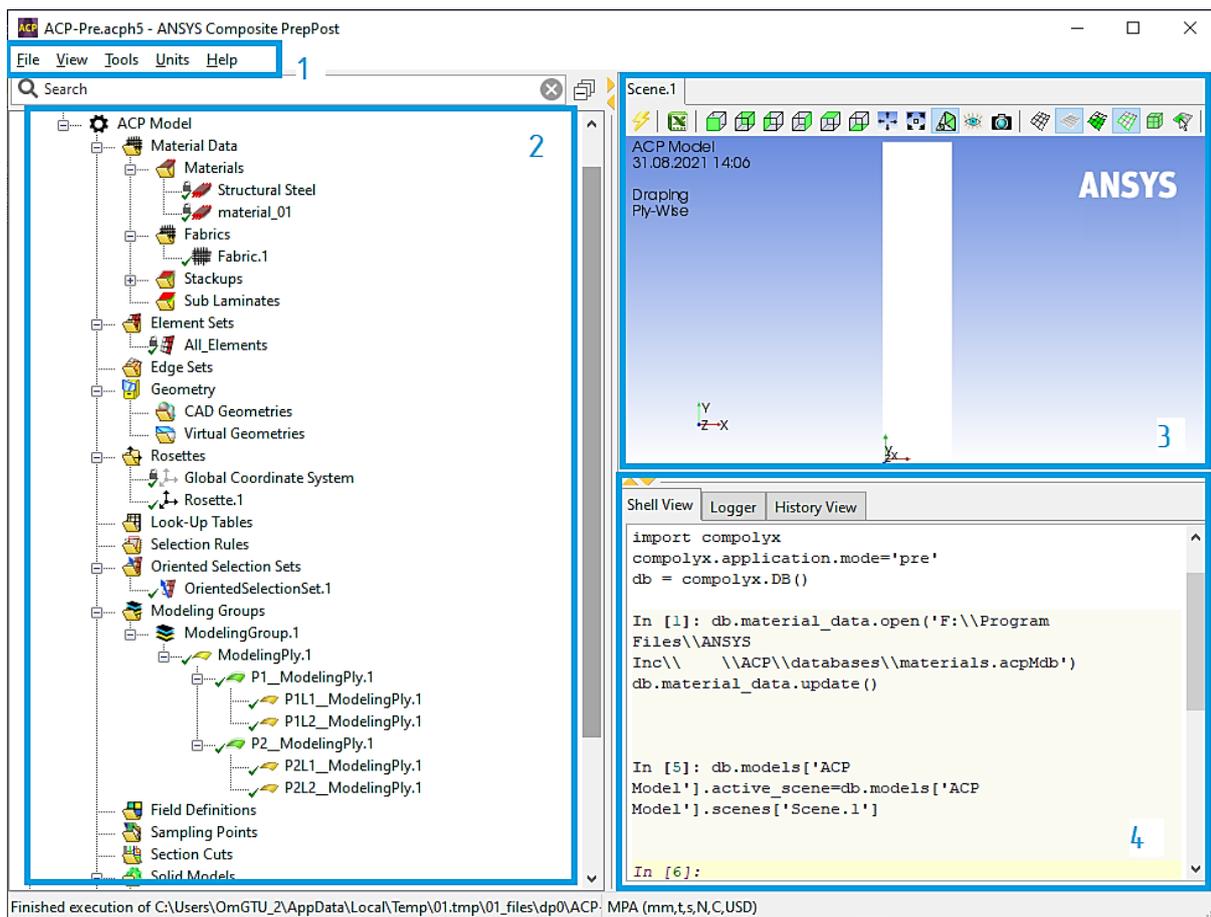


Рис. 5. Окно ACP:

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 Emax 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.

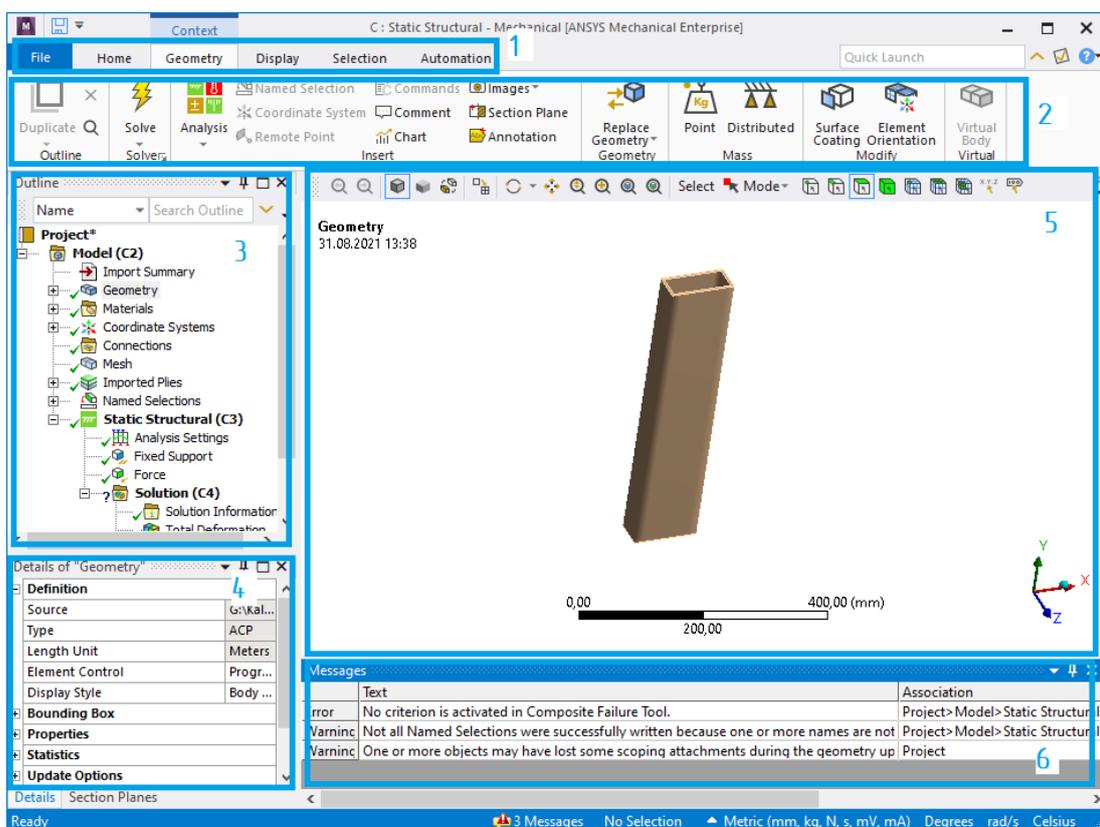


Рис. 6. Окно Mechanical:

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

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 проекта меняются в зависимости от выбранного раздела дерева проекта и предназначены для контроля параметров проекта.

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

Лабораторная работа № 1

СТАТИЧЕСКИЙ ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ПЛАСТИНЫ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы

Изучение основных этапов проведения статического прочностного анализа в среде *ANSYS Workbench*. Приобретение студентами навыков в использовании программного инструмента *ANSYS Workbench – Static Structural* при проведении прочностного анализа пластины из композиционных материалов, созданных с помощью *Material Designer* и *ACP (Pre)*.

Описание работы

Используя модули *Material Designer*, *ACP (Pre)* и *Static Structural*, необходимо рассчитать полное перемещение (*Total Deformation*) и эквивалентные напряжения (*Equivalent Stress*) для пластины из композиционных материалов (рис. 1–3). Известны материал волокна и наполнителя, тип объемного элемента, участок жесткой заделки (*Fixed Support*) и направление действия вектора давления P (*Pressure*), приложенного к поверхности (табл. 1).

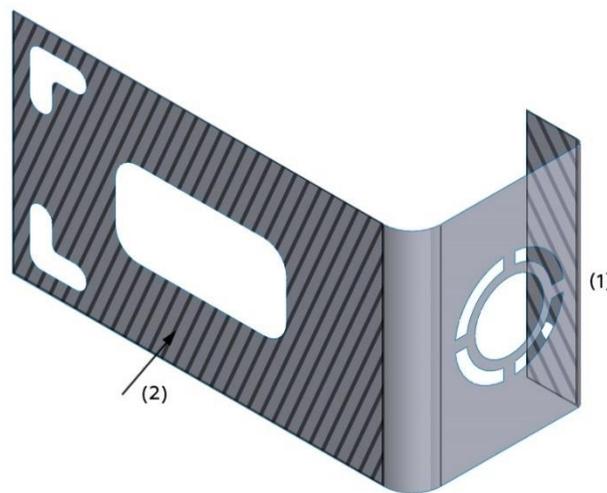


Рис. 1. Схема № 1:

1 – жесткая заделка; 2 – давление P

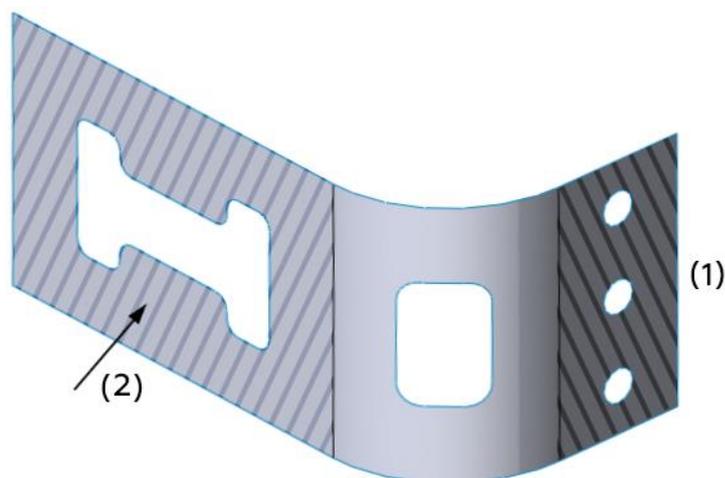


Рис. 2. Схема № 2:

1 – жесткая заделка; 2 – давление Р

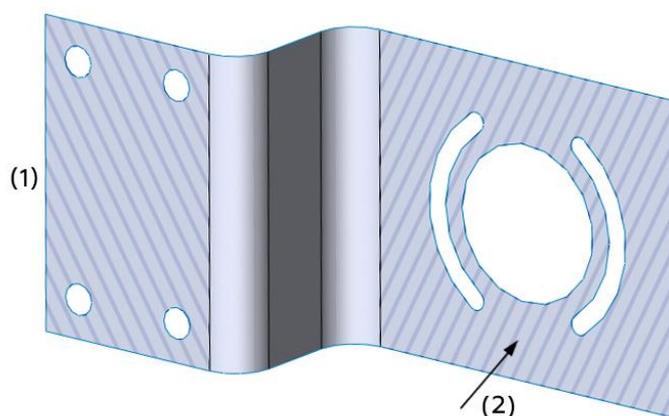


Рис. 3. Схема № 3:

1 – жесткая заделка; 2 – давление Р

Таблица 1

Исходные данные

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента	Давление Р, кПа
1	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однонаправленная	1
2	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Плетеная	0,5
3	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однонаправленная	1,4

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента	Давление P, кПа
4	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	-1
5	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Плетеная	0,4
6	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Сферическая	0.2
7	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	-0,5
8	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	-0,4
9	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однонаправленная	-1
10	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однонаправленная	1
11	2	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	1,2
12	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	1
13	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Сферическая	0,5
14	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однонаправленная	-1,4
15	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	1
16	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однонаправленная	-1

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента	Давление P, кПа
17	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Плетеная	0,5
18	3	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	-0,4
19	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	-1
20	2	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однонаправленная	1
21	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однонаправленная	1,2
22	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	0,8
23	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однонаправленная	0,5
24	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Сферическая	-0,7
25	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	-1
26	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	-1,2
27	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Сферическая	-0,4
28	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	0,8
29	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однонаправленная	1
30	3	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	0,5

Порядок выполнения лабораторной работы

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

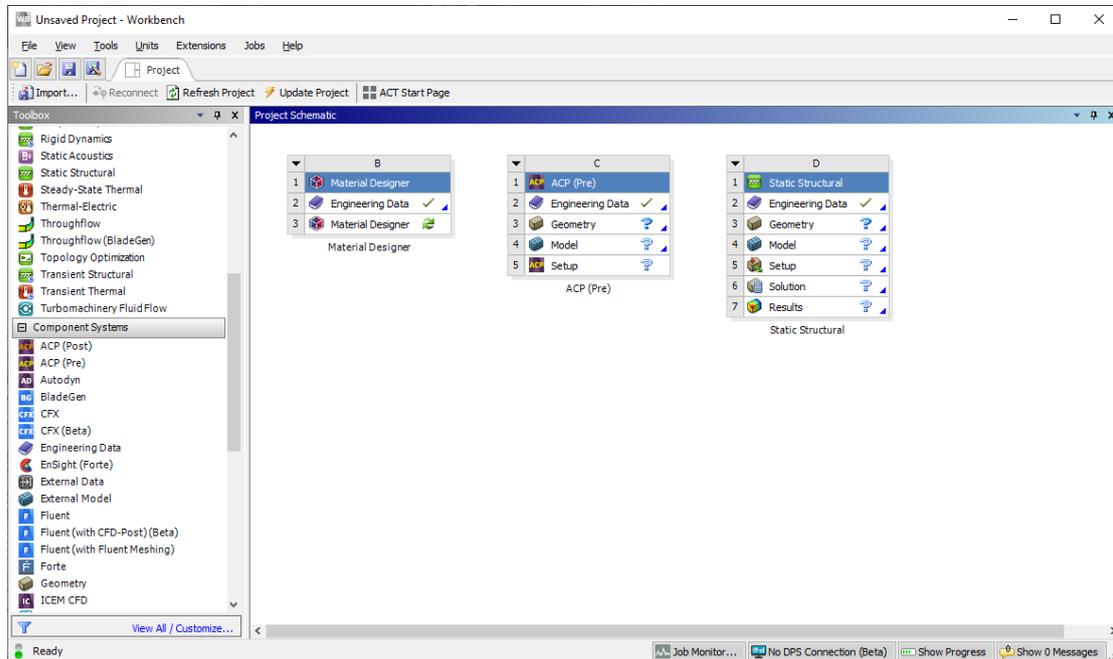
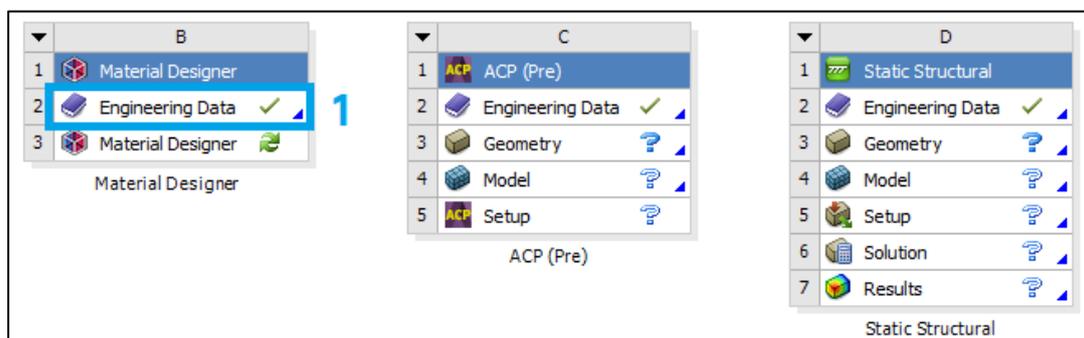


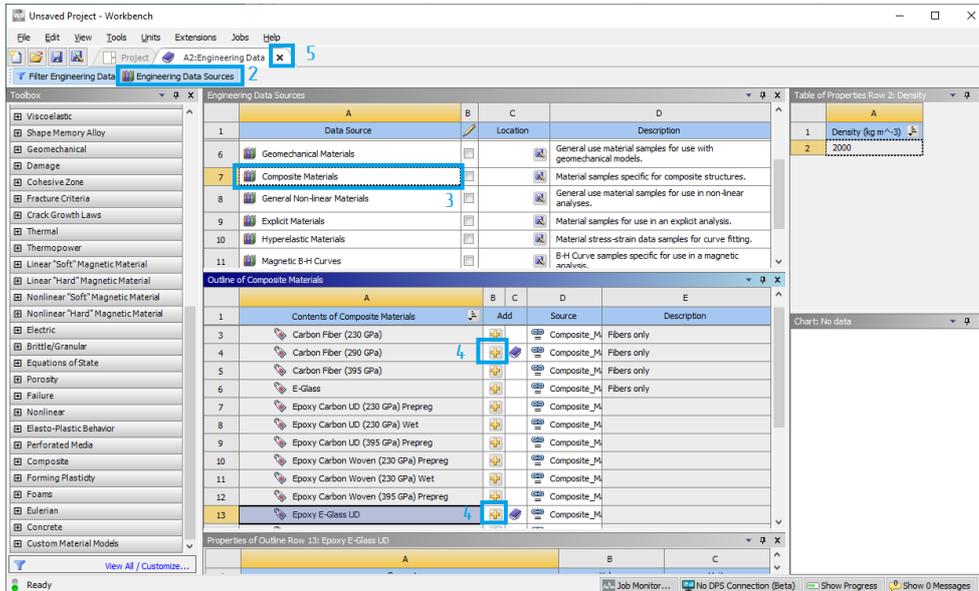
Рис. 4. Добавление модулей

2. Дважды нажимаем левой кнопкой мышки (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

Рис. 5. Выбор материала волокна и наполнителя (начало)



б

Рис. 5. Выбор материала волокна и наполнителя (окончание)

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

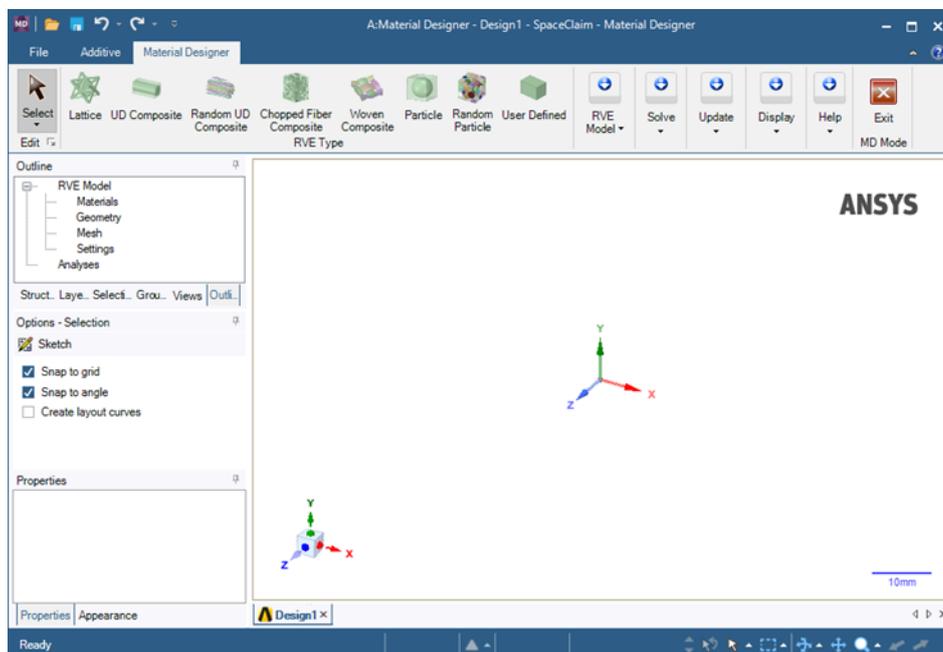


Рис. 6. Окно Material Designer

4. В верхней панели инструментов (рис. 7) выбираем тип объемного элемента модифицированной микроструктуры согласно своему варианту (табл. 1).



Рис. 7. Выбор объемного элемента модифицированной микроструктуры

5. В появившейся слева панели присваиваем материал матрицы/наполнителя (1) и частицы/волокон (2) (рис. 8), после чего применяем изменения (3).

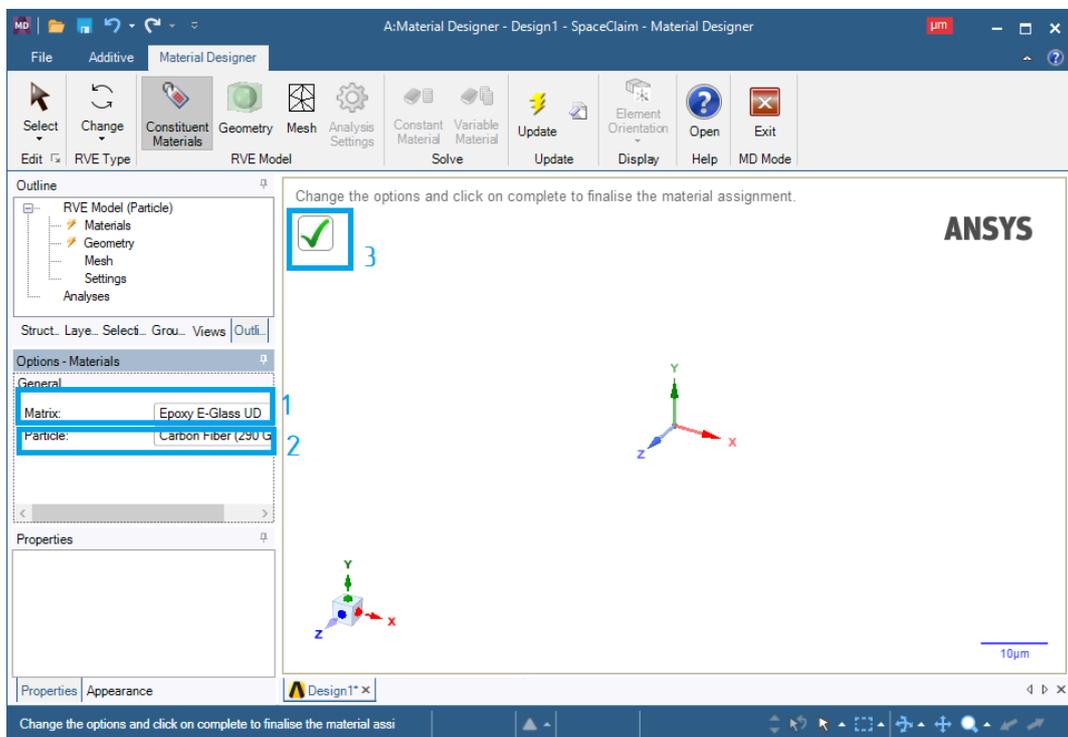


Рис. 8. Присвоение материалов

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 на галочку (3) и на рабочем пространстве появится трехмерная модель сгенерированного объемного элемента (4).

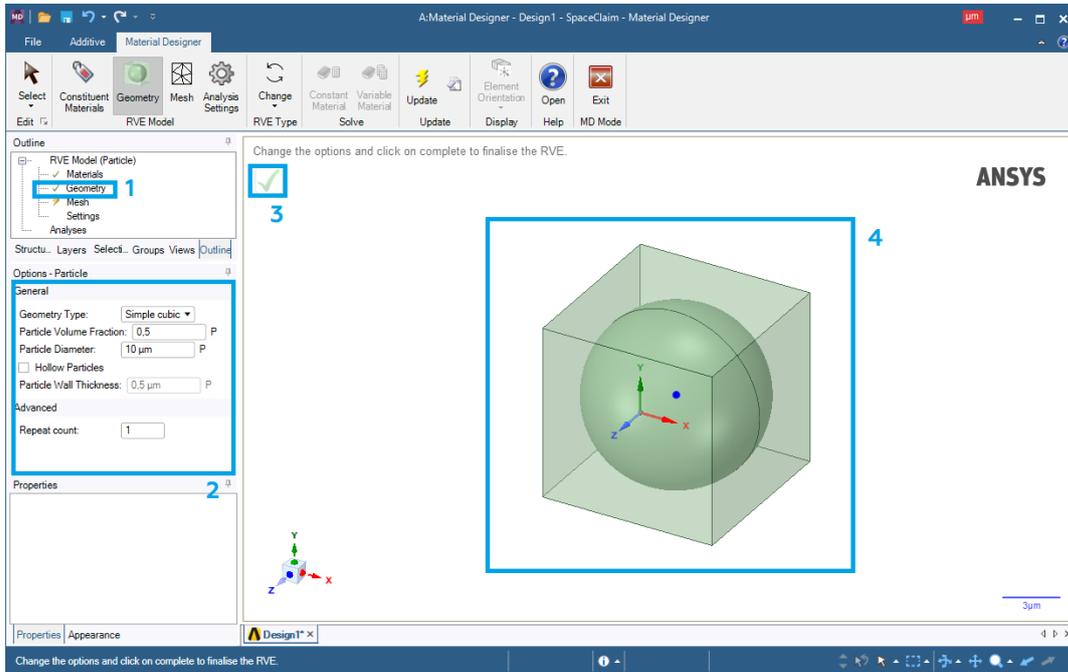


Рис. 9. Создание геометрии объемного элемента

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.

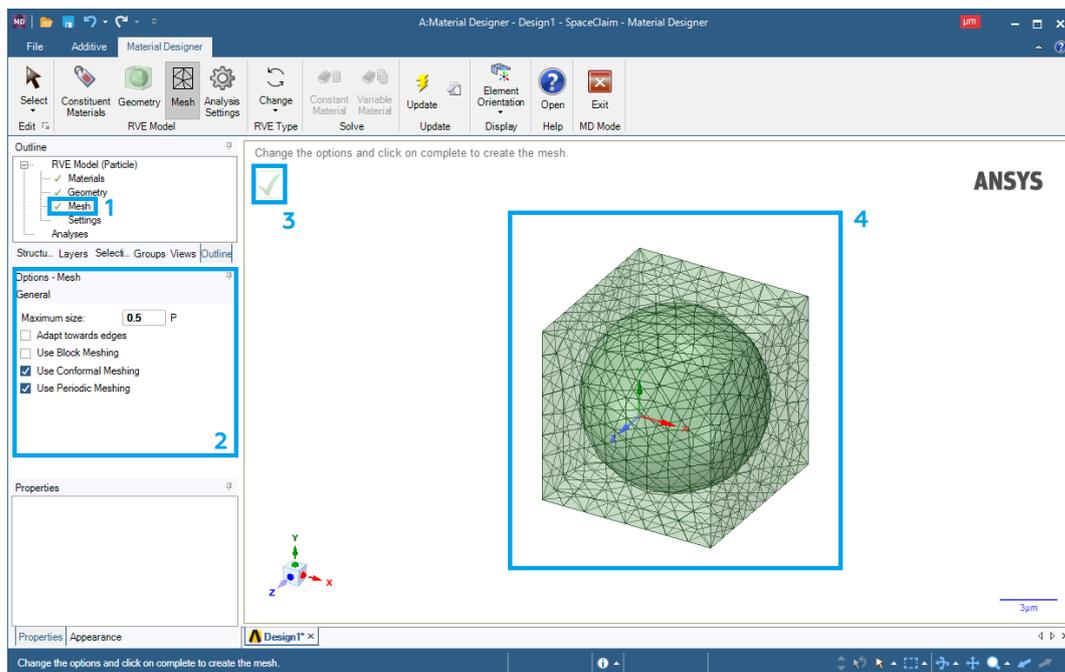


Рис. 10. Создание сетки объемного элемента

8. Нажимаем ЛКМ на **Settings** (1). На панели слева (2) можно выставить интересные 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).

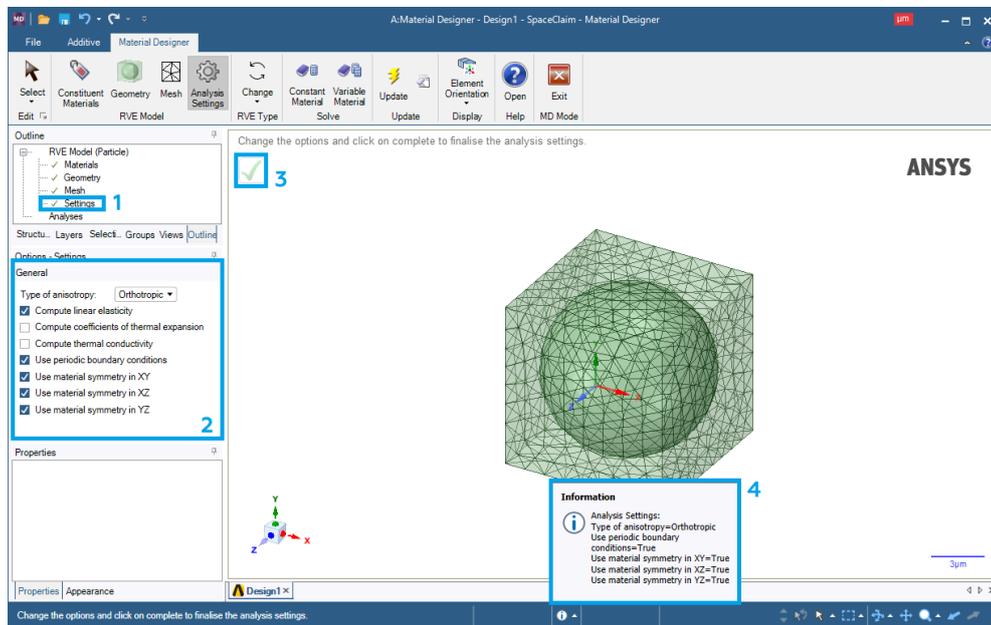


Рис. 11. Выбор характеристик частицы

9. Присваиваем название созданному объемному элементу (рис. 12).

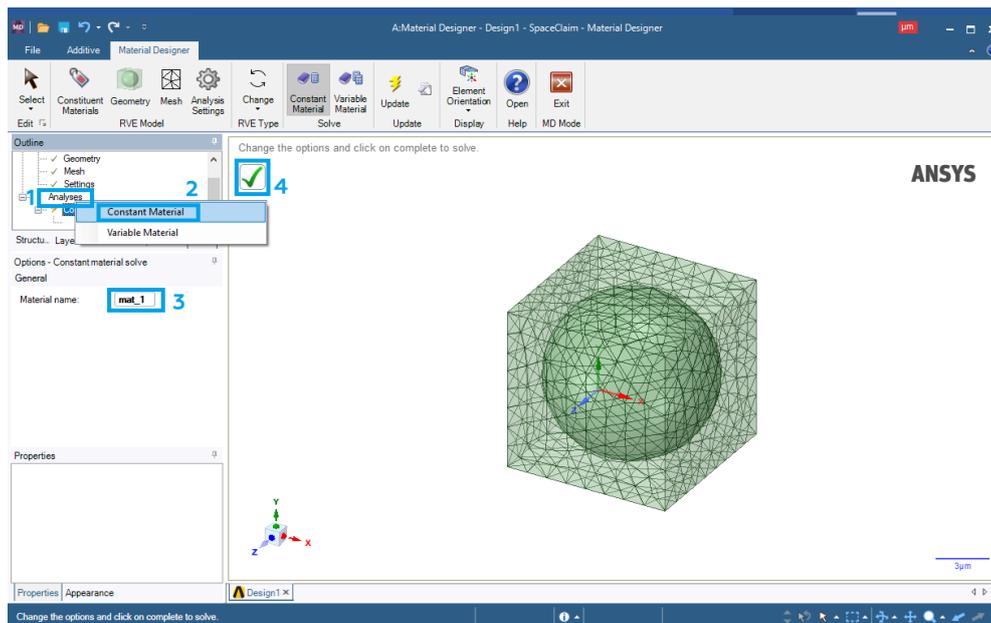


Рис. 12. Создание сетки объемного элемента

Для этого нажимаем правую кнопку мыши (ПКМ) на *Analyses* (1) – *Constant Material* (2), вводим название материала (3) и нажимаем на галочку (4). Закрываем окно *Material Designer*.

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*  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 выбираем *Update*.

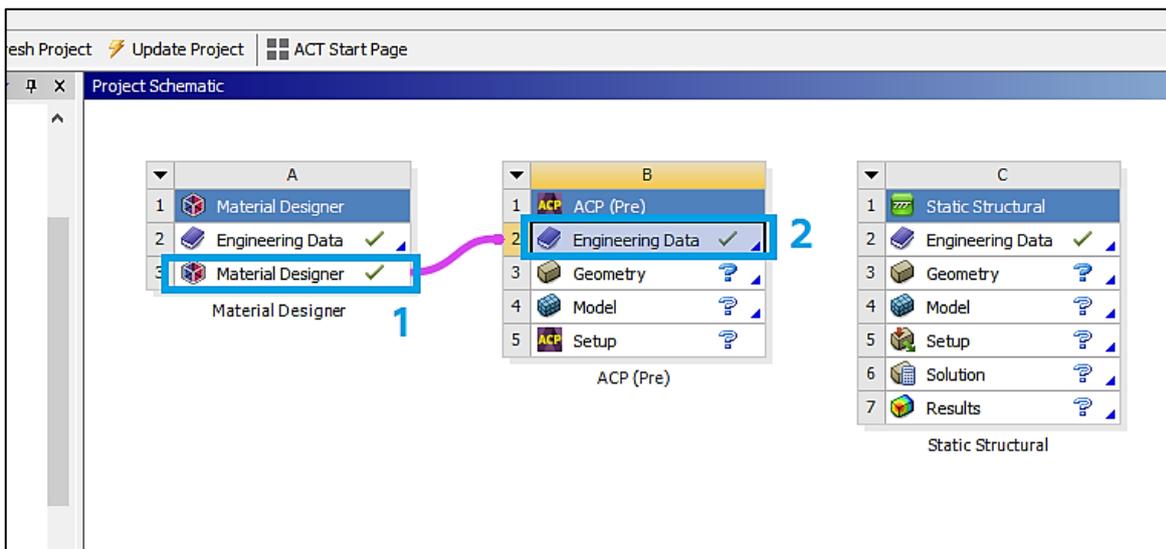


Рис. 13. Создание связи

11. Импортируем геометрию:

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

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

11.3. 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 жмем кнопку *Открыть*. Импортированная геометрия показана на рис. 14.

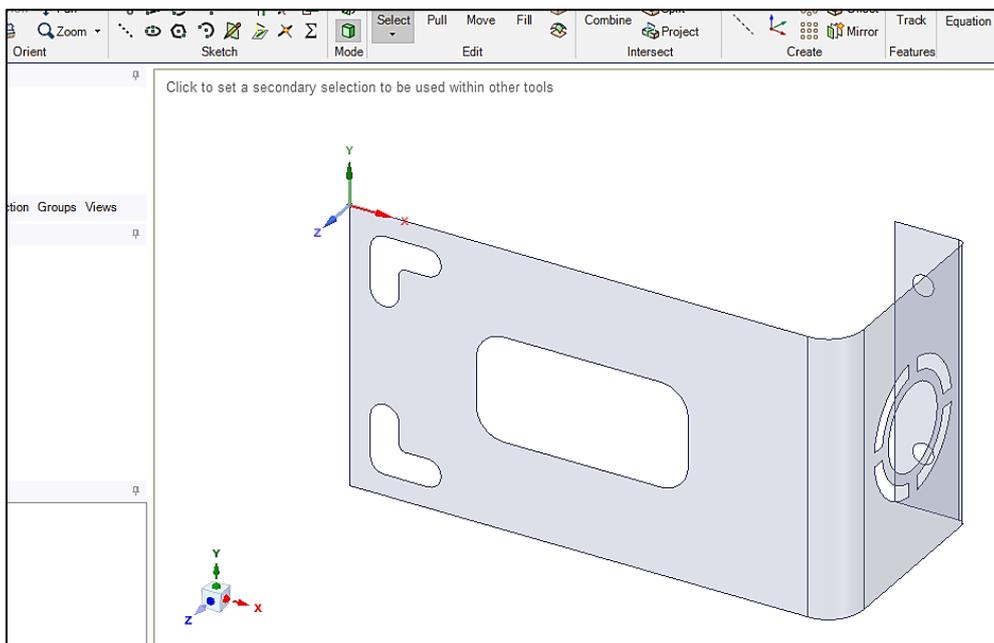


Рис. 14. Импорт геометрии

11.4. После этого окно геометрии можно закрыть.

12. Приступаем к созданию сетки:

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

12.2. В открывшемся окне раскрываем вкладку **Geometry (1)**, выделяем геометрию (2) и задаём толщину (3) 0,5 мм (рис. 15).

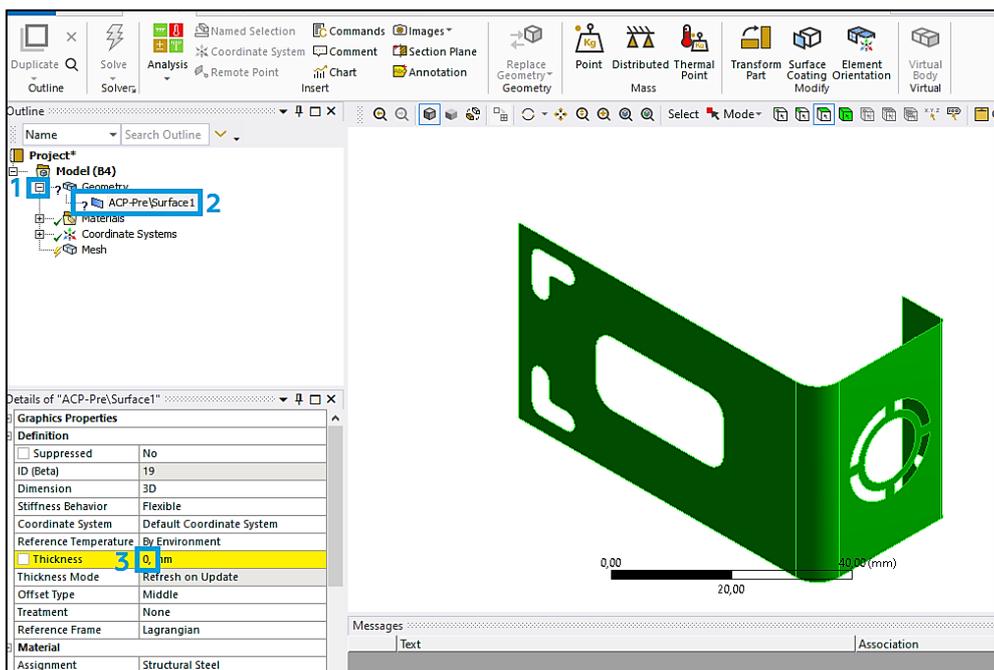


Рис. 15. Задание толщины пластины

12.3. Задаем настройки сеточной модели:

– жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Method*, выделяем геометрию (1) и выбираем метод (2) – *Multizone Quad/Tri* (рис. 16);

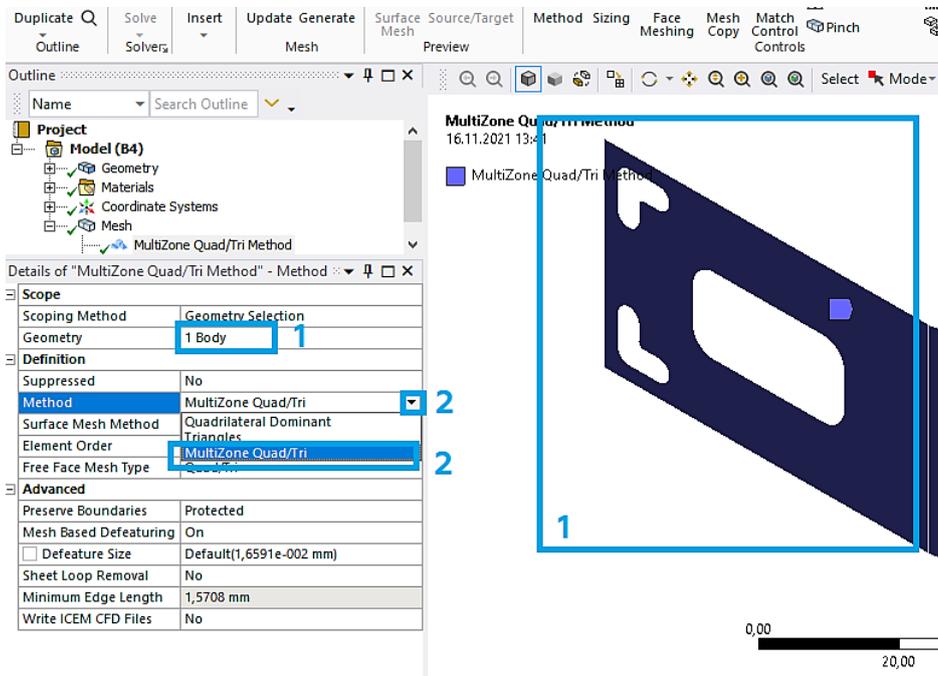


Рис. 16. Задание настроек сетки

– жмем ПКМ на *Mesh – Insert – Sizing*, выделяем всю геометрию (1) и задаем величину ячеек 1 мм (2) (рис. 17).

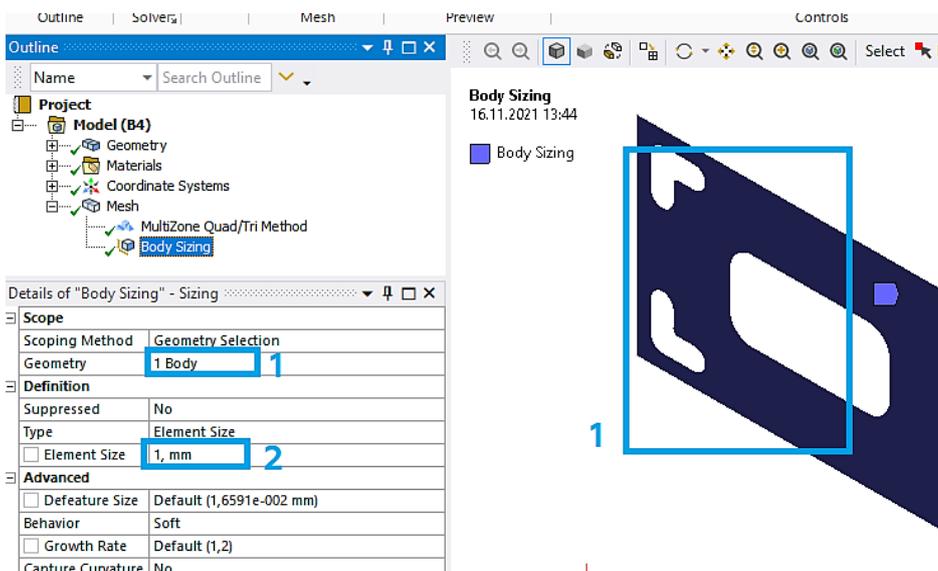


Рис. 17. Задание настроек сетки

12.4. Нажимаем ПКМ на *Mesh* и выбираем *Generate mesh*. Готовая сеточная модель представлена на рис. 18. Закрываем окно блока *Model*.

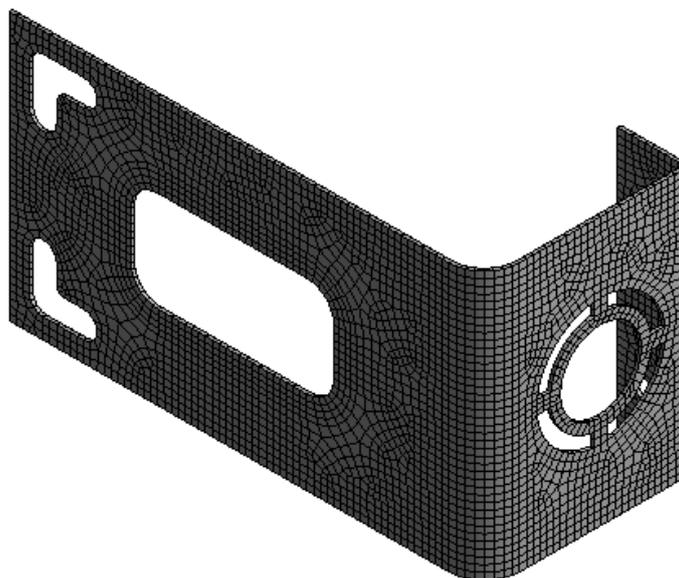


Рис. 18. Генерация сеточной модели

12.5. Присваиваем имена поверхностям, к которым будут прикладываться силы. Выделяем каждую область ЛКМ, после чего нажимаем на неё ПКМ (1) и выбираем *Create Named Selection...* (2) (рис. 19). В итоге две поверхности будут иметь персональное название (3).

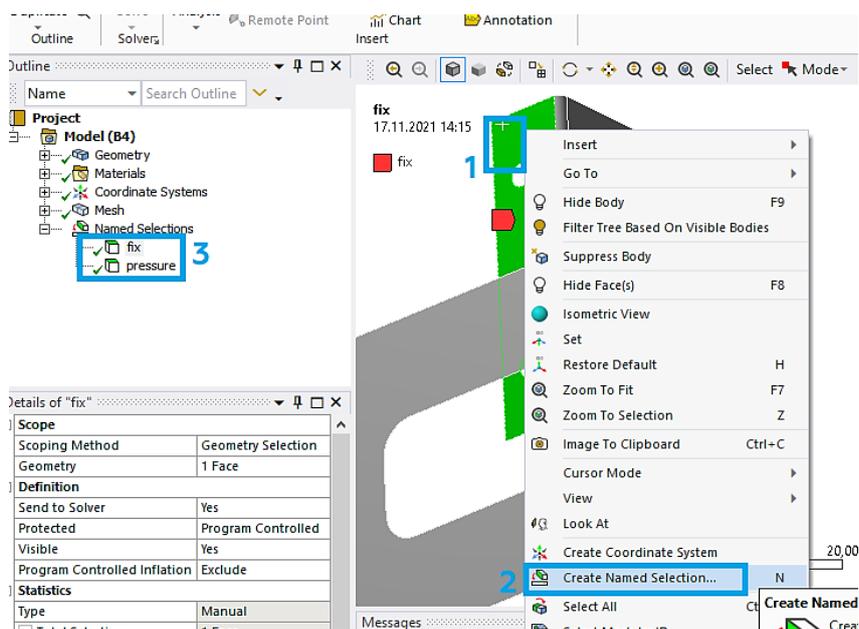


Рис. 19. Присвоение имен для поверхностей

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

13. Теперь можно настроить слои созданных композитных материалов:

13.1. В окне *Workbench* дважды нажимаем на *Setup* в блоке *ACP (Pre)*. После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 20.

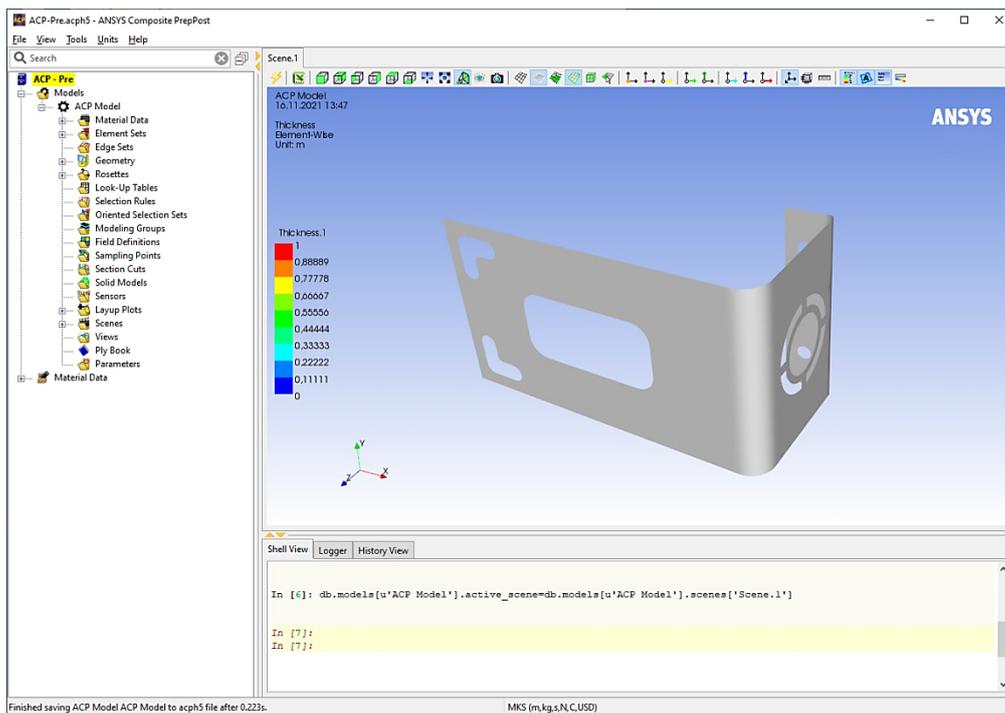


Рис. 20. Окно ANSYS Composite PrepPost

13.2. Сразу изменяем единицы измерения на мм. Для этого нажимаем на *Units* (1) и выбираем *MPA (mm,t,s,N,C,USD)* (2) (рис. 21).

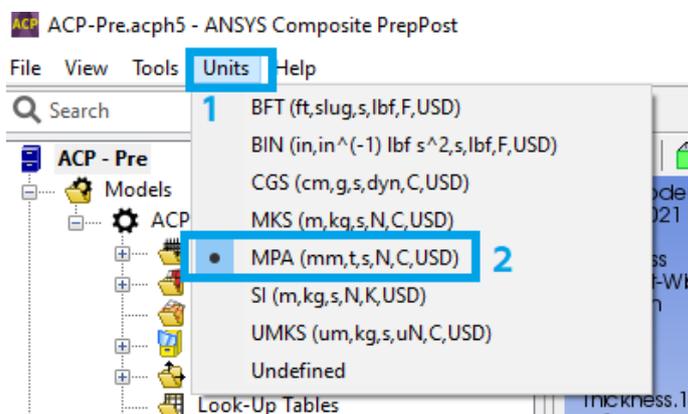


Рис. 21. Изменение единиц измерения

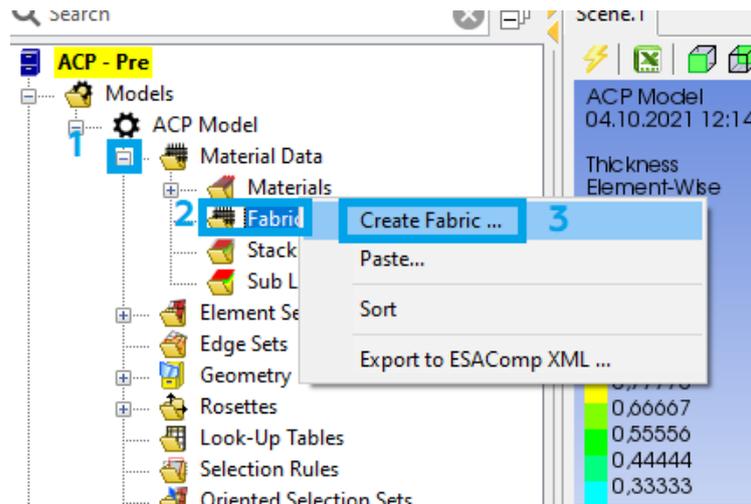
13.3. Создаем слой волокон композитного материала (рис. 22):

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

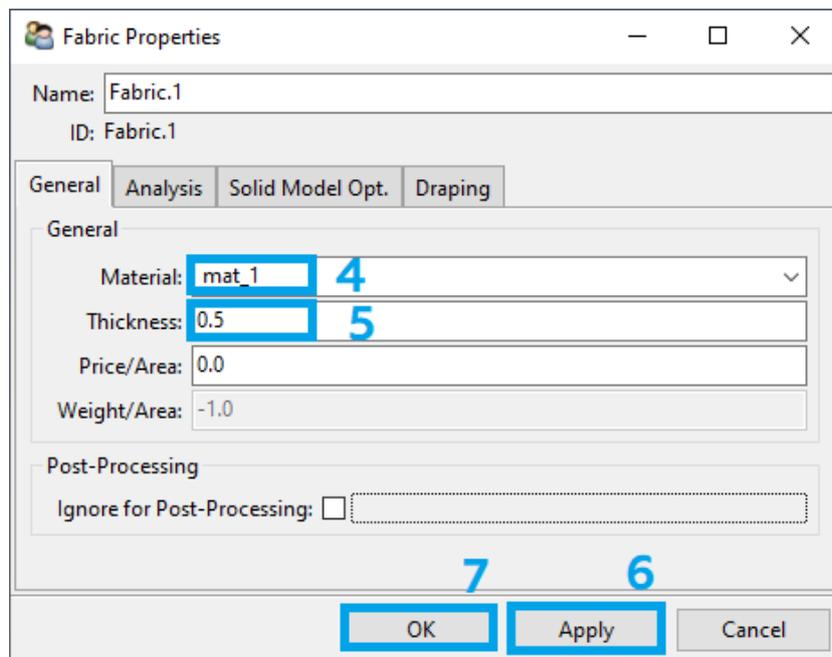
– выбираем материал (4), задаем толщину 0.5 мм (5) и жмем **Apply** (6).

Если на экране появится окно с предупреждением, то его можно закрыть.

После этого окно можно закрыть (7).



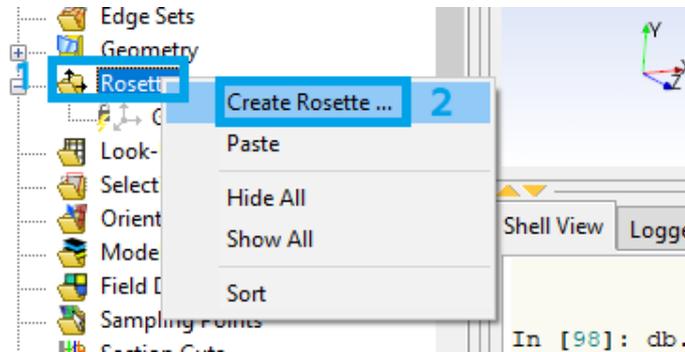
a



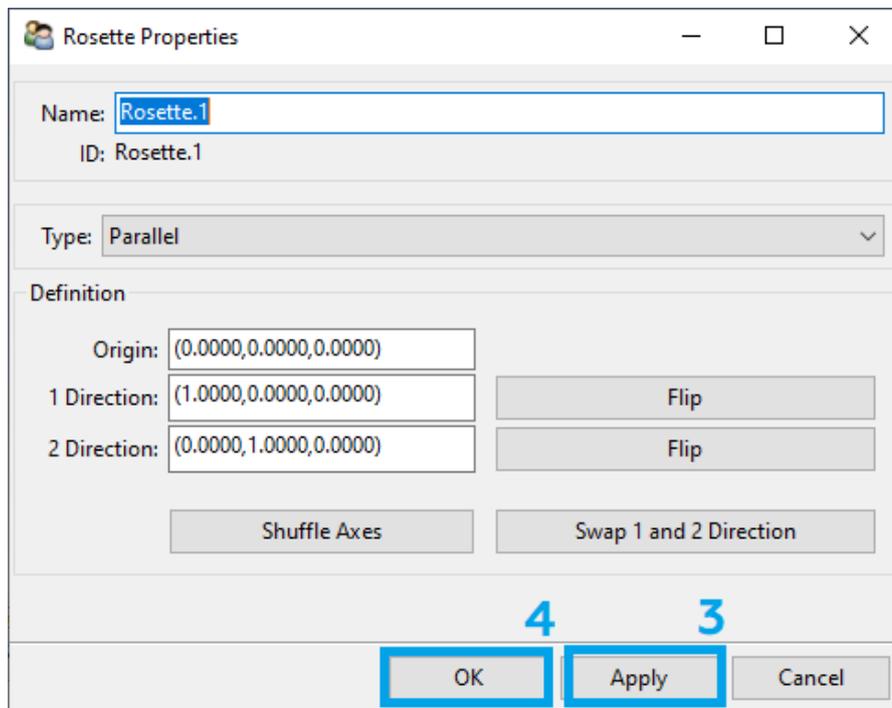
б

Рис. 22. Создание слоя волокон

13.4. Создаем ось координат (рис. 23). Нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1), выбираем **Create Rosette...** (2) и ждем **Apply** (3). После этого окно можно закрыть (4).



а

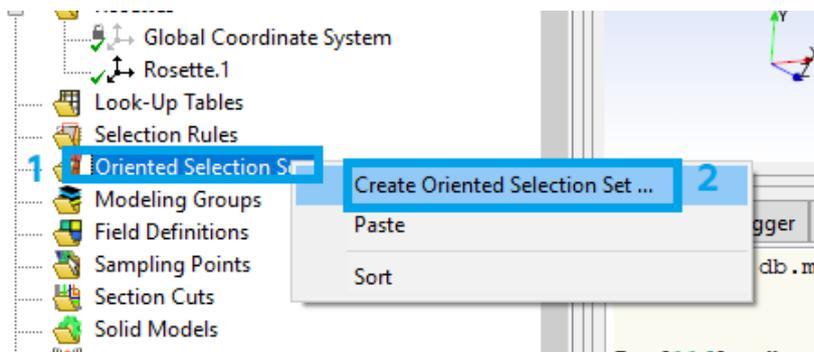


б

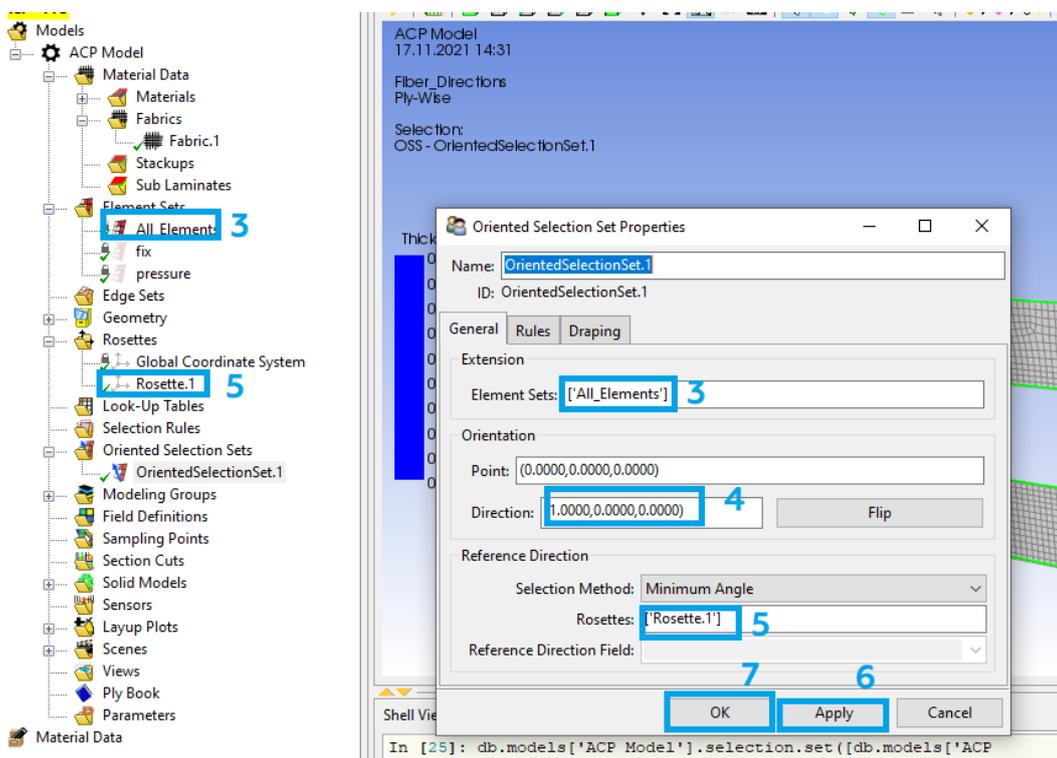
Рис. 23. Создание оси координат

13.5. Создаем ориентированный блок (рис. 24):

- нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1) и выбираем **Create Rosette...** (2);
- выбираем элемент/геометрию (выбираем его в дереве построения в разделе **Element Sets**) (3), настраиваем ориентацию (4), выбираем созданную ось координат (5) и ждем **Apply** (6). После этого окно можно закрыть (7).



a

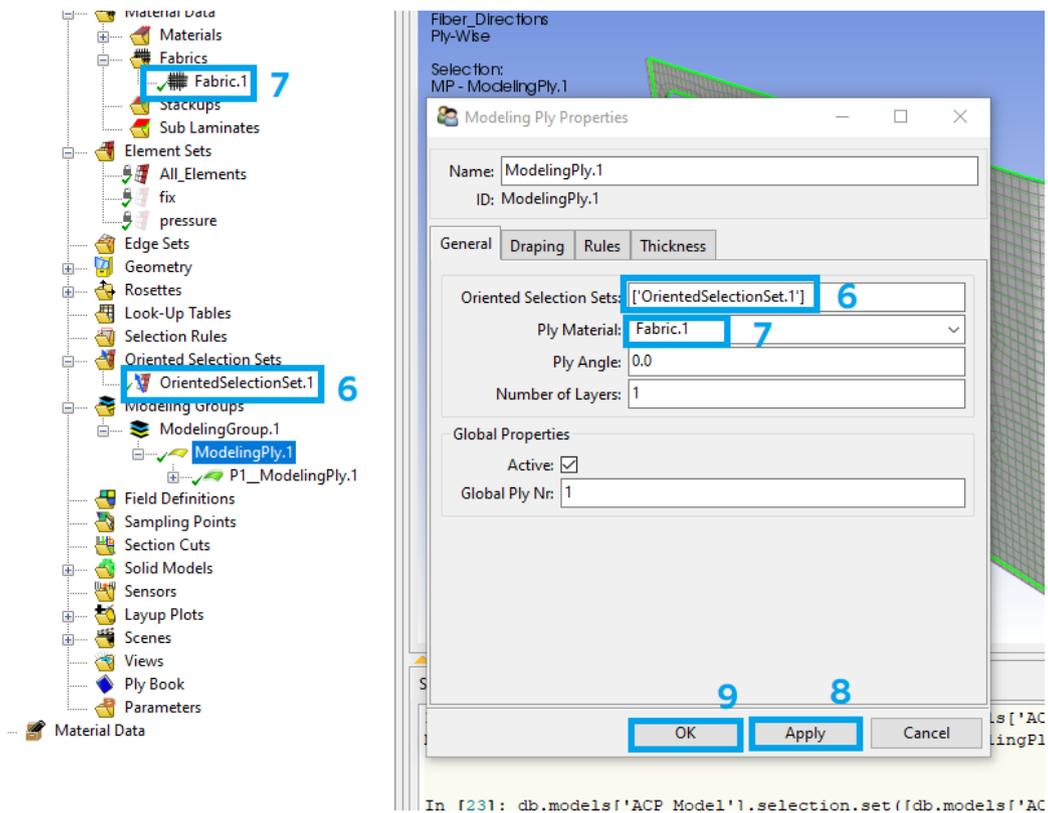


б

Рис. 24. Создание ориентированного блока

13.6. Создаем модельную группу (объединение ориентированного элемента и пакета слоев) (рис. 25):

- 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 слой композитного материала и жмем **Apply** (8). После этого окно можно закрыть (9).



6

Рис. 25. Создание модельной группы (окончание)

13.7. Включаем отображение сетки (1) и направление волокон (2) в верхней панели (рис. 26). Выбрав модельную группу (3), видим зеленые стрелочки, показывающие направление волокон (4).

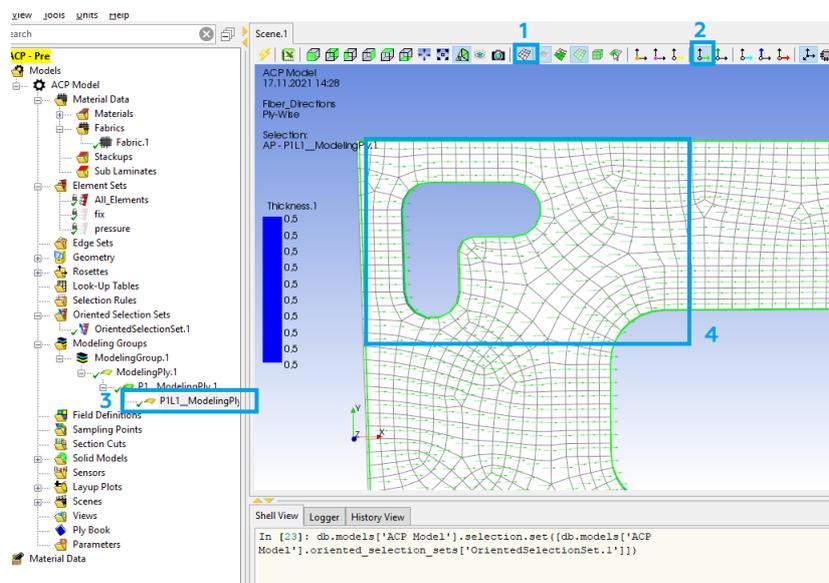
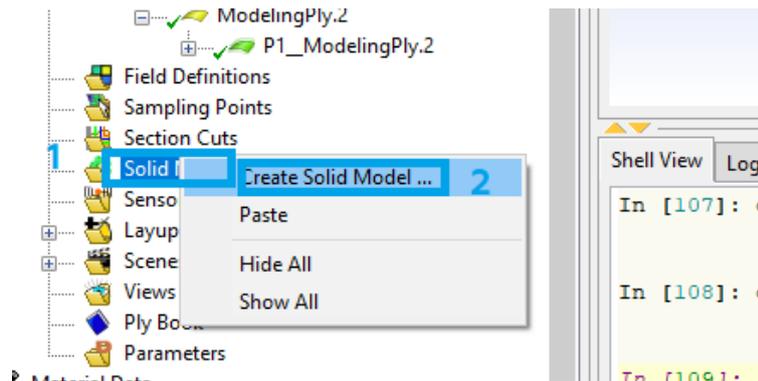


Рис. 26. Отображение направления волокон

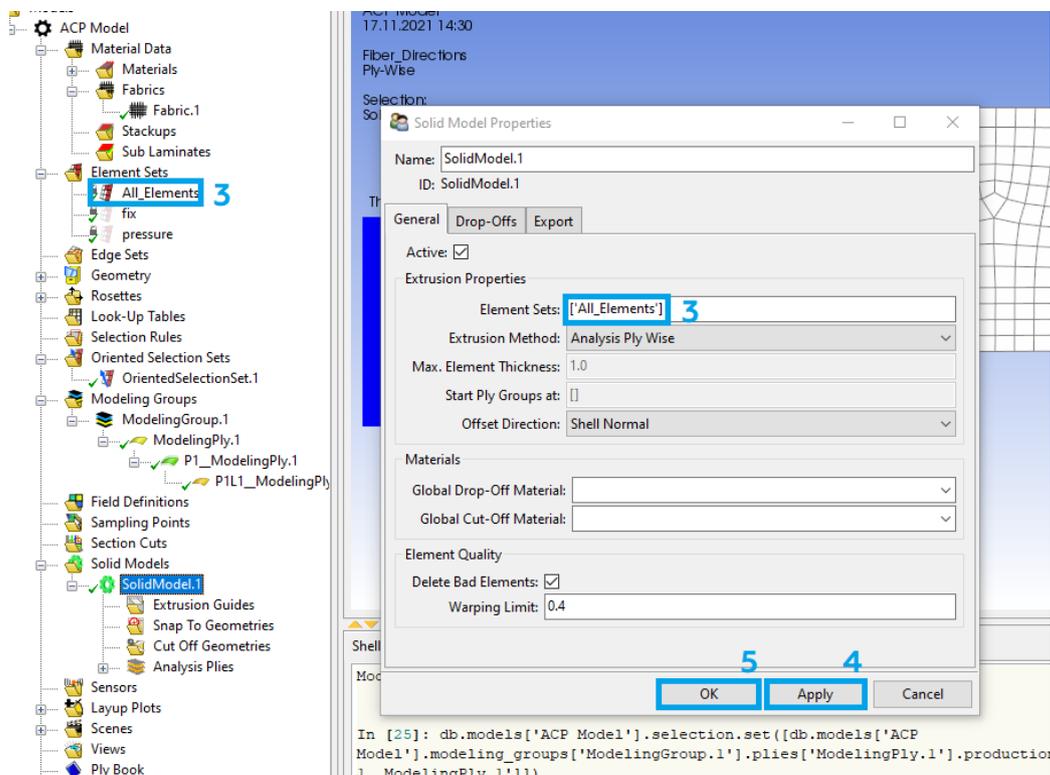
13.8. Создаем твердотельную модель (рис. 27):

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

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



а



б

Рис. 27. Создание твердотельной модели

13.9. Закрываем окно *ANSYS Composite PrepPost*.

14. Жажимаем ЛКМ блок *Setup* (1) в модуле *ACP (Pre)* и перетаскиваем его на блок *Model* (2) в модуле *Static Structural*. После этого появляется окно с двумя вариантами (рис. 28): первый переместит твердотельную модель (есть возможность анализировать каждый слой выбранного сегмента, но 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*.

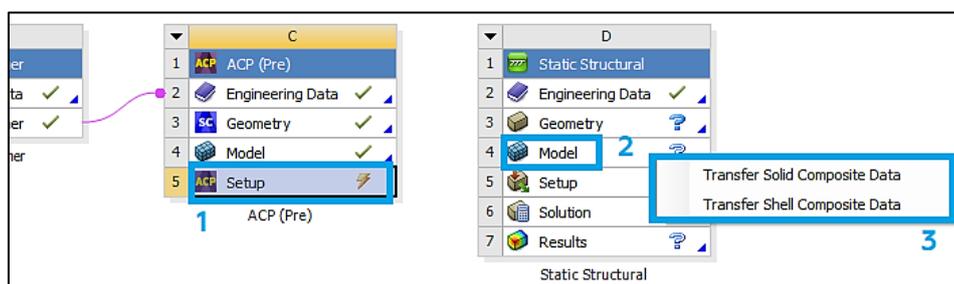


Рис. 28. Импорт данных в Static Structural

15. Теперь можно приступить к подготовке и проведению прочностного расчета:

15.1. В окне Workbench дважды нажимаем на *Model* в блоке *Static Structural*. После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 29.

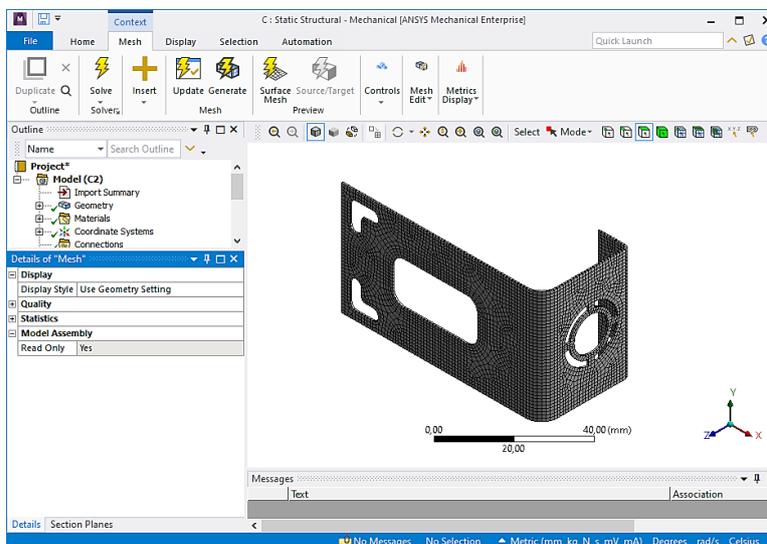
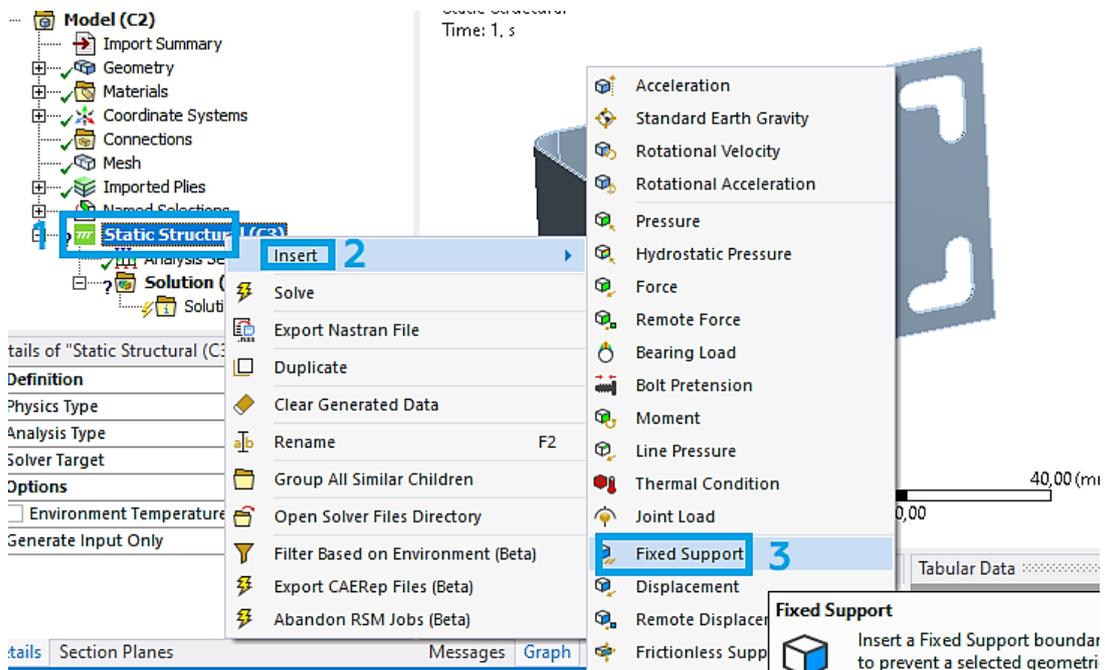


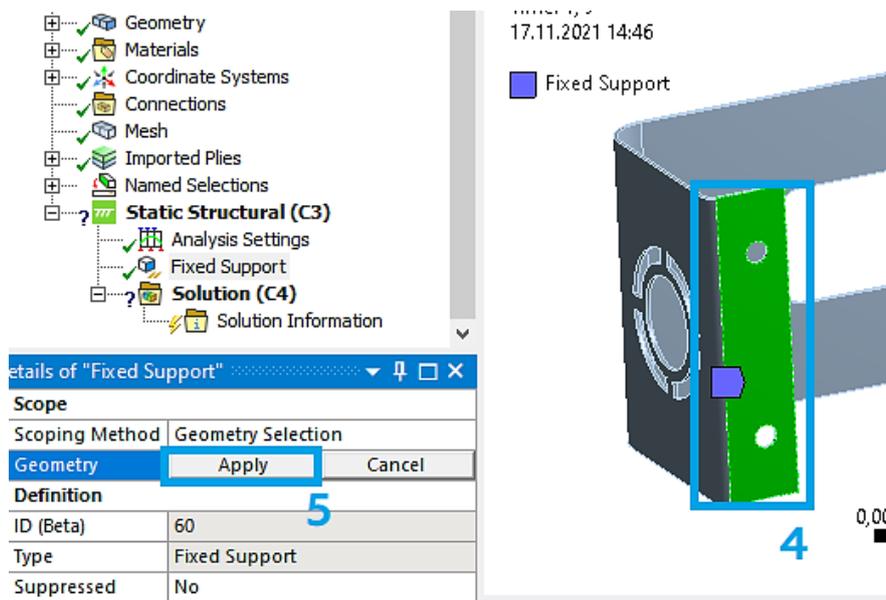
Рис. 29. Окно Mechanical

15.2. Задаем граничные условия:

– чтобы зафиксировать геометрию в пространстве, нажмем ПКМ на *Static Structural* (1) и выберем *Insert* (2) – *Fixed Support* (3) (рис. 30, а). После чего укажем нужную поверхность (4) и нажмем *Apply* (5) (рис. 30, б);



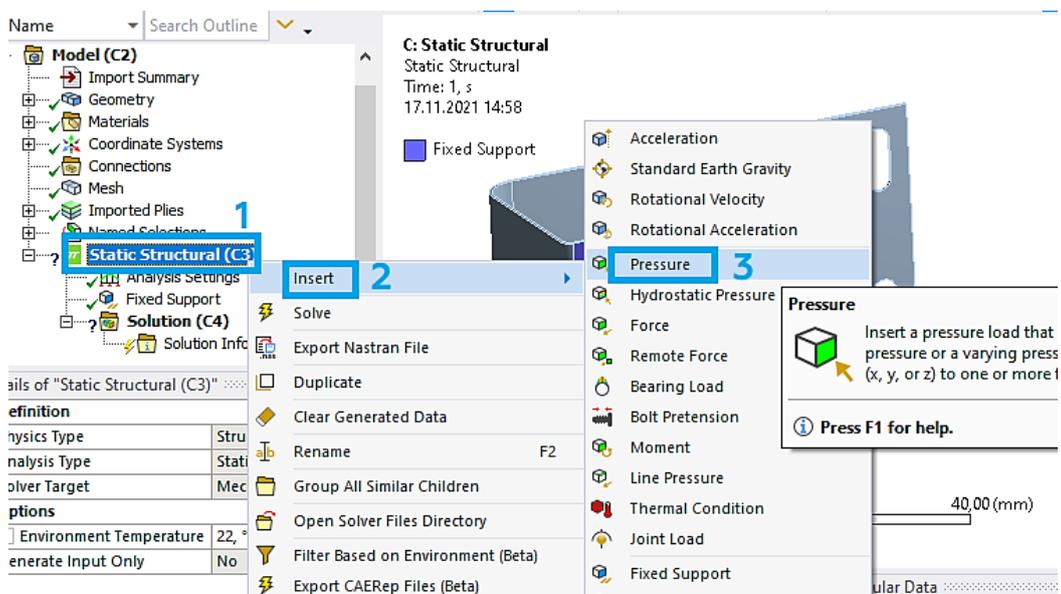
а



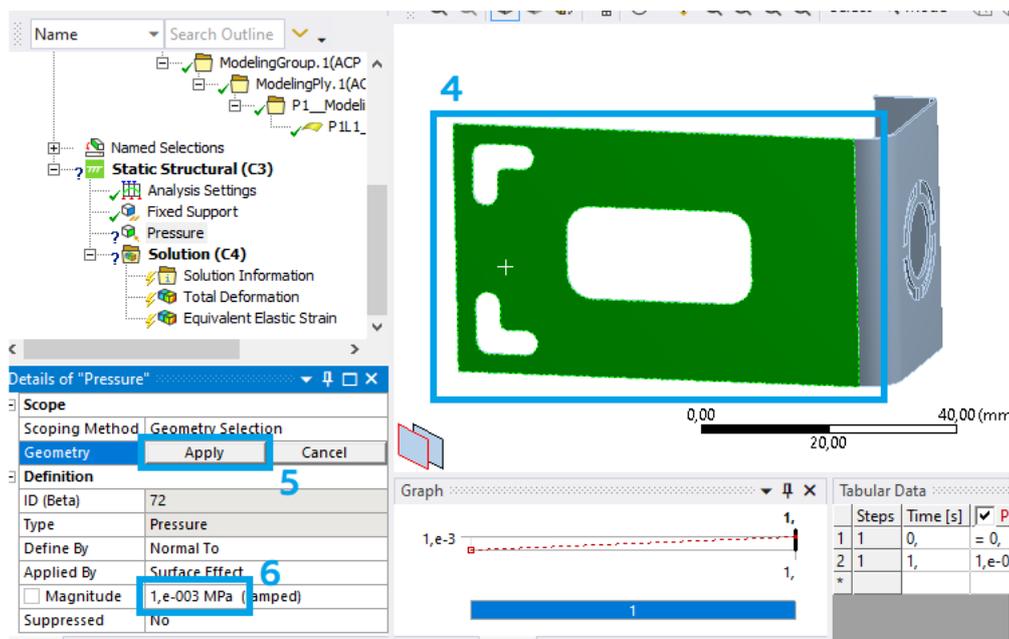
б

Рис. 30. Фиксация геометрии в пространстве

– чтобы задать давление, нажмем ПКМ на *Static Structural* (1) и выберем *Insert* (2) – *Pressure* (3) (рис. 31, а). После чего укажем нужную поверхность (4), нажмем *Apply* (5) и зададим значение давления (6) (рис. 31, б). Примечание: необходимо обратить внимание на выбранные единицы измерения.



а



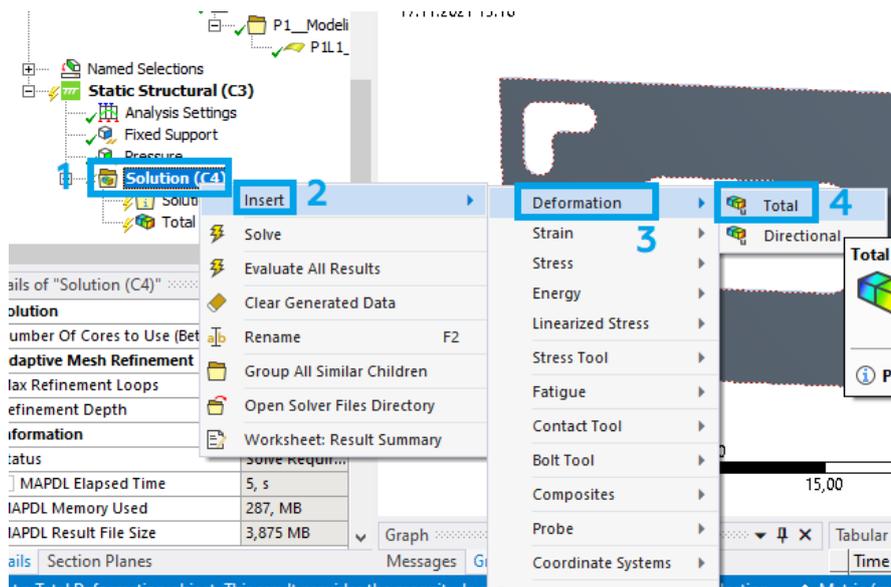
б

Рис. 31. Фиксация геометрии в пространстве

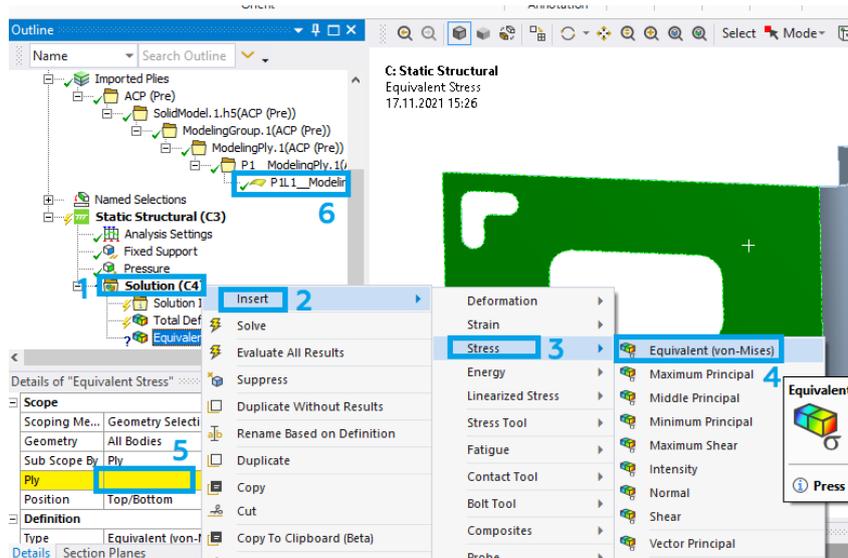
15.3. Выбираем параметры, которые будут рассчитываться следующим образом:

– нажимаем ПКМ на *Solution* (1), выбираем *Insert* (2) – *Deformation* (3) – *Total* (4) (рис. 32, а);

– нажимаем ПКМ на *Solution* (1), выбираем *Insert* (2) – *Stress* (3) – *Equivalent (von-Mises)* (4) (рис. 32, б). После чего нажимаем на желтую область напротив *Ply* (5) и указываем необходимую модельную группу (6).



а



б

Рис. 32. Выбор результатов

15.4. Запускаем расчет, нажав кнопку *Solve* (1) (рис. 33). Примечание: при запуске расчета может появиться предупреждение о том, что модельная группа имеет слишком длинное имя пути, но на расчет это не повлияет.

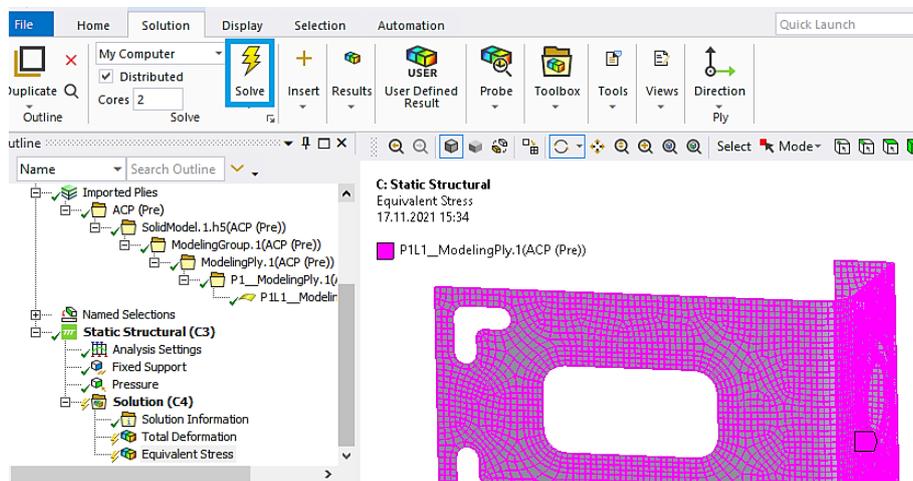
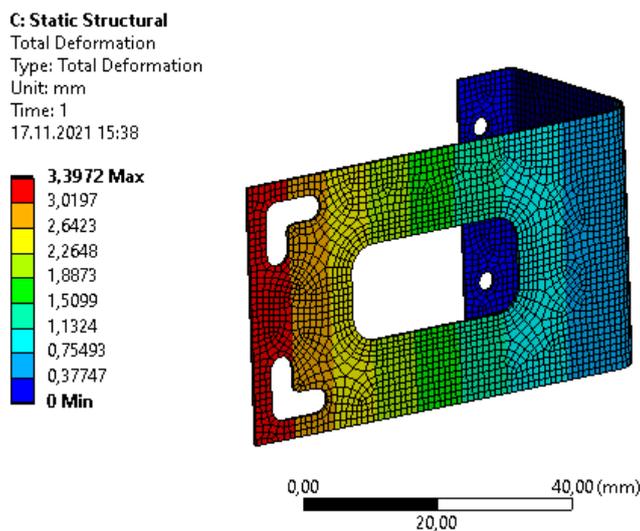


Рис. 33. Запуск расчета

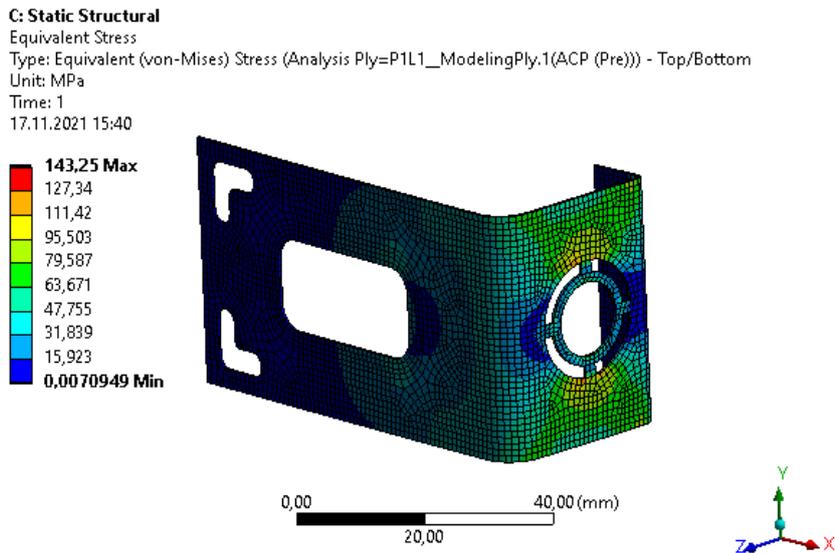
15.5. Сохраняем результаты расчета. Для этого переходим во вкладки результатов и делаем их скриншоты (рис. 34). Теперь окно *Mechanical* можно закрыть.



a

Рис. 34. Результаты расчета:

a – полное перемещение; *b* – эквивалентное напряжение (начало)



б

Рис. 34. Результаты расчета:

а – полная деформация; *б* – эквивалентное напряжение
 (окончание)

16. В итоге должен получиться проект, имеющий следующую цепочку модулей (рис. 35).

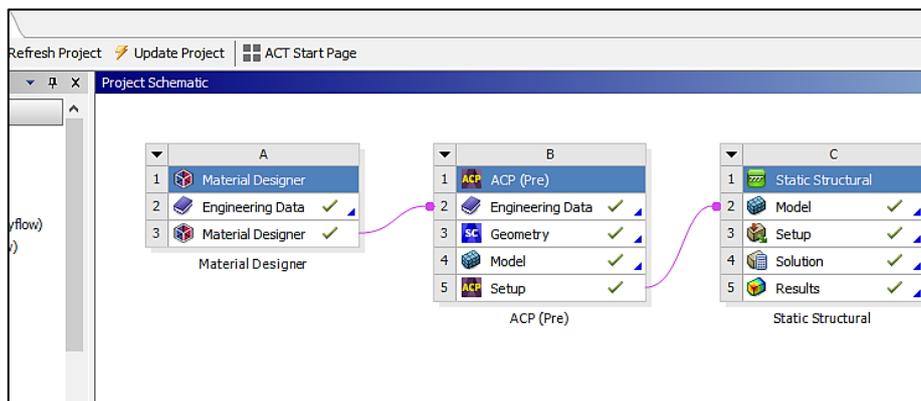


Рис. 35. Готовый проект

17. 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, ACP (Pre) – Geometry, ACP (Pre) – Model, ACP (Pre) – Setup; Mechanical – граничные условия, Mechanical – результаты).
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. Для чего нужна операция Fixed Support?
8. Основные этапы выполнения работы.

Лабораторная работа № 2

ДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ОБОЛОЧКИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы

Изучение основных этапов проведения динамического прочностного анализа в среде *ANSYS Workbench*. Приобретение студентами навыков в использовании программного инструмента *ANSYS Workbench – Transient Structural* при проведении прочностного анализа оболочки из композиционных материалов, созданных с помощью *Material Designer* и *ACP (Pre)*.

Описание работы

Используя модули *Material Designer*, *ACP (Pre)* и *Transient Structural*, необходимо рассчитать полное перемещение (*Total Deformation*) и эквивалентные напряжения (*Equivalent Stress*) для оболочки из композиционных материалов (рис. 1–2) во временном интервале в 3 секунды. Известны материал волокна и наполнителя, тип объемного элемента, участок жесткой заделки (*Fixed Support*) и направление действия вектора силы F (*Force*), приложенного к поверхности (табл. 1).

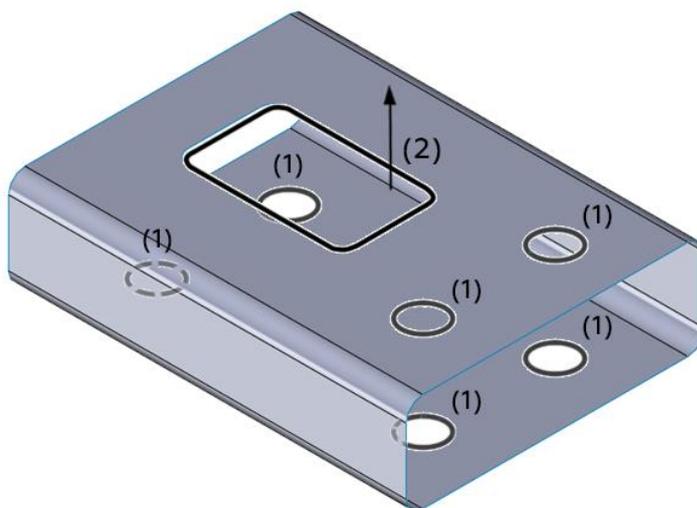


Рис. 1. Схема № 1:
1 – жесткая заделка; 2 – сила F

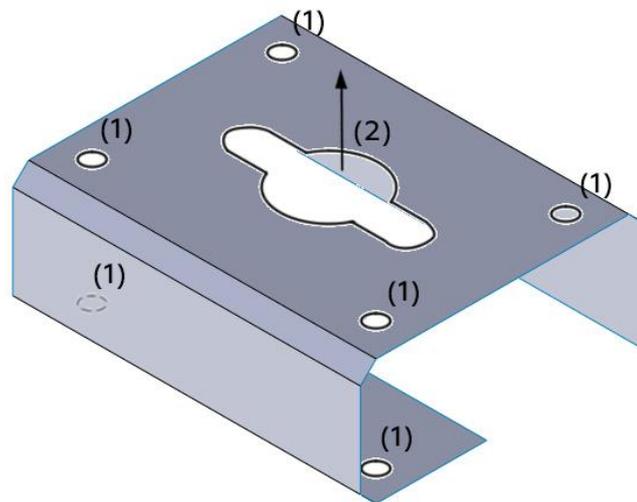


Рис. 2. Схема № 2:

1 – жесткая заделка; 2 – сила F

Таблица 1

Исходные данные

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента	Сила F, Н
1	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	50
2	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Плетеная	-60
3	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однонаправленная	70
4	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однонаправленная	100
5	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Плетеная	-45
6	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Сферическая	65
7	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однонаправленная	100
8	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	50

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента	Сила F, Н
9	2	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однаправленная	50
10	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однаправленная	-75
11	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Плетеная	45
12	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	70
13	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	80
14	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная одно- направленная	-100
15	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	-60
16	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	70
17	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однаправленная	80
18	2	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	-90
19	1	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	95
20	2	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однаправленная	-85
21	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Плетеная	70
22	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	-50
23	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однаправленная	65

Вариант	Номер схемы	Материал волокон (1) / наполнителя (2)	Тип объемного элемента	Сила F, Н
24	1	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	100
25	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	-75
26	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	85
27	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg	Регулярная однаправленная	95
28	1	1) Carbon Fiber (230 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Плетеная	-50
29	2	1) Carbon Fiber (395 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Регулярная однаправленная	-60
30	2	1) Carbon Fiber (290 GPa) 2) Epoxy E-Glass UD	Сферическая	70

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Запускаем *ANSYS Workbench* и добавляем несколько модулей: *Material Designer*, *ACP (Pre)* и *Static Structural* (рис. 3).

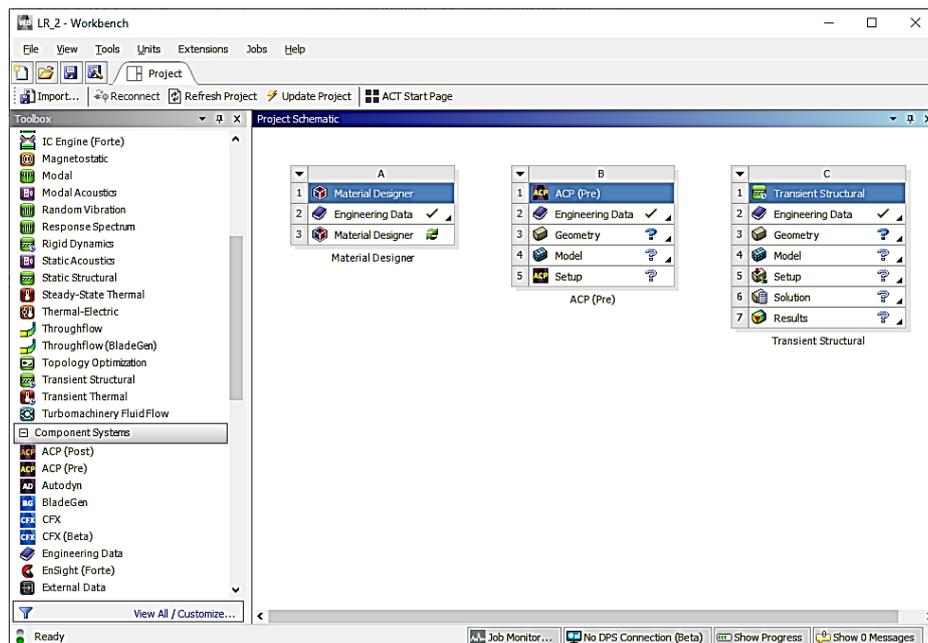
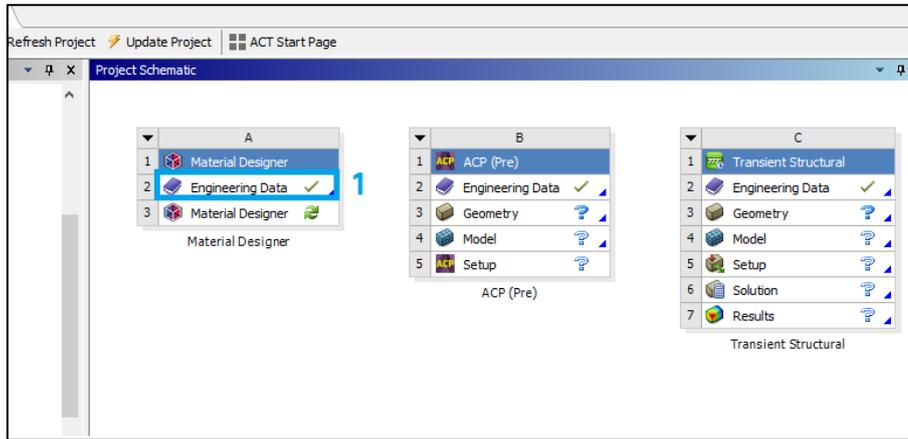
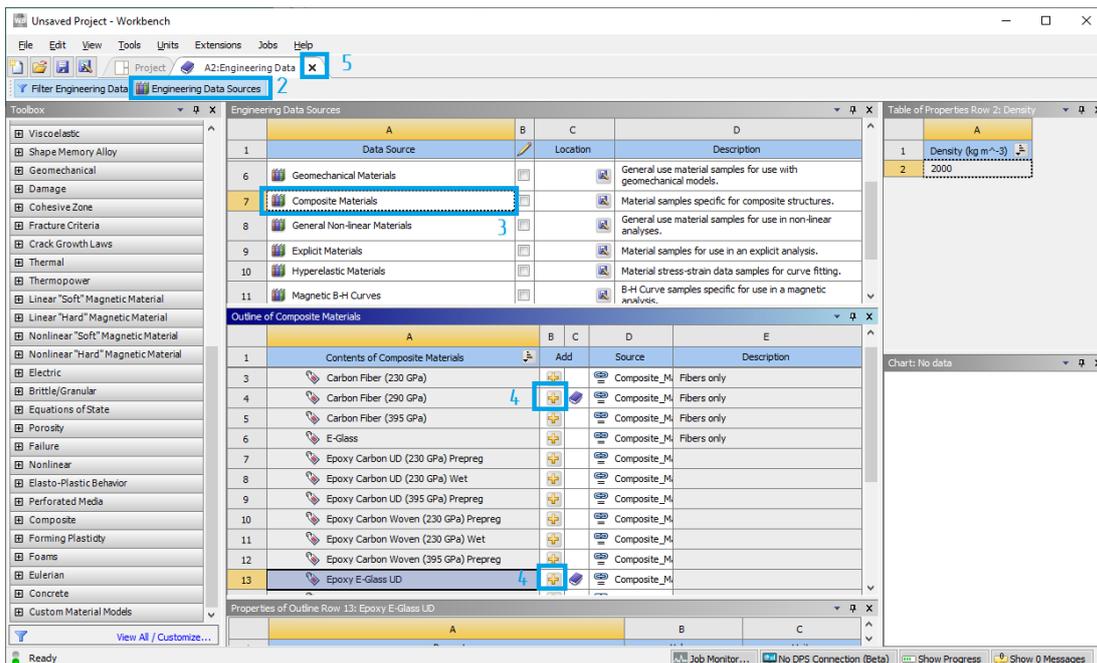


Рис. 3. Добавление модулей

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. 4).



a



b

Рис. 4. Выбор материала волокна и наполнителя

3. В первом модуле дважды нажимаем ЛКМ на *Material Designer*.

4. В верхней панели инструментов выбираем тип объемного элемента модифицированной микроструктуры согласно своему варианту (табл. 1).

5. В появившейся слева панели присваиваем материал матрицы/наполнителя (1) и частицы/волокон (2) (рис. 5), после чего применяем изменения (3).

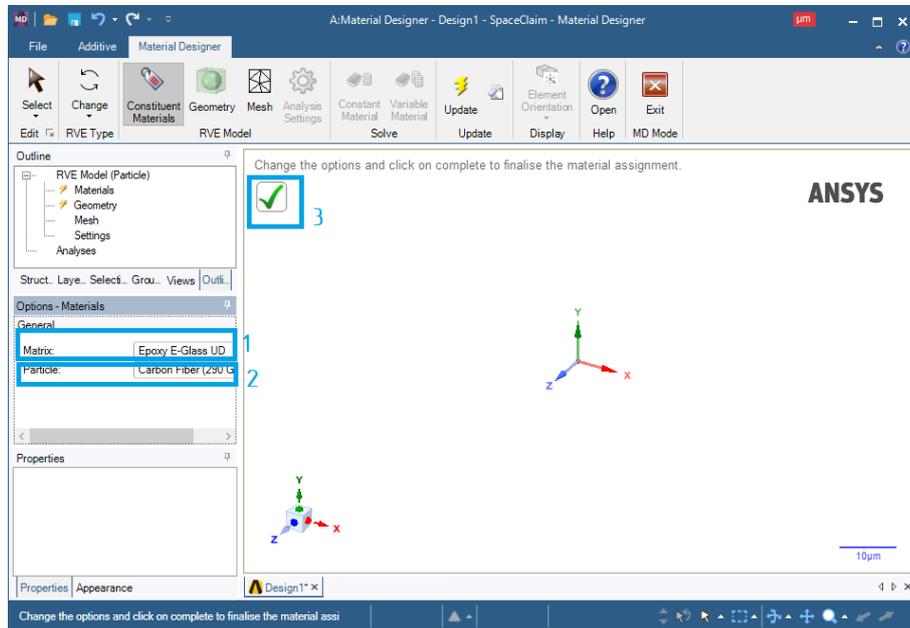


Рис. 5. Присвоение материалов

6. Для создания геометрии объемного элемента (рис. 6) нажимаем ЛКМ на **Geometry** (1).

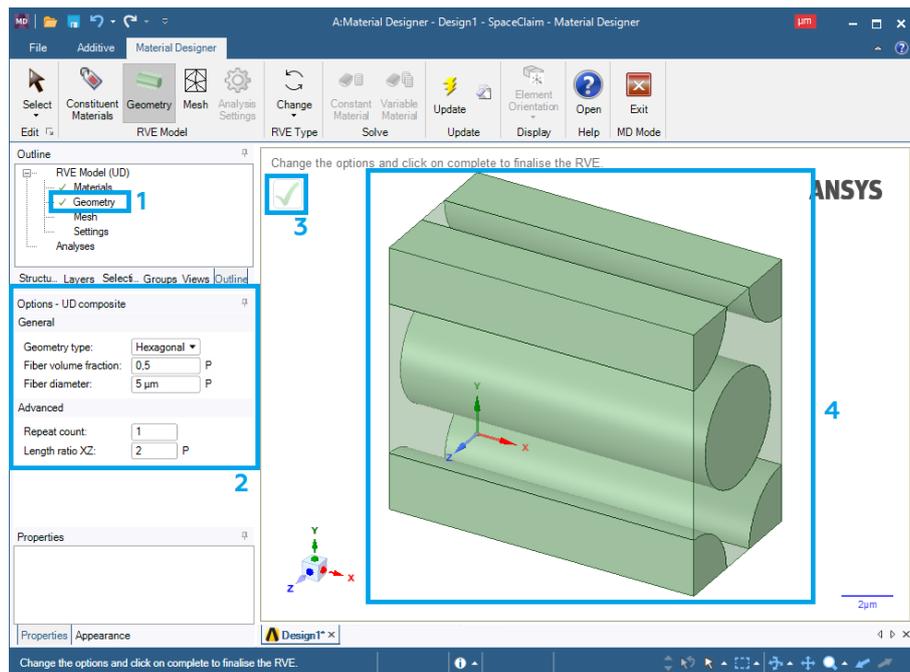


Рис. 6. Создание геометрии объемного элемента

После этого в левой панели настроек отобразятся настройки геометрии объемного элемента (2) (в зависимости от типа, выбранного объемного элемента настройки могут быть различны). Нажимаем на галочку (3) и на рабочем пространстве появится трехмерная модель сгенерированного объемного элемента (4).

7. Сгенерируем сеточную модель объемного элемента (рис. 7). 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.

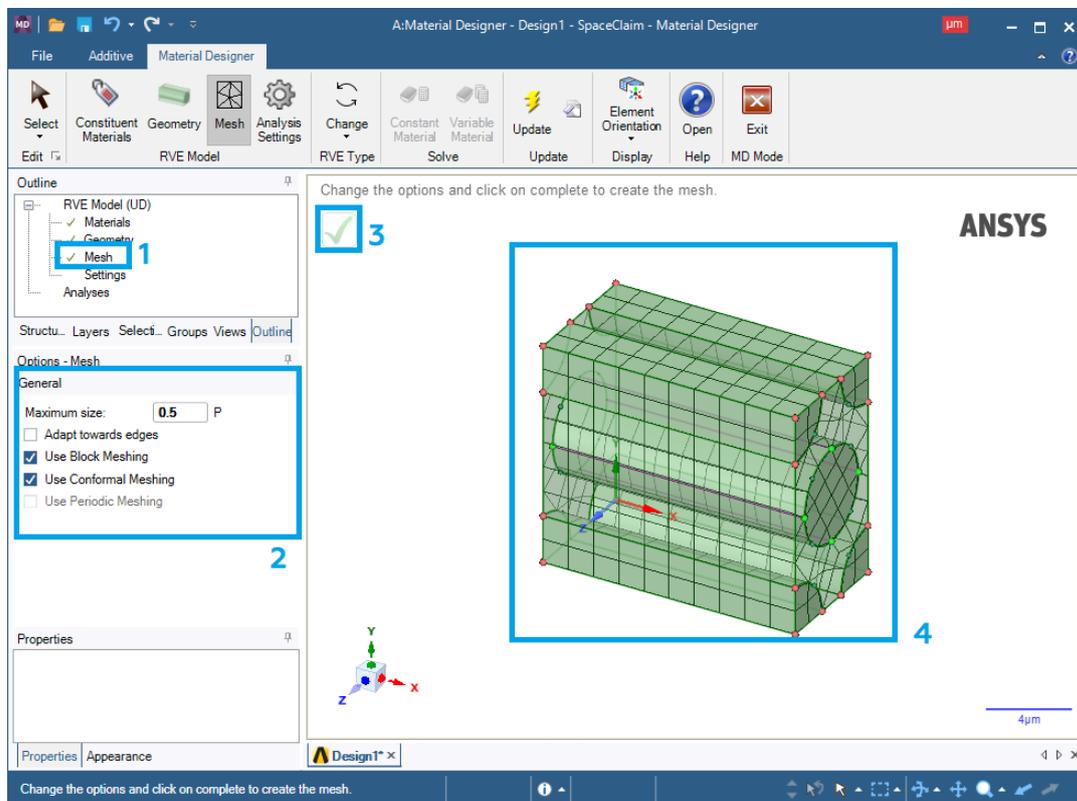


Рис. 7. Создание сетки объемного элемента

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

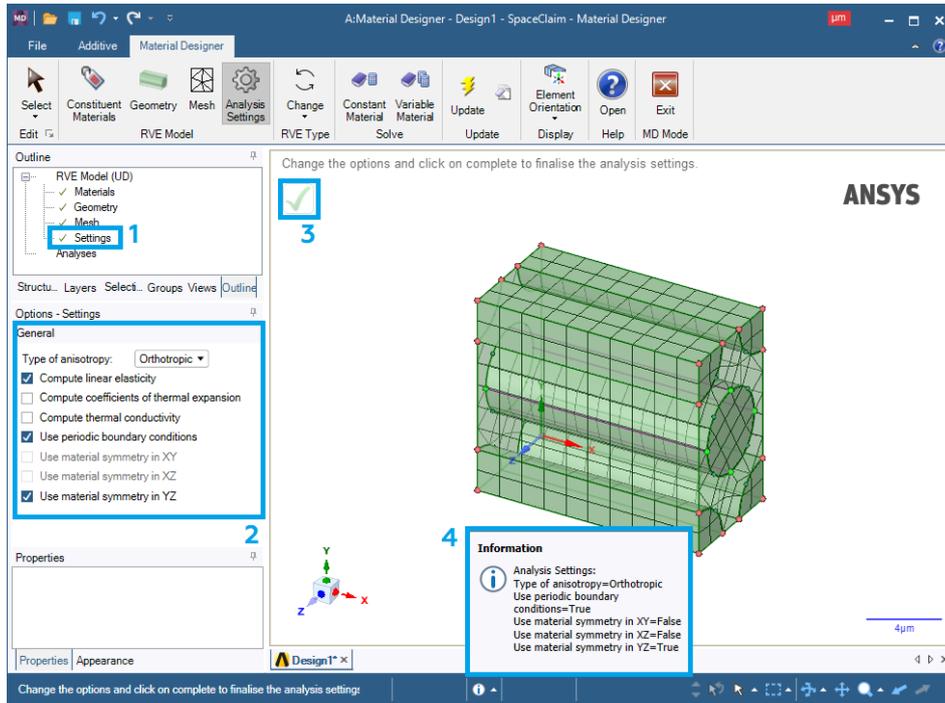


Рис. 8. Выбор характеристик частицы

9. Присваиваем название созданному объемному элементу (рис. 9). Для этого нажимаем ПКМ на *Analyses* (1) – *Constant Material* (2), вводим название материала (3) и нажимаем на галочку (4). Закрываем окно *Material Designer*.

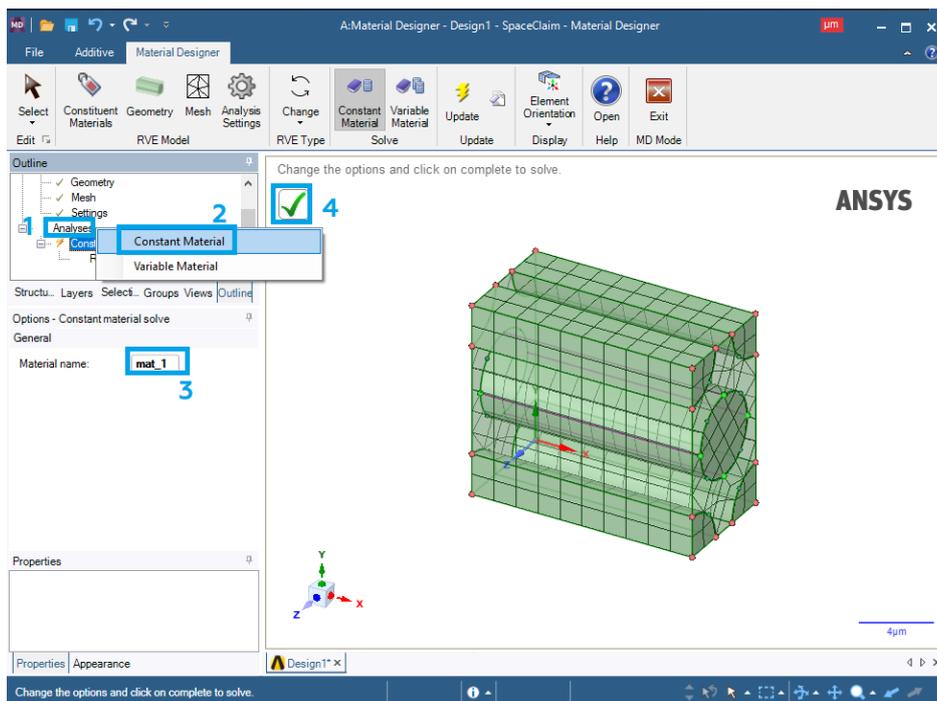


Рис. 9. Создание сетки объемного элемента

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

10.1. В окне *ANSYS Workbench* нажимаем ПКМ на *Material Designer* (1) и выбираем *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*.

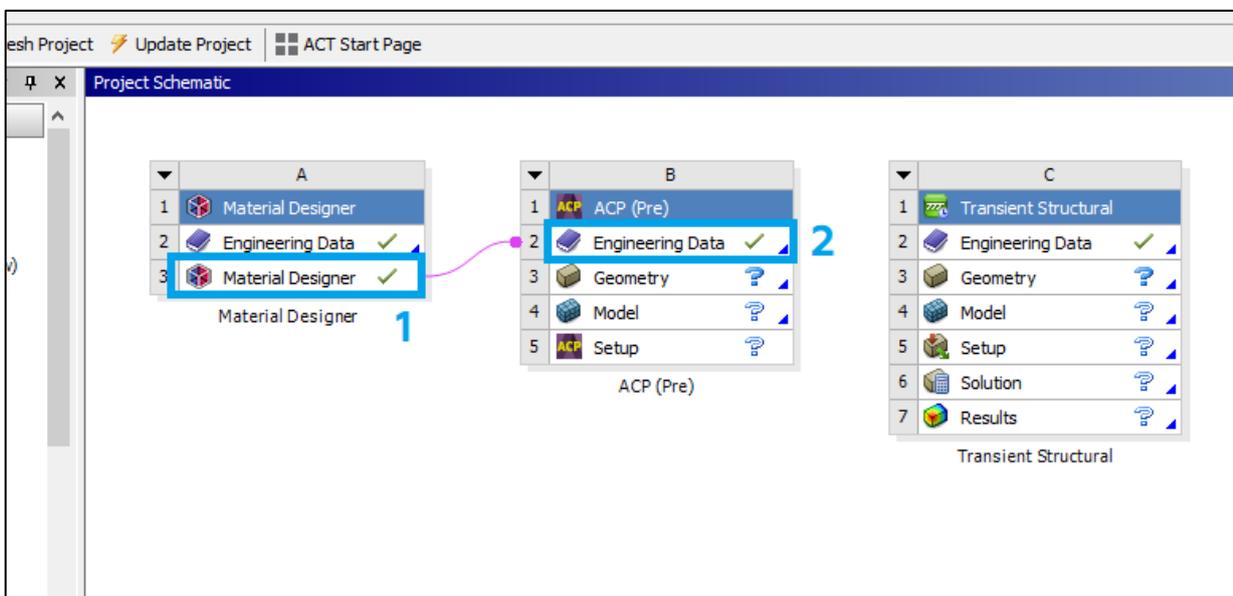


Рис. 10. Создание связи

11. Импортируем геометрию:

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

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

11.3. 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 жмем кнопку *Открыть*. Импортированная геометрия показана на рис. 11.

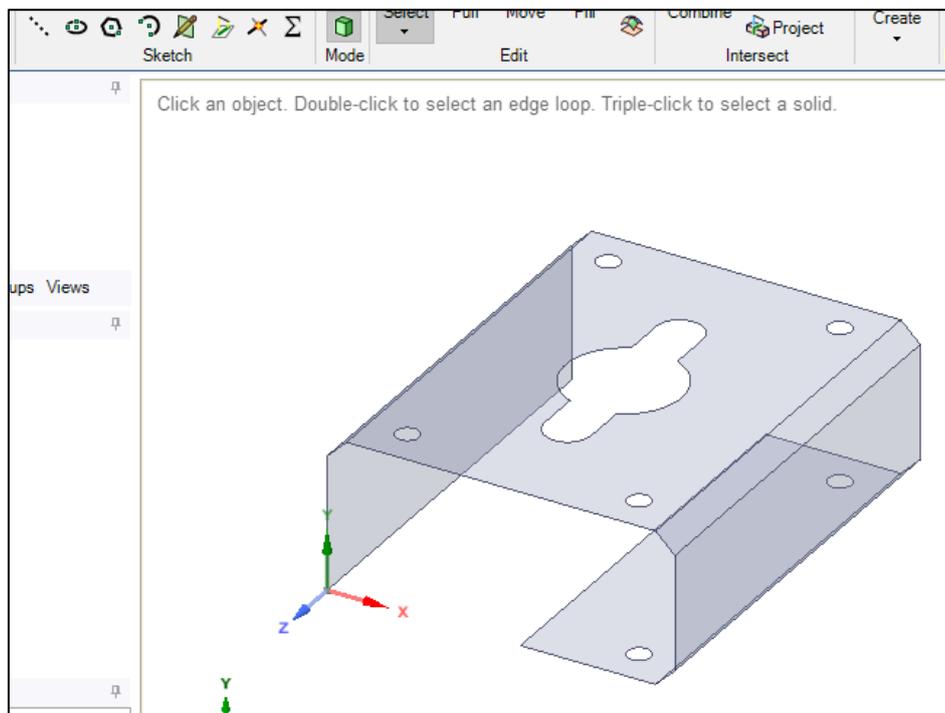


Рис. 11. Импорт геометрии

11.4. После этого окно геометрии можно закрыть.

12. Приступаем к созданию сетки:

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

12.2. В открывшемся окне раскрываем вкладку **Geometry** (1), выделяем геометрию (2) и задаём толщину (3) 0,5 мм (рис. 12).

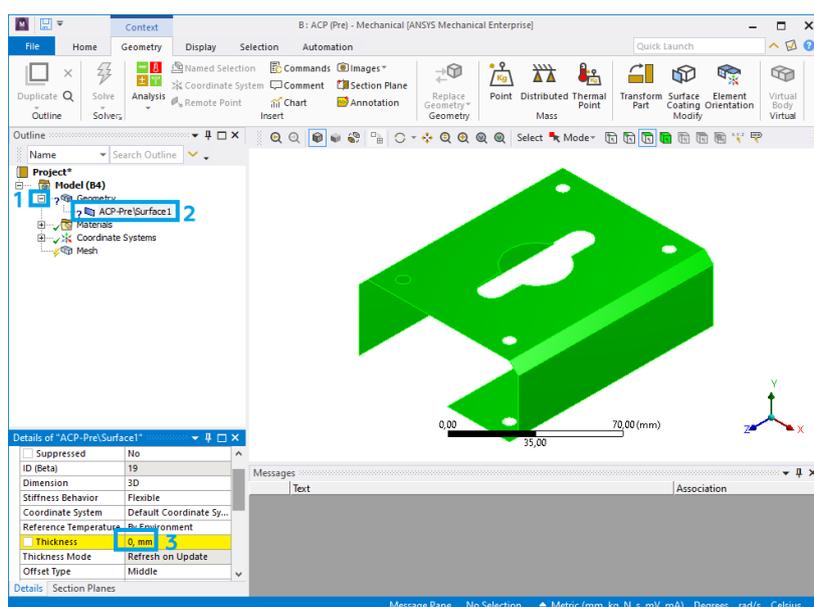


Рис. 12. Задание толщины оболочки

12.3. Задаем настройки сеточной модели:

- жмем ПКМ на *Mesh* – *Insert* – *Method*, выделяем геометрию (1) и выбираем метод (2) – *Multizone Quad/Tri* (рис. 13);

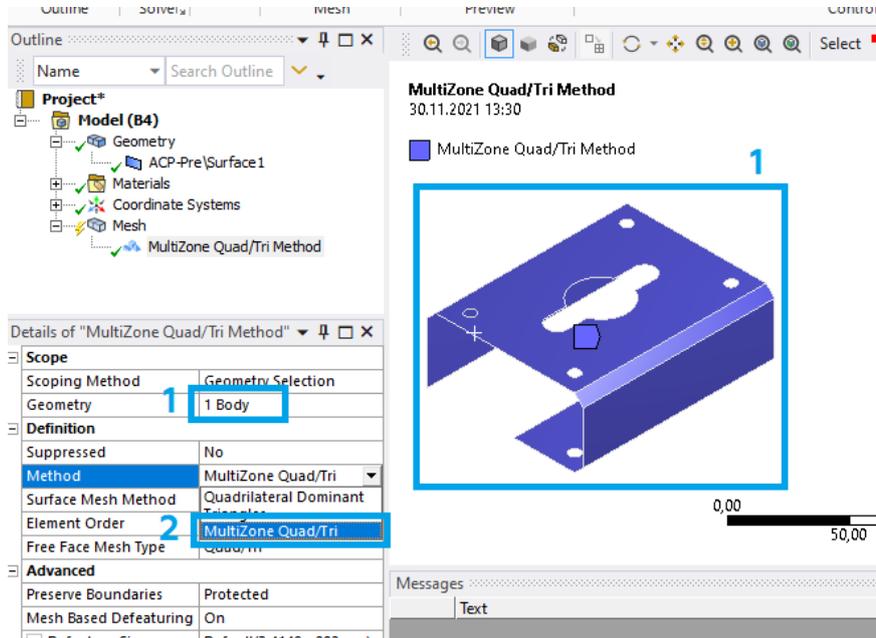


Рис. 13. Задание настроек сетки

- жмем ПКМ на *Mesh* – *Insert* – *Sizing*, выделяем всю геометрию (1) и задаем величину ячеек 2 мм (2) (рис. 14).

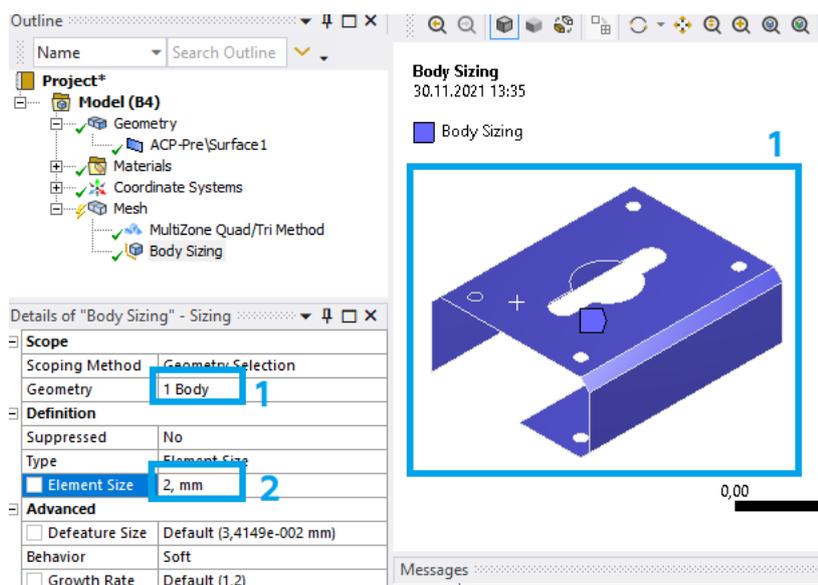


Рис. 14. Задание настроек сетки

12.4. Нажимаем ПКМ на *Mesh* и выбираем *Generate mesh*. Готовая сеточная модель представлена на рис. 15. Закрываем окно блока *Model*.

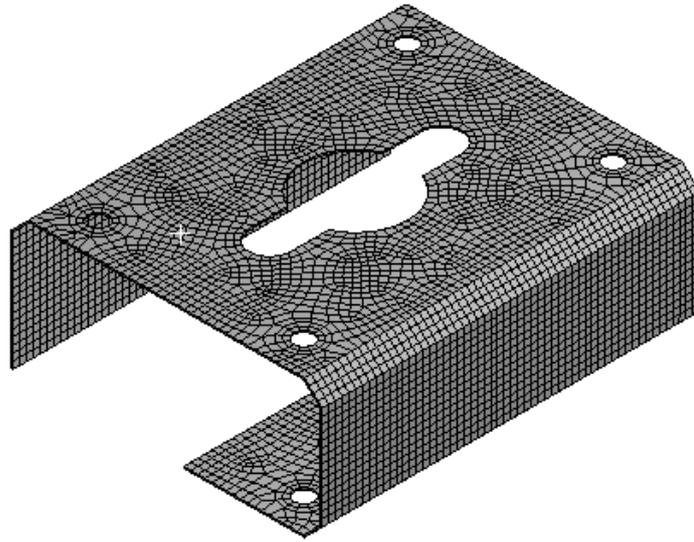


Рис. 15. Генерация сеточной модели

12.5. Присваиваем имена ребрам, к которым будут прикладываться силы. Выделяем каждую область ЛКМ, после чего нажимаем на неё ПКМ (1) и выбираем *Create Named Selection...* (2) (рис. 16). В итоге данные ребра будут иметь персональные названия (3).

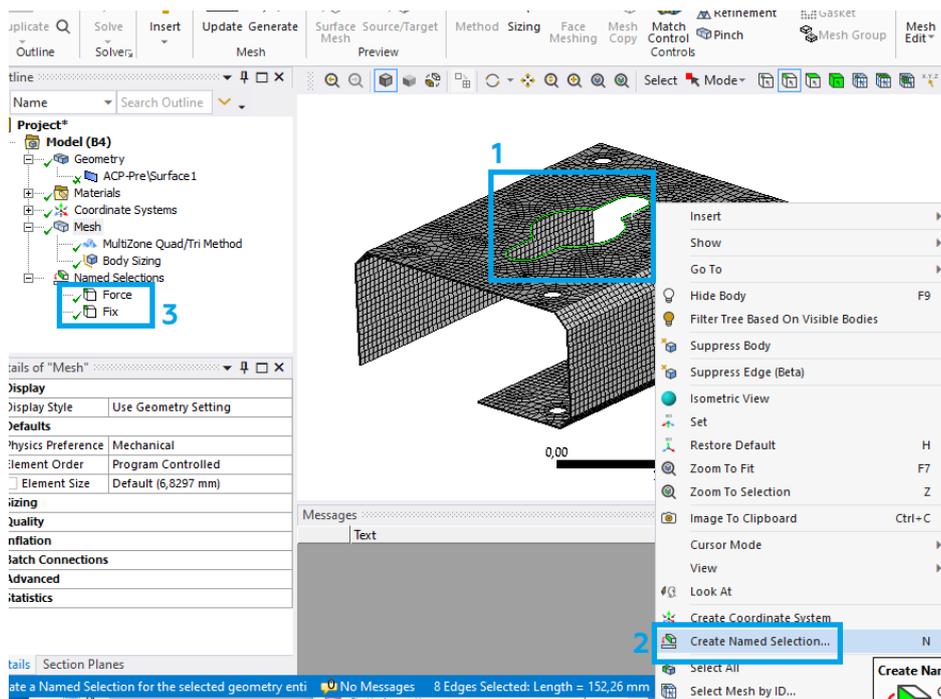


Рис. 16. Присвоение имен для ребер

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

13. Настраиваем слои созданных композитных материалов:

13.1. В окне *Workbench* дважды нажимаем на *Setup* в блоке *ACP (Pre)*.

После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 17.

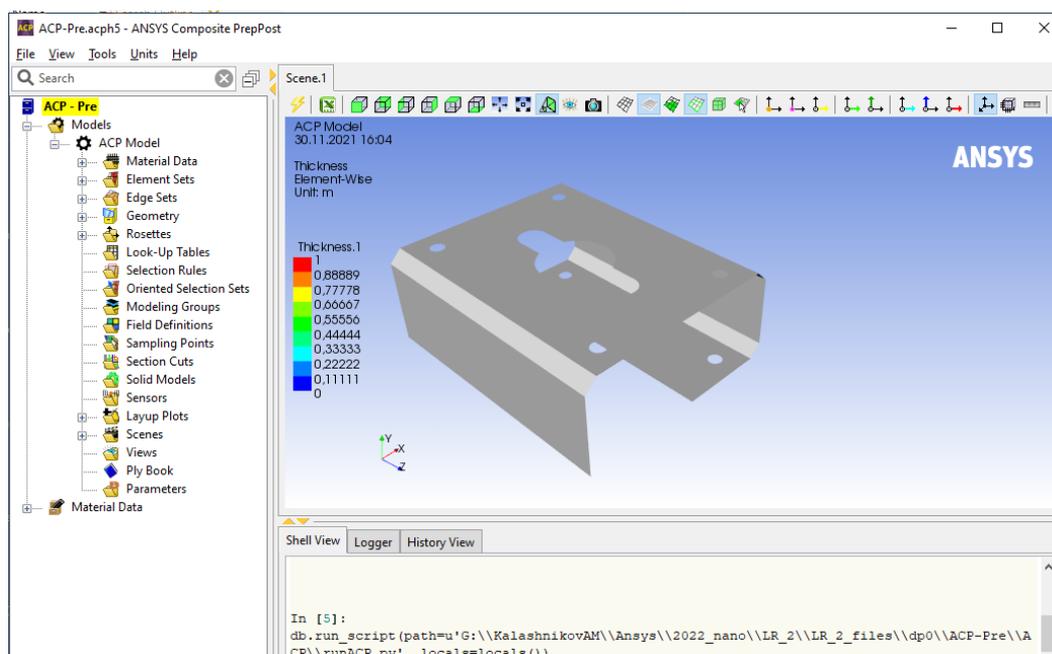


Рис. 17. Окно ANSYS Composite PrepPost

13.2. Сразу изменяем единицы измерения на мм. Для этого нажимаем на *Units* (1) и выбираем *MPA (mm,t,s,N,C,USD)* (2) (рис. 18).

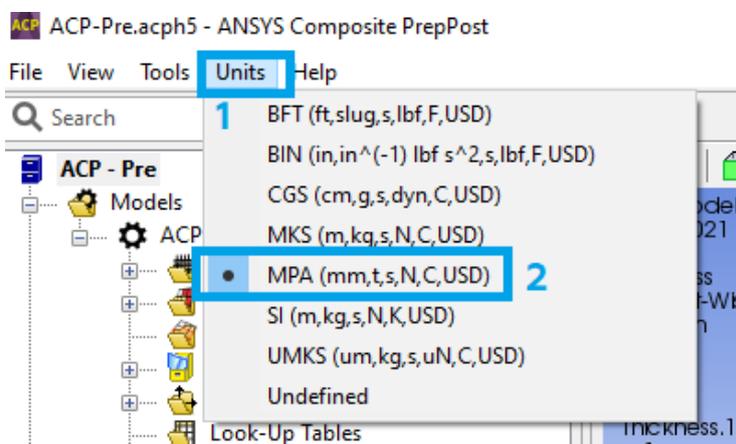


Рис. 18. Изменение единиц измерения

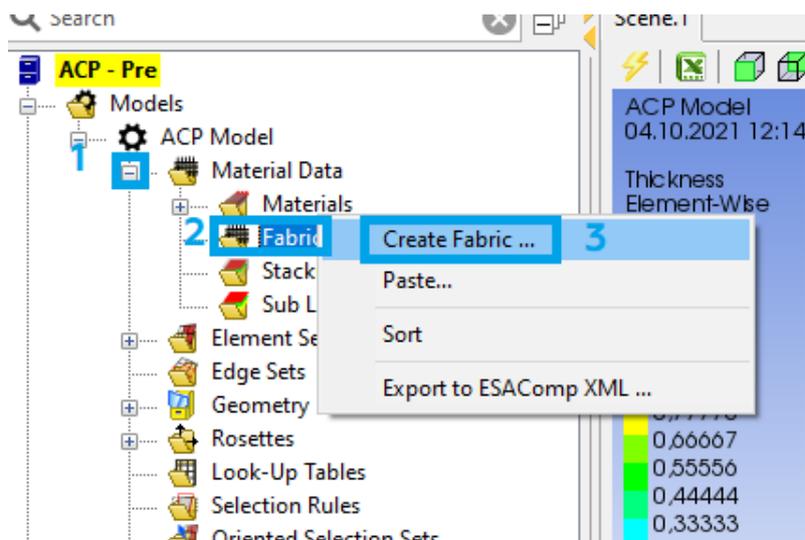
13.3. Создаем слой волокон композитного материала (рис. 19):

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

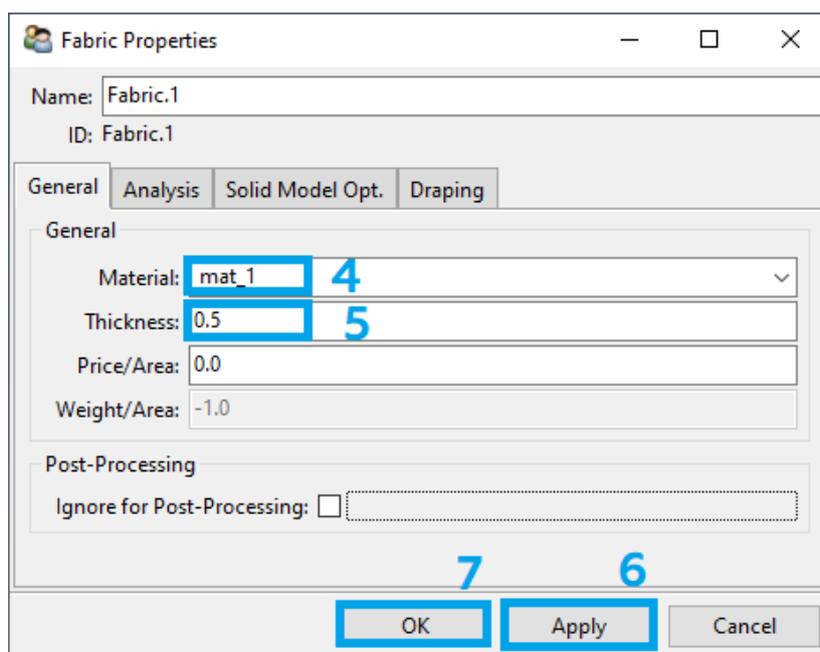
– выбираем материал (4), задаем толщину 0.5 мм (5) и ждем **Apply** (6).

Если на экране появится окно с предупреждением, то его можно закрыть.

После этого окно можно закрыть (7).



а



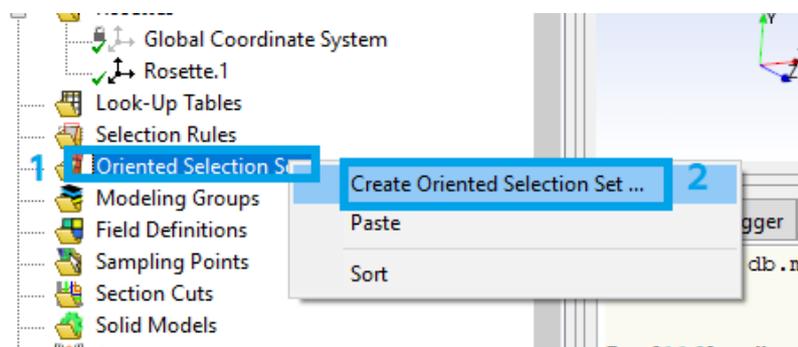
б

Рис. 19. Создание слоя волокон

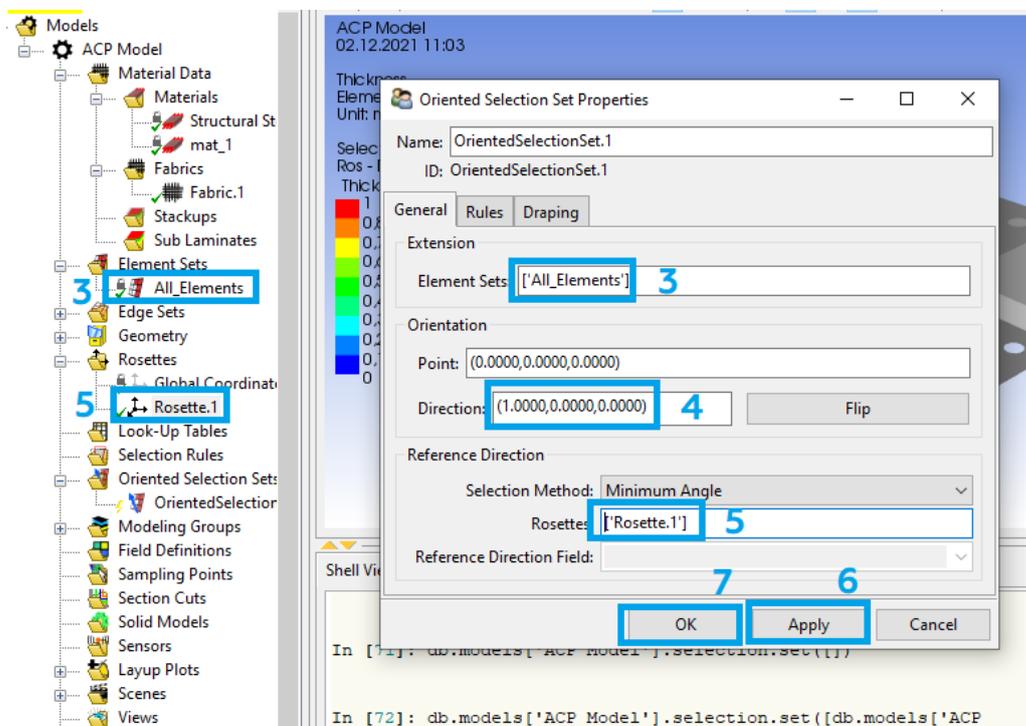
13.4. Создаем ось координат. Нажимаем ПКМ на **Rosettes**, выбираем **Create Rosette...** и жмем **Apply**. После этого окно можно закрыть.

13.5. Создаем ориентированный блок (рис. 20):

- нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1) и выбираем **Create Rosette...** (2);
- выбираем элемент/геометрию (выбираем его в дереве построения в разделе **Element Sets**) (3), настраиваем ориентацию (4), выбираем созданную ось координат (5) и жмем **Apply** (6). После этого окно можно закрыть (7).



a



б

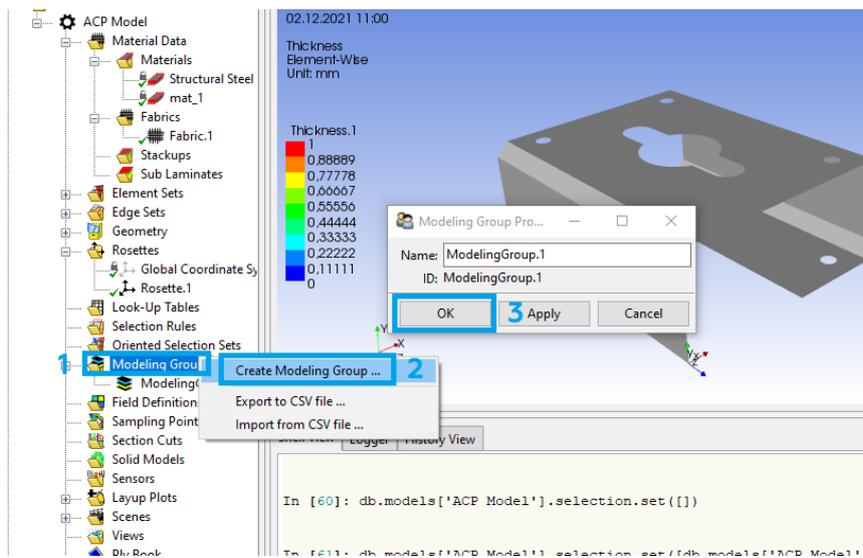
Рис. 20. Создание ориентированного блока

13.6. Создаем модельную группу (объединение ориентированного элемента и пакета слоев) (рис. 21):

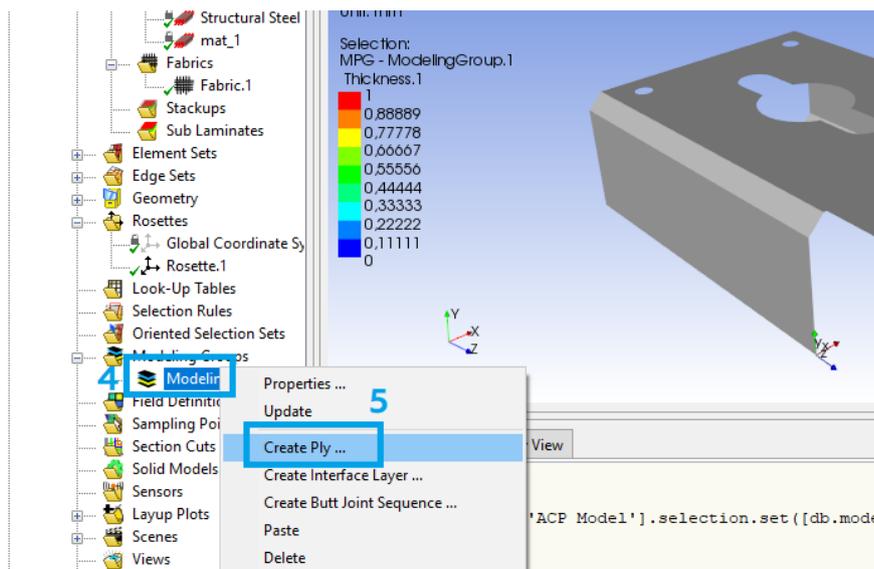
– нажимаем ПКМ на *Modeling Groups* (1) и выбираем *Create Modeling Group...* (2). В появившемся окне жмем *Ok* (3);

– нажимаем ПКМ на *ModelingGroups.1* (4) и выбираем *Create Ply...* (5);

– выбираем первый ориентированный блок (6) и слой композитного материала и жмем *Apply* (8). После этого окно можно закрыть (9).

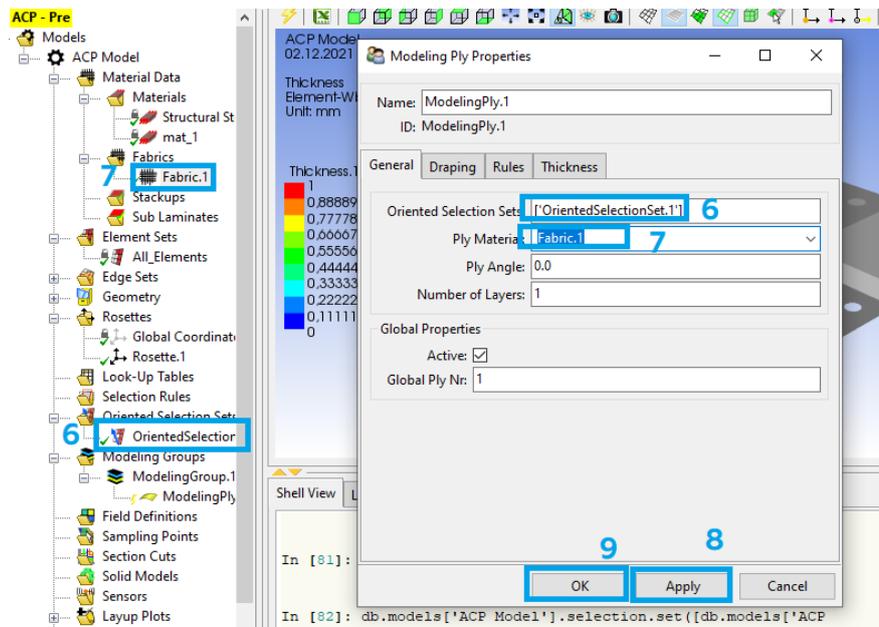


a



б

Рис. 21. Создание модельной группы (начало)



6

Рис. 21. Создание модельной группы (окончание)

13.7. Включаем отображение сетки (1) и направление волокон (2) в верхней панели (рис. 22). Выбрав модельную группу (3), видим зеленые стрелочки, показывающие направление волокон (4).

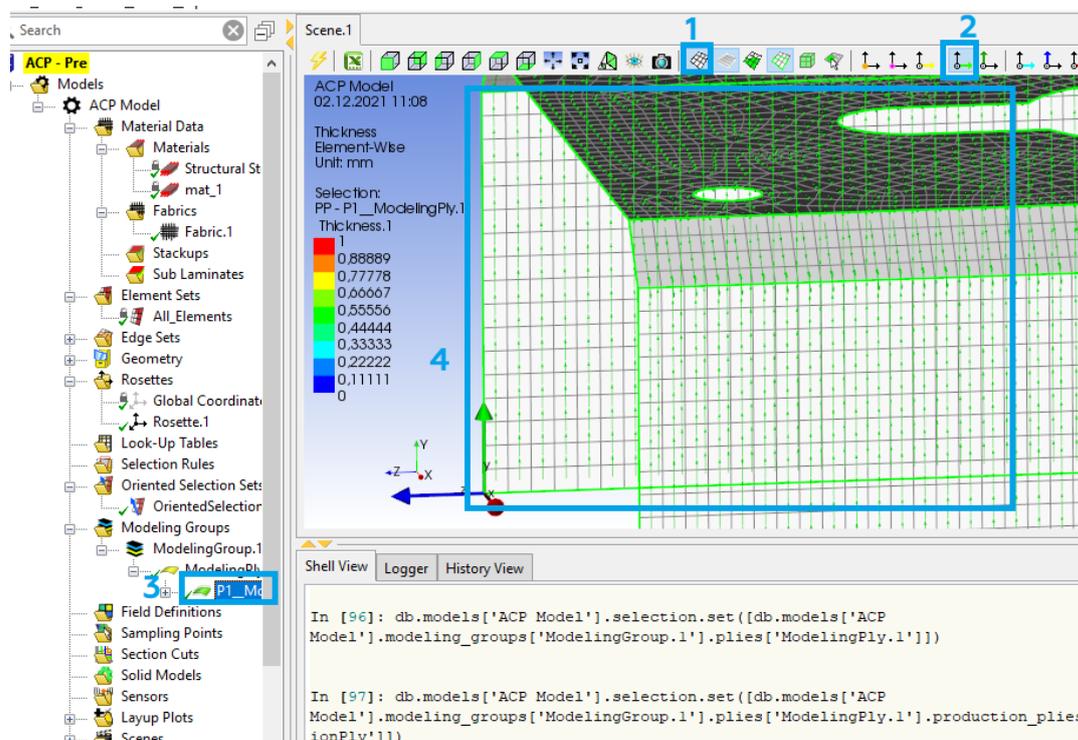
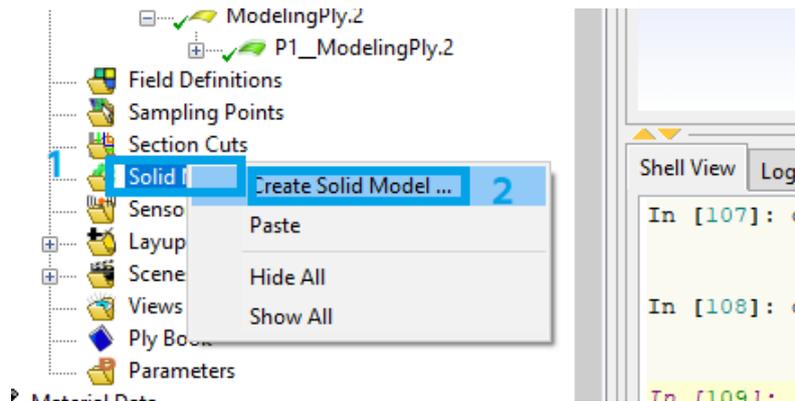


Рис. 22. Отображение направления волокон

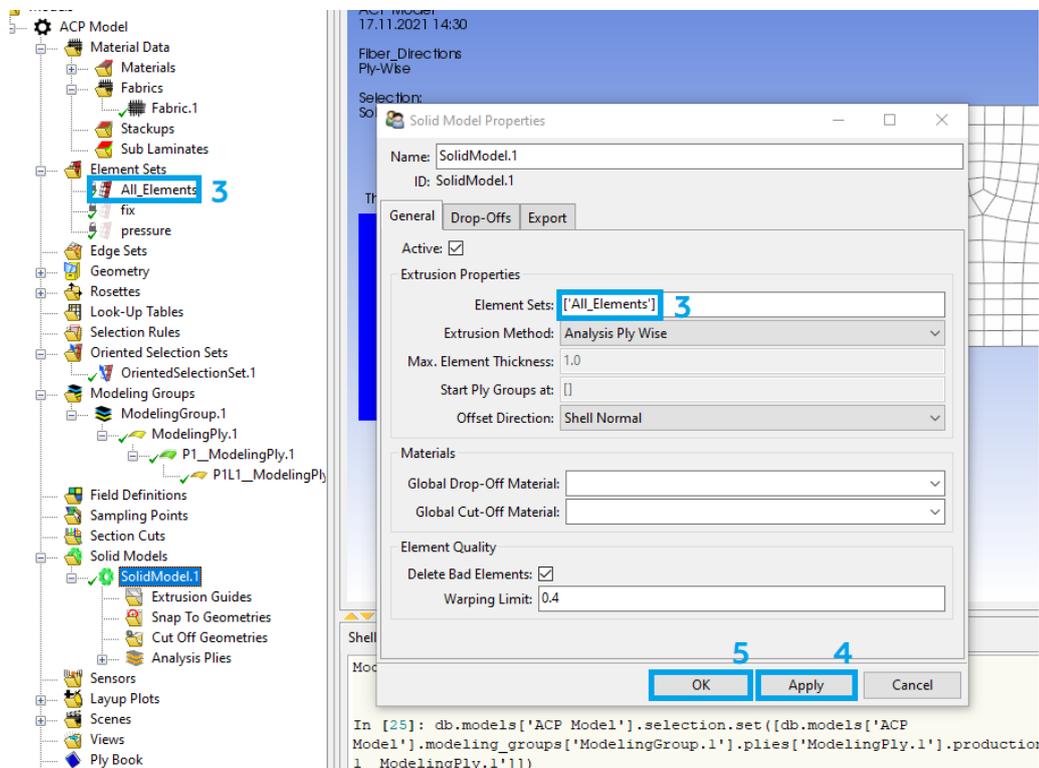
13.8. Создаем твердотельную модель (рис. 23):

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

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



a



б

Рис. 23. Создание твердотельной модели

13.9. Закрываем окно *ANSYS Composite PrepPost*.

14. Жажимаем ЛКМ блок *Setup* (1) в модуле *ACP (Pre)* и перетаскиваем его на блок *Model* (2) в модуле *Static Structural*. После этого появляется окно с двумя вариантами (рис. 24): первый переместит твердотельную модель (есть возможность анализировать каждый слой выбранного сегмента, но 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*.

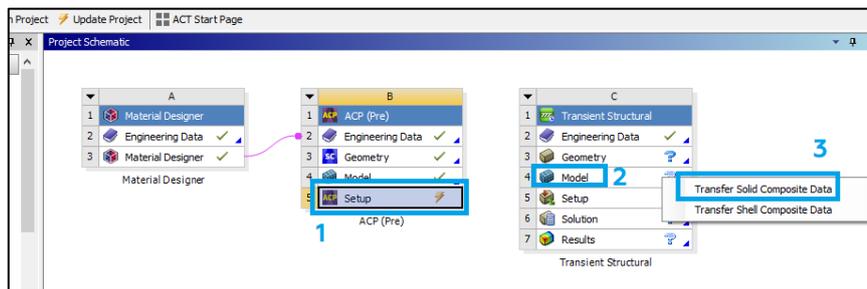


Рис. 24. Импорт данных в Static Structural

15. Приступаем к подготовке и проведению расчета:

15.1. В окне *Workbench* дважды нажимаем на *Model* в блоке *Transient Structural*. После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 25.

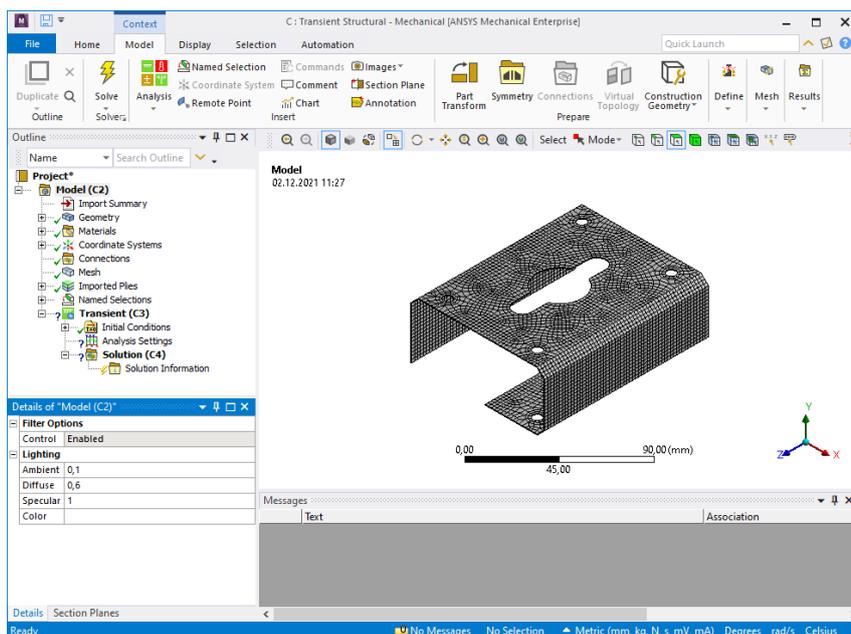


Рис. 25. Окно Mechanical

15.2. Задаем граничные условия:

– для проведения временного расчёта указываем исследуемый временной промежуток (3 с), который будет разбит на три интервала, каждый из которых будет иметь свой временной шаг (рис. 26). Для этого указываем количество интервалов – 3 (1) и, изменяя число от 1 до 3 (2), можем переключаться между ними. На каждом интервале отключаем автоматический временной шаг – *off* (3).
– *off* (3).

Далее на первом интервале выставляем значение промежуточных временных шагов – 0,1 с, а на втором и третьем – 0,5 с. Примечание: чтобы увидеть настройки второго и третьего интервалов, необходимо ввести их номер напротив *Current Step Number* (2);

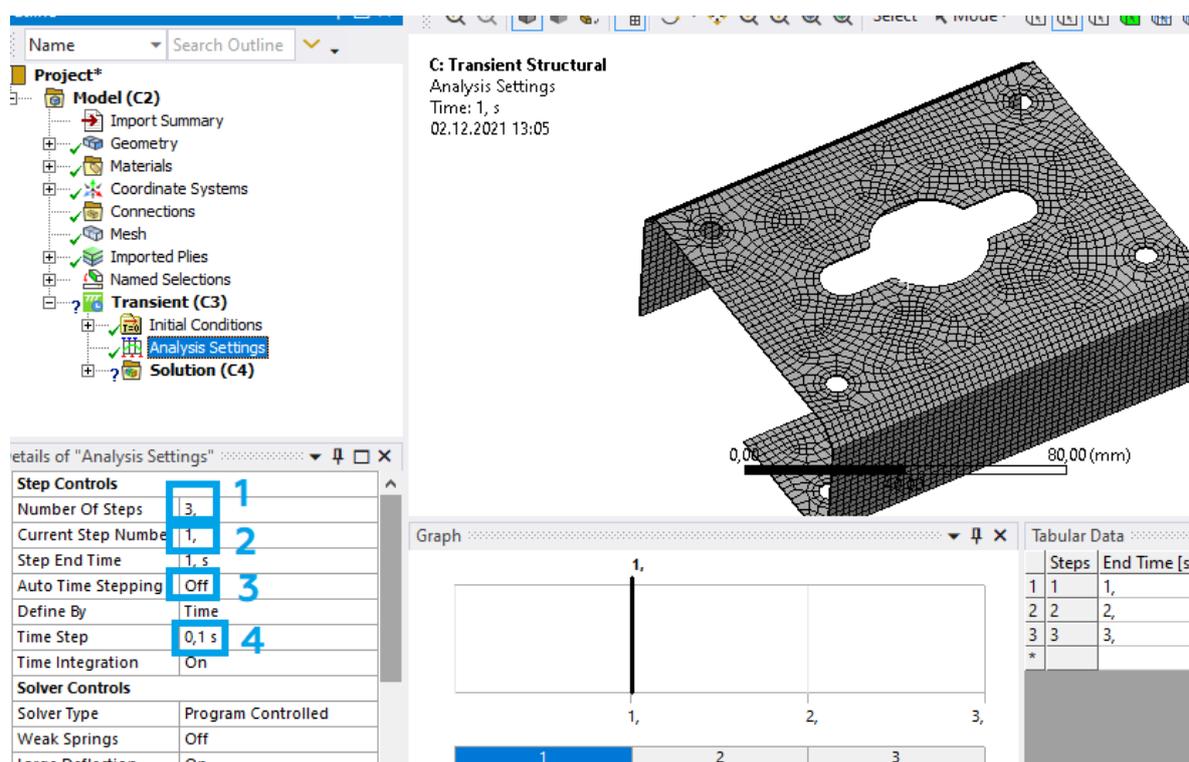
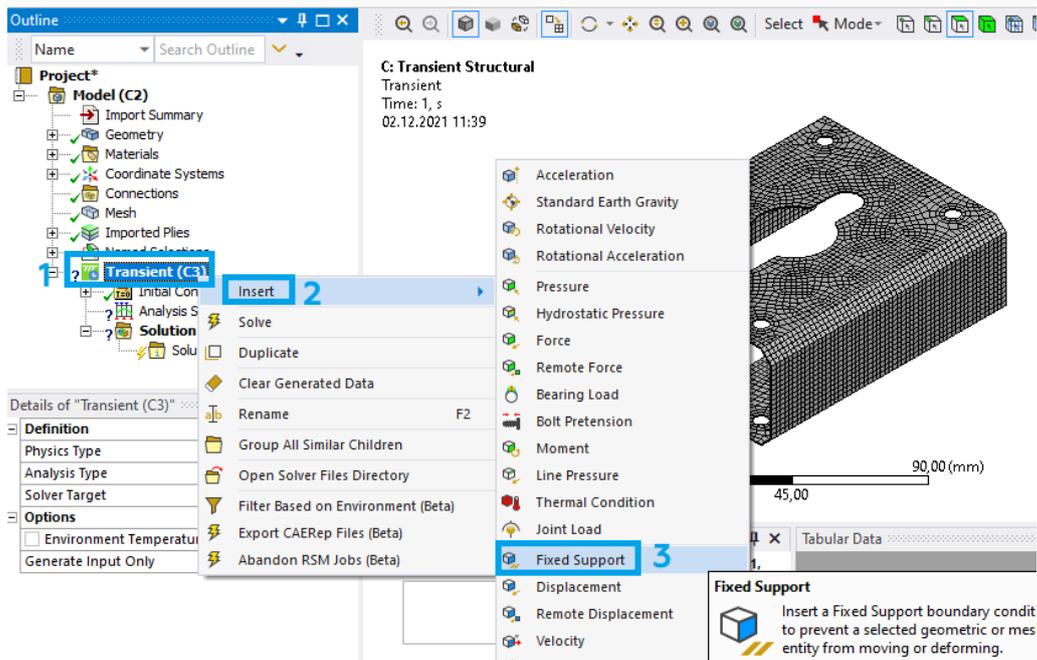
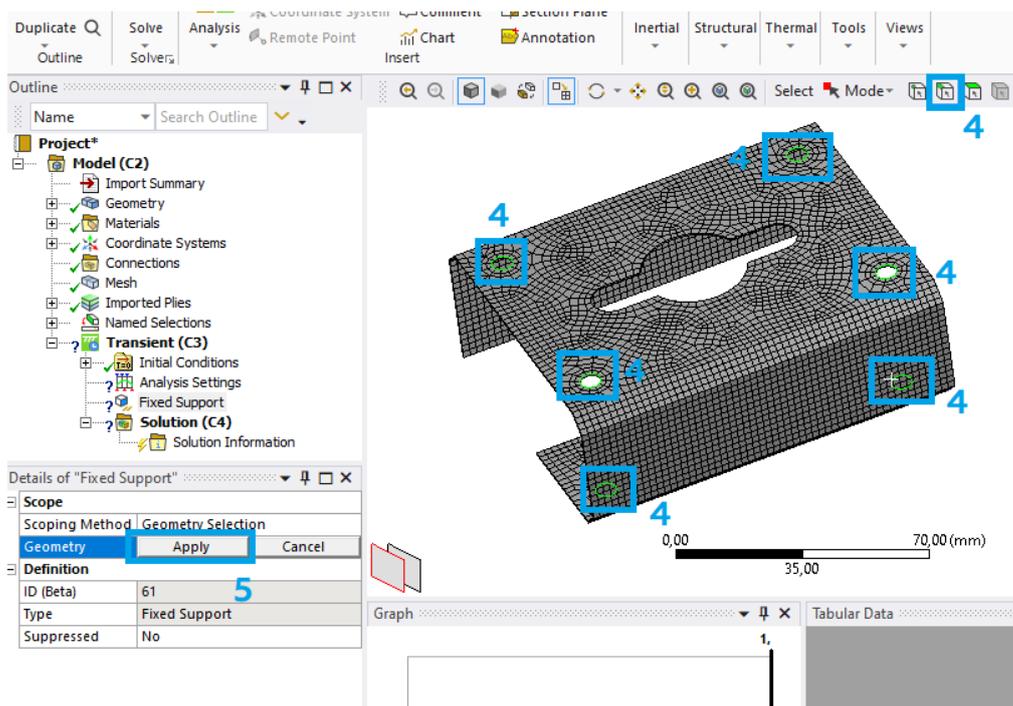


Рис. 26. Настройка параметров времени

– чтобы зафиксировать геометрию в пространстве, нажимаем ПКМ на *Transient* (1) и выбираем *Insert* (2) – *Fixed Support* (3) (рис. 27, а). После чего указываем нужные ребра (4) и нажимаем *Apply* (5) (рис. 27, б).



a

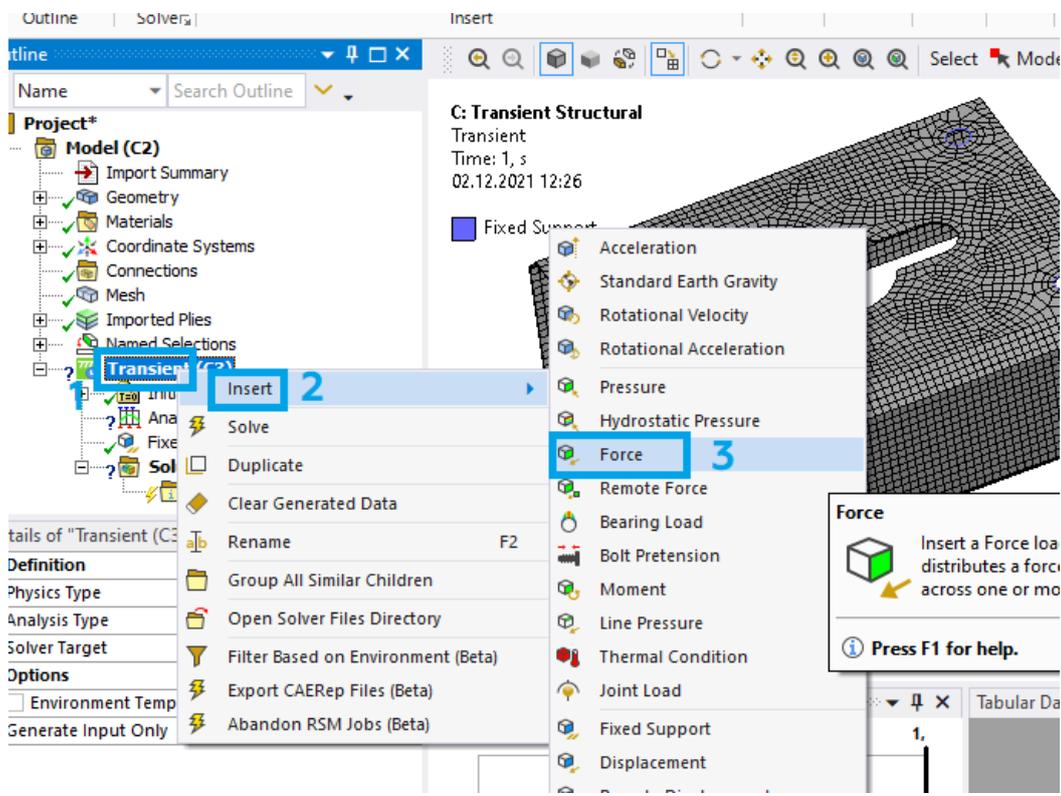


б

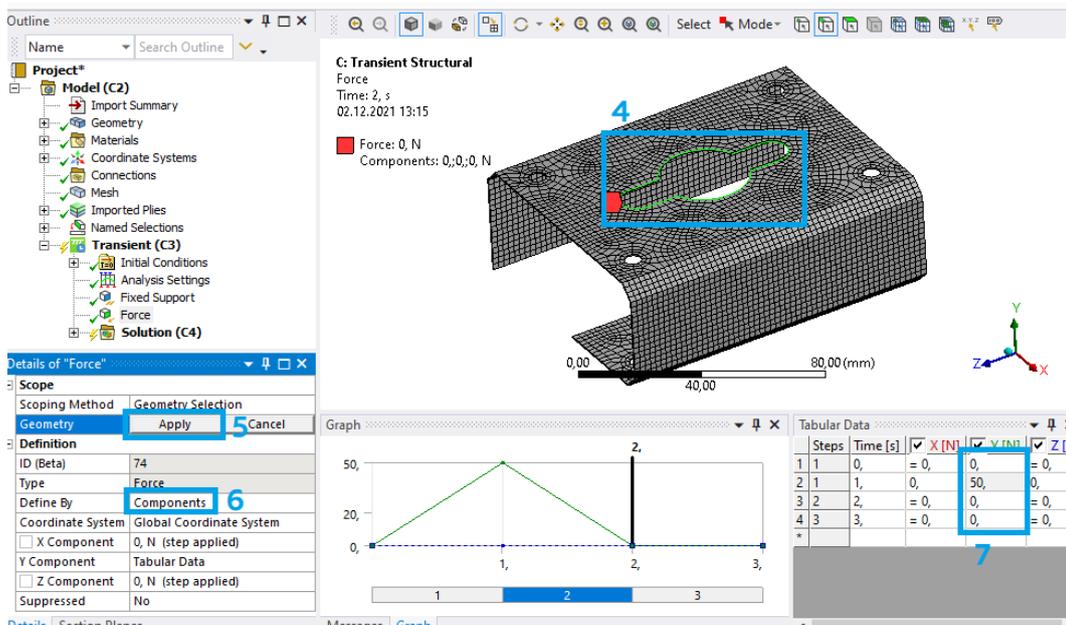
Рис. 27. Фиксация геометрии в пространстве

– чтобы задать силу, нажимаем ПКМ на *Transient* (1) и выбираем *Insert* (2) – *Force* (3) (рис. 28, a). После чего указываем нужные ребра (4), нажимаем *Apply* (5), изменяем способ задания нагрузки на *Components* (6)

и указываем значение силы на 2 с по оси Y (7) (рис. 28, б). Примечание: будет значение силы положительным или отрицательным, зависит от варианта.



a



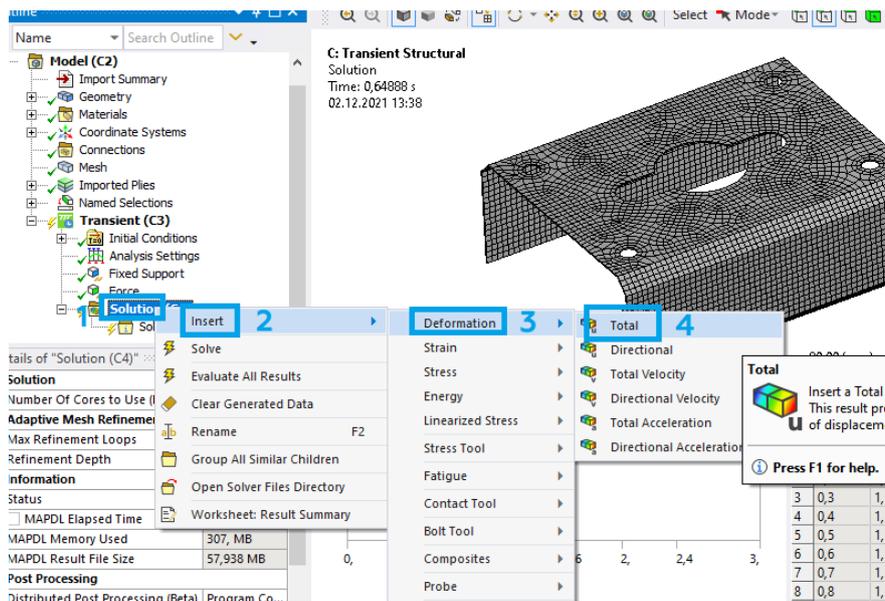
б

Рис. 28. Задание давления

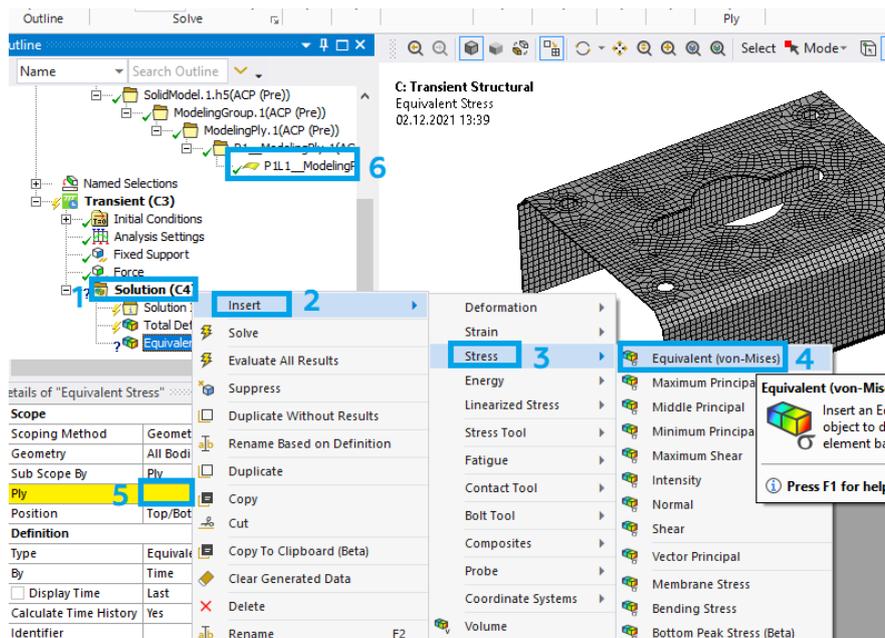
15.3. Выбираем параметры, которые будут рассчитываться в следующей последовательности:

– нажимаем ПКМ на *Solution* (1), выбираем *Insert* (2) – *Deformation* (3) – *Total* (4) (рис. 29, а);

– нажимаем ПКМ на *Solution* (1), выбираем *Insert* (2) – *Stress* (3) – *Equivalent (von-Mises)* (4) (рис. 29, б). После чего нажимаем на желтую область напротив *Ply* (5) и указываем необходимую модельную группу (6).



а



б

Рис. 29. Выбор результатов

15.4. Запускаем расчет, нажав кнопку *Solve* (1) (рис. 30). Примечание: при запуске расчета может появиться предупреждение о том, что модельная группа имеет слишком длинное имя пути, но на расчет это не повлияет.

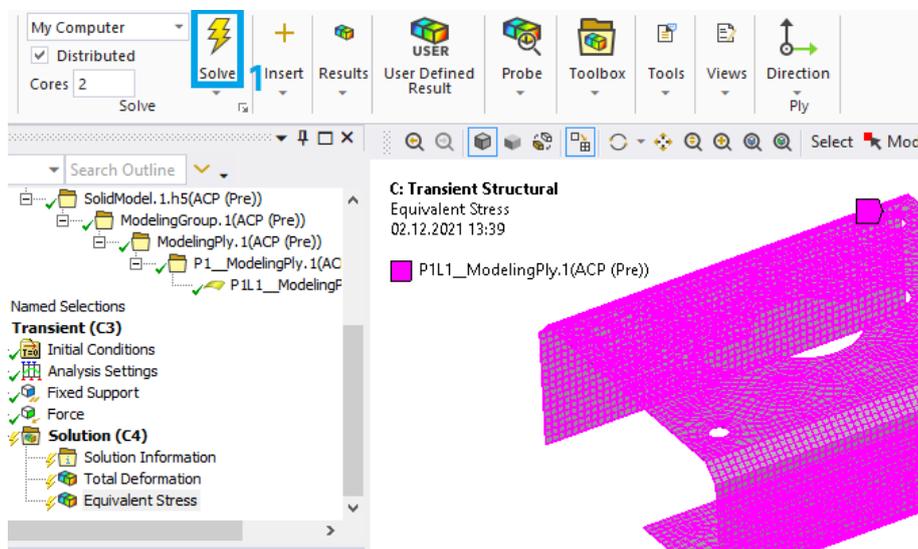


Рис. 30. Запуск расчета

15.5. Чтобы посмотреть, как со временем изменяются перемещение и напряжение на оболочке, выбираем интересующую характеристику (1) и нажимаем на кнопку *Play* (2) (рис. 31). Для прекращения воспроизведения анимации нажимаем кнопку *Stop*.

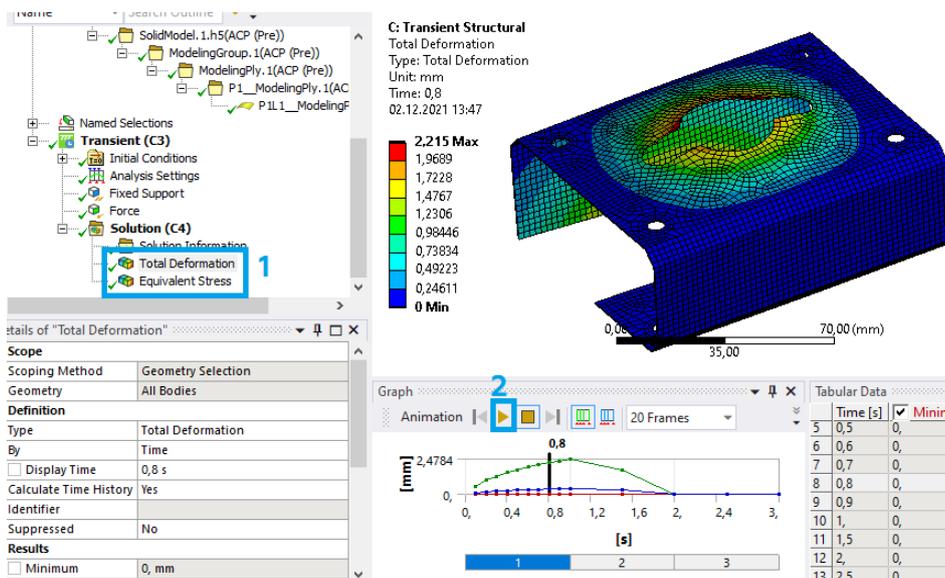


Рис. 31. Запуск анимации

15.6. Перед сохранением результатов расчета отключаем отображения сетки (рис. 32). Для этого в разделе *Display* (1) выбираем *Edges* (2) – *Show Undeformed WireFrame* (3). После этого мы увидим модель без сетки.

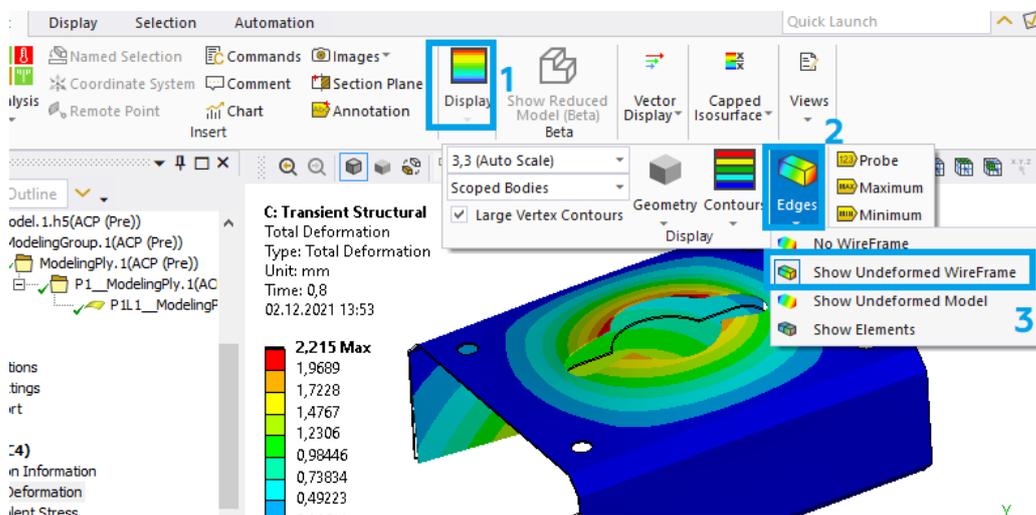


Рис. 32. Скрытие сетки

15.7. Сохраняем результаты расчета для Полных перемещений (*Total Deformation*) и Эквивалентных напряжений (*Equivalent Stress*) через 1 и 2 с. Для этого переходим во вкладку интересующей характеристики (1), нажимаем ПКМ на интересующий нас интервал «1» (2) и выбираем *Retrieve This Result* (3) (рис. 33), после чего делаем скриншот.

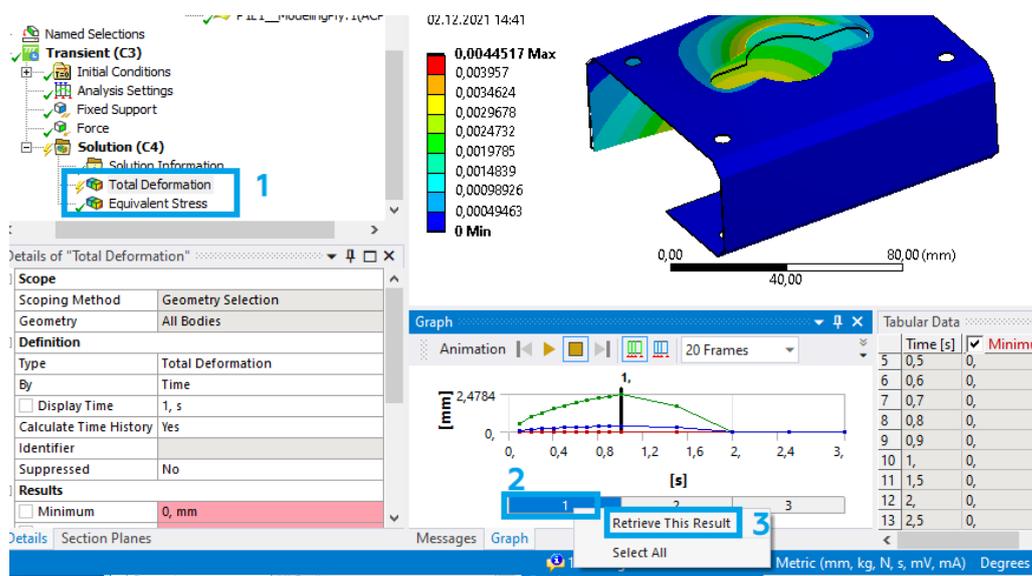
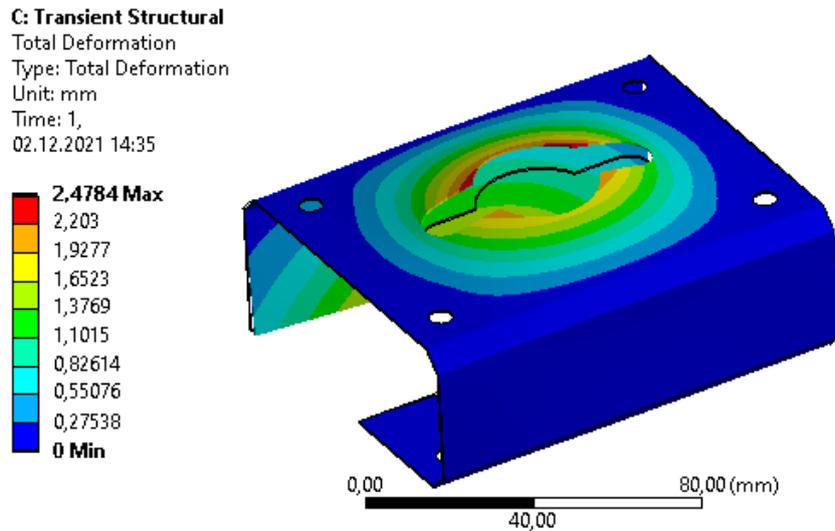
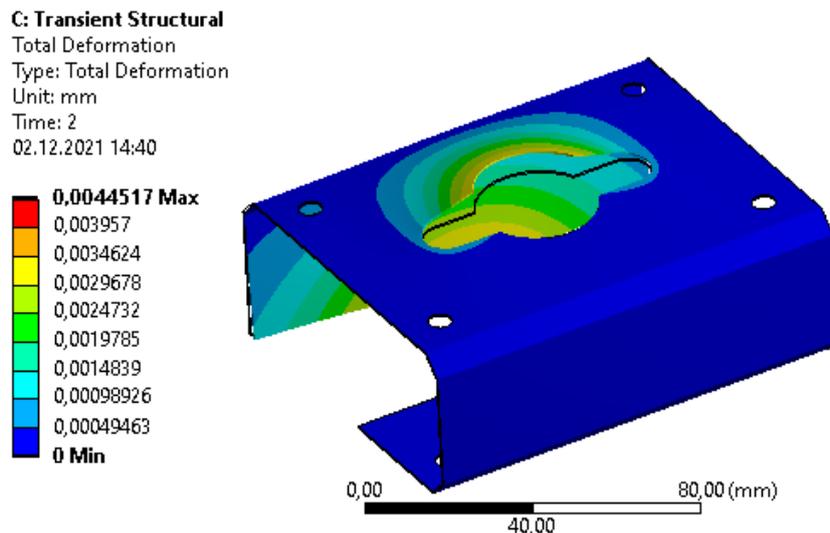


Рис. 33. Вывод результатов расчета

15.8. Пункт 15.7 повторяем для обеих характеристик через 1 и 2 с (рис. 34). Примечание: обратите внимание на числовые значения в верхнем правом углу. При разных временных интервалах для одной и той же характеристики они отличаются. Это говорит о том, что одинаковый цвет на поверхности оболочки будет иметь разные значения перемещений или напряжения.



a



б

Рис. 34. Результаты расчета:

- a* – полное перемещение через 1 секунду;
- б* – полное перемещение через 2 секунды;
- в* – эквивалентное напряжение через 1 секунду;
- г* – эквивалентное напряжение через 2 секунды (начало)

C: Transient Structural

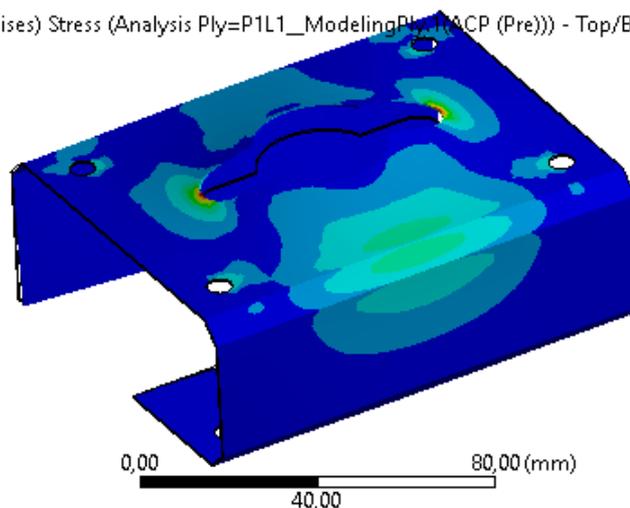
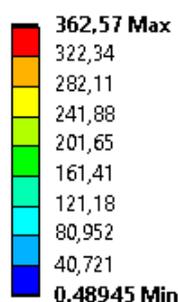
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Analysis Ply=P1L1_ModelingPly.1(ACP (Pre))) - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1,

02.12.2021 14:40



б

C: Transient Structural

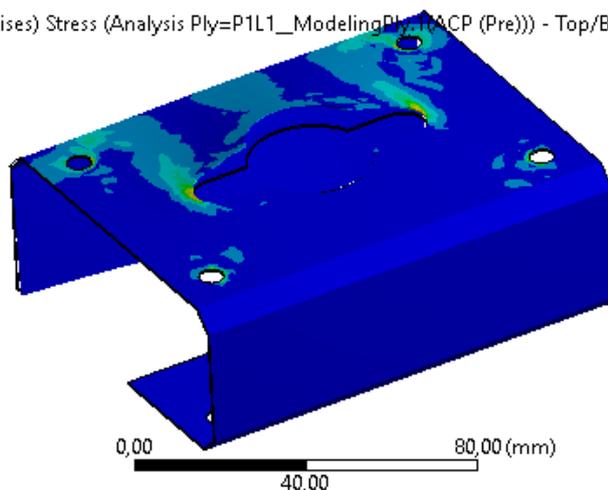
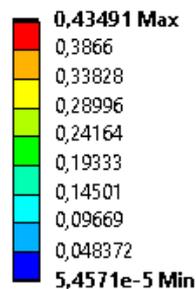
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Analysis Ply=P1L1_ModelingPly.1(ACP (Pre))) - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 2

02.12.2021 14:43



г

Рис. 34. Результаты расчета:

а – полное перемещение через 1 секунду;

б – полное перемещение через 2 секунды;

в – эквивалентное напряжение через 1 секунду;

г – эквивалентное напряжение через 2 секунды (окончание)

15.9. Теперь окно *Mechanical* можно закрыть.

16. В итоге должен получиться проект, имеющий следующую цепочку модулей (рис. 35).

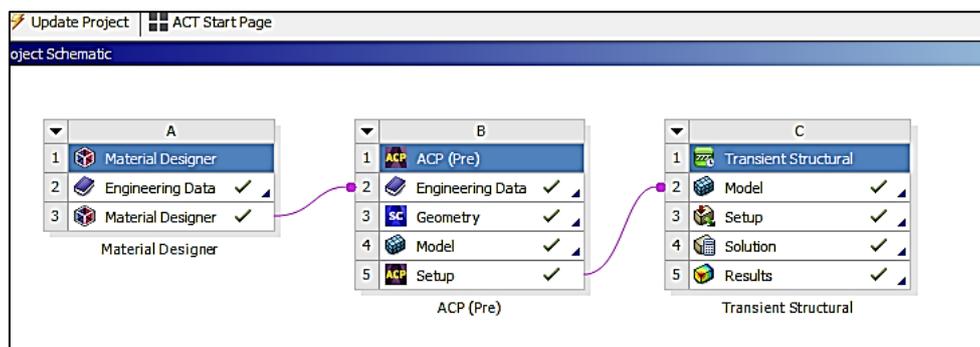


Рис. 35. Готовый проект

17. 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, ACP (Pre) – Geometry, ACP (Pre) – Model, ACP (Pre) – Setup; Mechanical – граничные условия, Mechanical – результаты).
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое сеточная модель?
2. Краткая характеристика CAE-систем. Примеры.
3. Для чего нужен Material Designer?
4. В каком блоке происходит настройка сеточной модели?
5. Как создавать связь между модулями?
6. Как приложить силу к ребру/поверхности?
7. Как установить временной шаг для динамического расчета?
8. Основные этапы выполнения работы.

Лабораторная работа № 3

ТЕПЛОВОЙ АНАЛИЗ ОБОЛОЧКИ

ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы

Изучение основных этапов проведения статического теплового анализа в среде *ANSYS Workbench*. Приобретение студентами навыков в использовании программного инструмента *ANSYS Workbench – Steady-State Thermal* при проведении теплового анализа оболочки из композиционных материалов, созданных с помощью *Material Designer* и *ACP (Pre)*.

Описание работы

Используя модули *Material Designer*, *ACP (Pre)* и *Steady-State Thermal*, необходимо рассчитать распределение температуры по оболочке (*Thermal*) из композиционных материалов (рис. 1–2). Известны: материал объемного элемента, два типа объемных элементов и участки с температурой T_1 и T_2 (табл. 1).

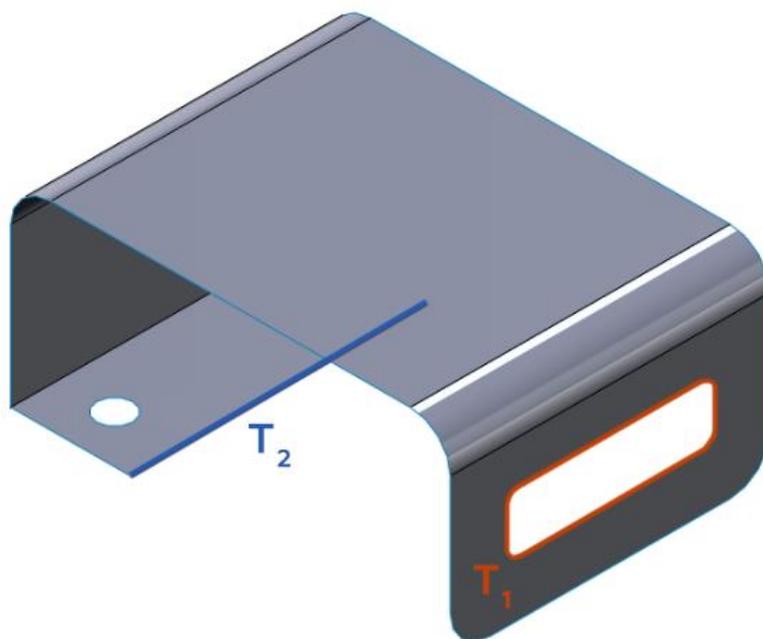


Рис. 1. Схема № 1

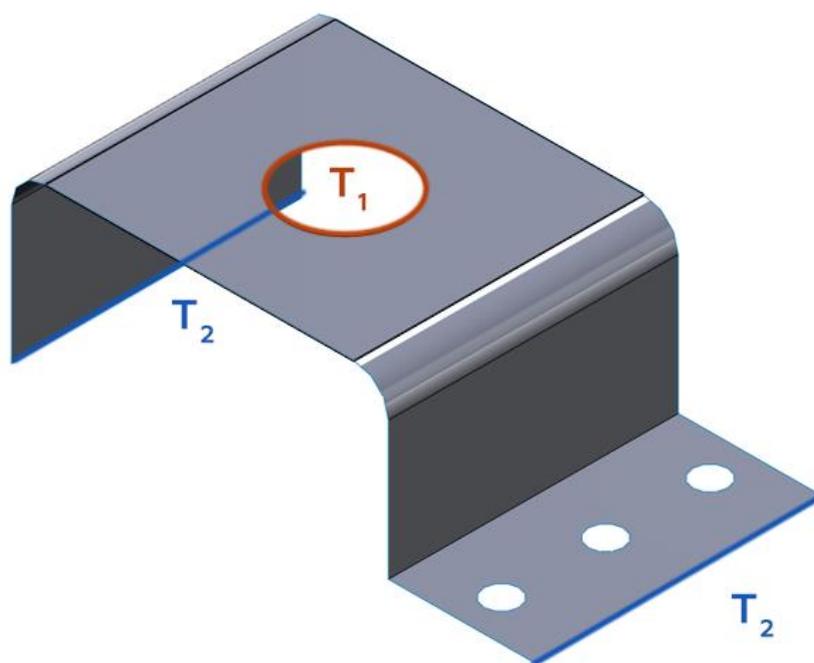


Рис. 2. Схема № 2

Таблица 1

Исходные данные

Вариант	Номер схемы	Тип объемного элемента	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$
1	1	– Регулярная однонаправленная – Сферическая	50	10
2	2	– Сферическая – Плетеная	55	20
3	1	– Плетеная – Регулярная однонаправленная	65	40
4	1	– Сферическая – Регулярная однонаправленная	70	60
5	2	– Регулярная однонаправленная – Плетеная	40	50
6	2	– Сферическая – Регулярная однонаправленная	110	30
7	1	– Плетеная – Регулярная однонаправленная	45	70
8	2	– Сферическая – Плетеная	50	60
9	1	– Регулярная однонаправленная – Сферическая	60	85

Продолжение табл. 1

Вариант	Номер схемы	Тип объемного элемента	T ₁ , °C	T ₂ , °C
10	1	– Сферическая – Регулярная однонаправленная	55	40
11	2	– Плетеная – Регулярная однонаправленная	40	30
12	1	– Сферическая – Плетеная	30	20
13	1	– Регулярная однонаправленная – Сферическая	20	5
14	2	– Сферическая – Регулярная однонаправленная	60	50
15	2	– Плетеная – Сферическая	70	45
16	1	– Сферическая – Регулярная однонаправленная	80	35
17	2	– Регулярная однонаправленная – Плетеная	90	55
18	2	– Сферическая – Плетеная	65	70
19	1	– Плетеная – Сферическая	75	65
20	2	– Сферическая – Регулярная однонаправленная	80	30
21	1	– Регулярная однонаправленная – Сферическая	60	20
22	1	– Сферическая – Плетеная	50	10
23	2	– Плетеная – Регулярная однонаправленная	40	25
24	1	– Сферическая – Плетеная	55	45
25	2	– Регулярная однонаправленная – Сферическая	75	10
26	2	– Сферическая – Плетеная	35	65
27	1	– Плетеная – Сферическая	45	80

Вариант	Номер схемы	Тип объемного элемента	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$
28	2	– Сферическая – Плетеная	80	30
29	2	– Регулярная однонаправленная – Сферическая	90	35
30	1	– Сферическая – Плетеная	55	40

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Запускаем *ANSYS Workbench* и добавляем несколько модулей: *Material Designer*, *ACP (Pre)* и *Steady-State Thermal* (рис. 3).

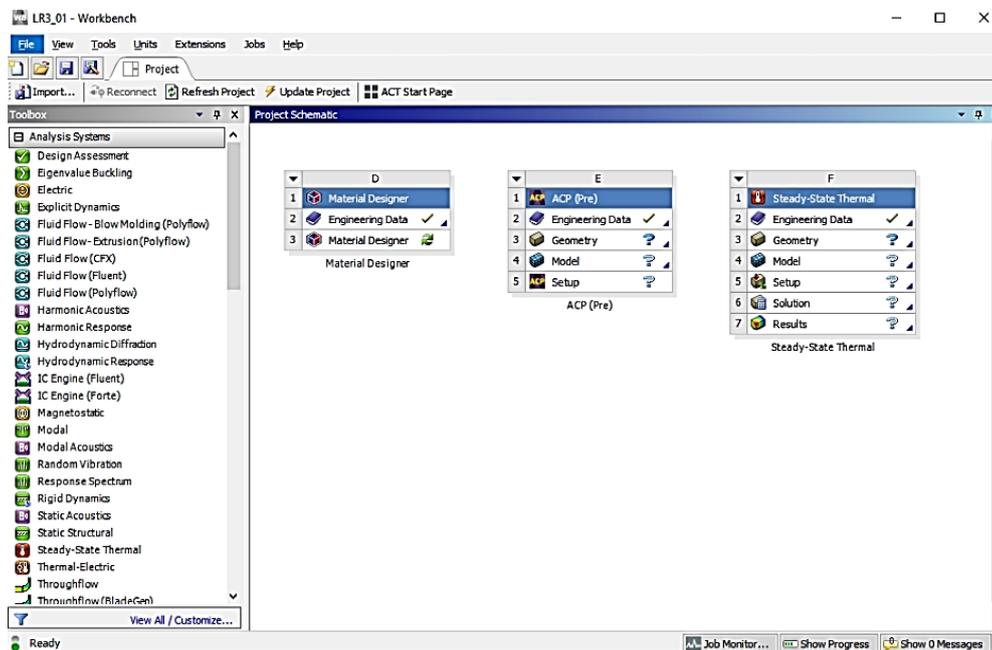


Рис. 3. Добавление модулей

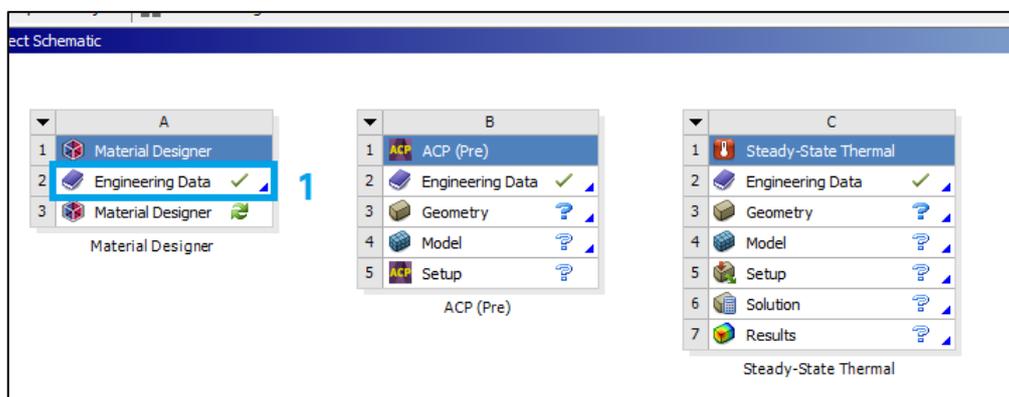
2. Подготавливаем материал волокна и наполнителя:

2.1. Дважды нажимаем ЛКМ на блок *Engineering Data* (1), после чего ждем на *Engineering Data Sources* (2). Выбираем библиотеку *Composite Materials* (3) и подключаем материалы волокна – *Carbon Fiber (290 GPa)* и наполнителя – *Epoxy E-Glass UD* (4). Нажимаем на *Engineering Data Sources* (2) еще раз, чтобы вернуться к используемым в проекте материалам (рис. 4, а, б).

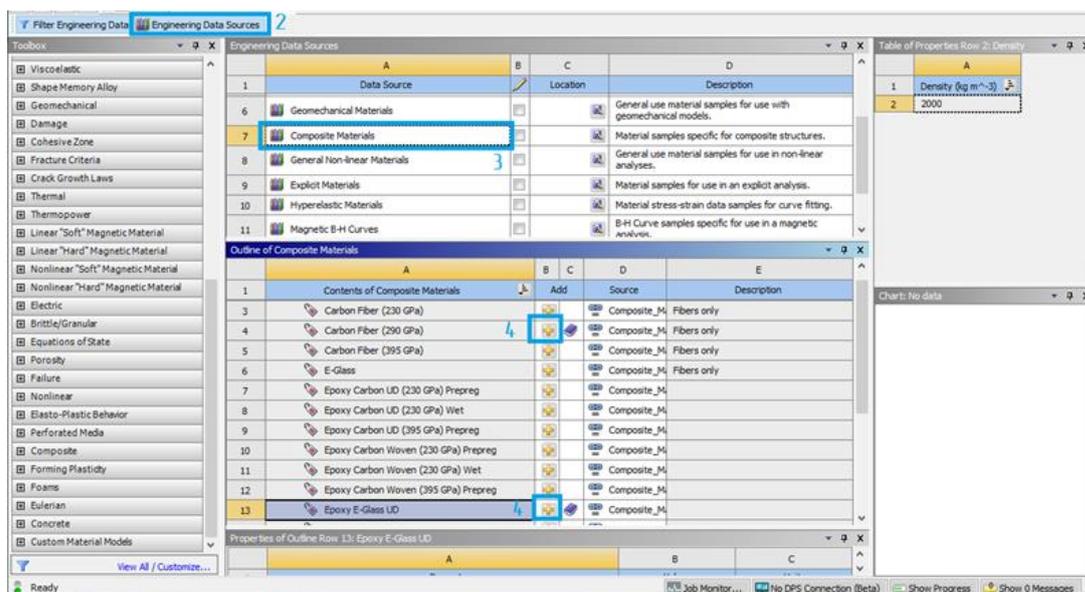
2.2. Добавляем коэффициент теплового расширения и теплопроводности для наполнителя и волокна:

– для волокна (5) коэффициент теплового расширения *Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion* (6) будет равен $1 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ (8), а коэффициент теплопроводности *Isotropic Thermal Conductivity* (7) – $0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ (9);

– для наполнителя (10) коэффициент теплового расширения *Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion* (11) будет равен $5 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ (13), а коэффициент теплопроводности *Isotropic Thermal Conductivity* (12) – $0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ (14).

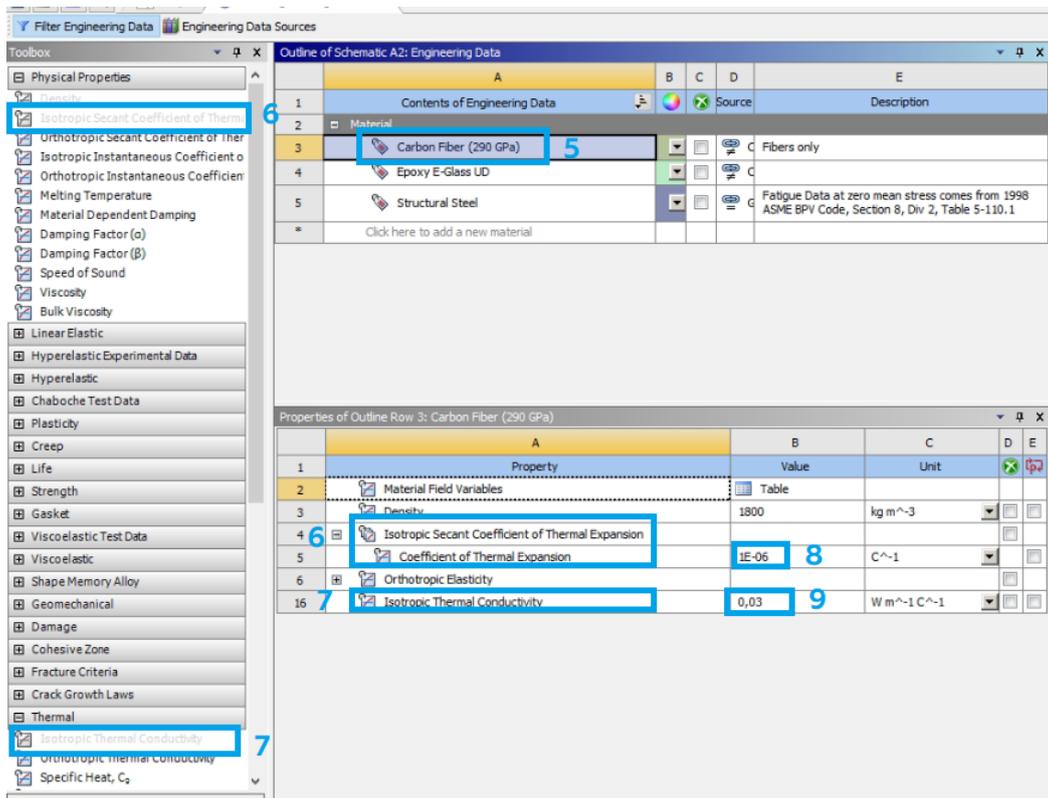


a

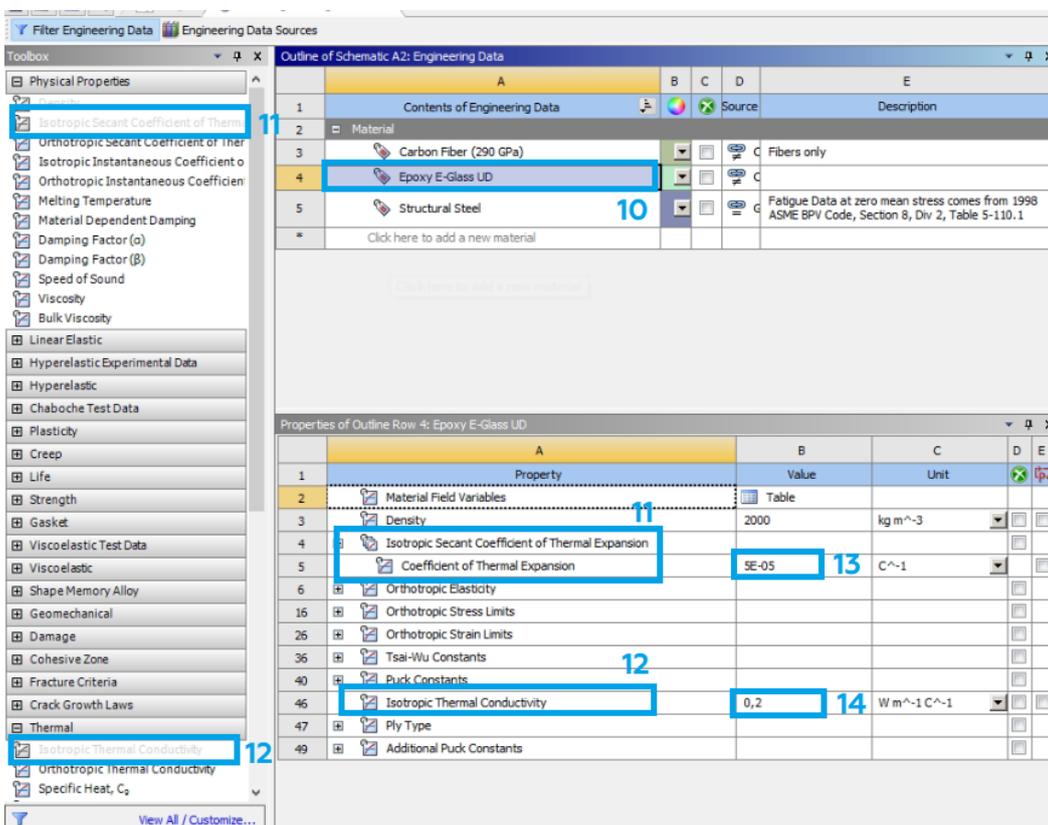


b

Рис. 4. Выбор материала волокна и наполнителя (начало)



6



2

Рис. 4. Выбор материала волокна и наполнителя (окончание)

3. В первом модуле дважды нажимаем ЛКМ на *Material Designer*, после чего откроется окно, представленное на рис. 5.

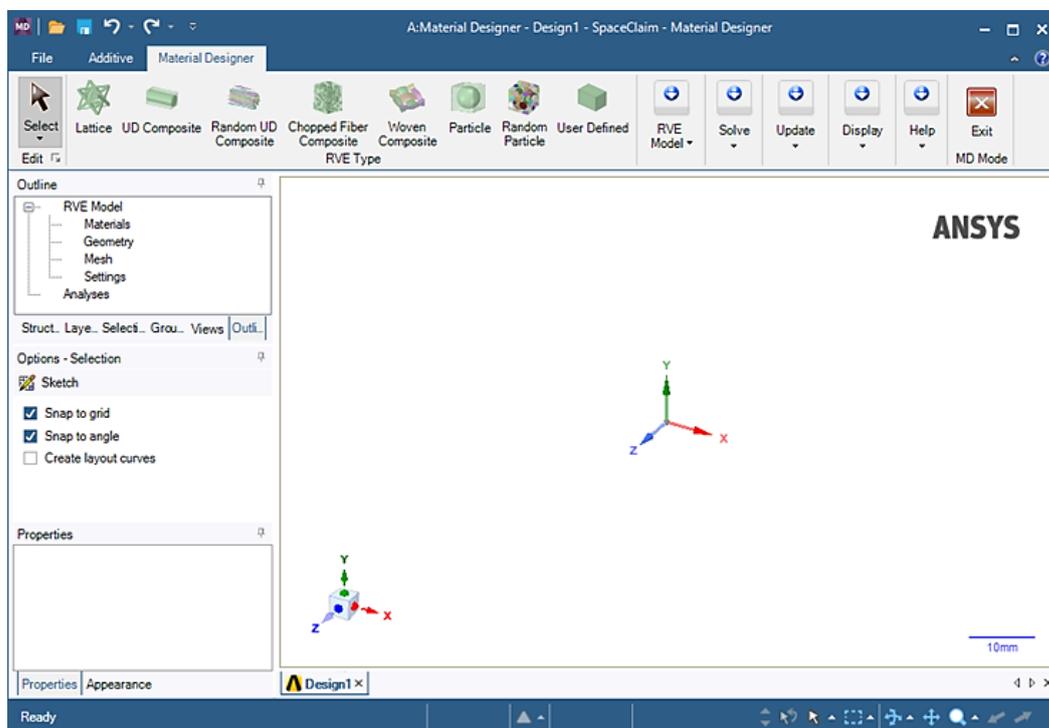


Рис. 5. Окно Material Designer

4. В верхней панели инструментов (рис. 6) выбираем тип объемного элемента модифицированной микроструктуры согласно своему варианту (табл. 1).



Рис. 6. Выбор объемного элемента модифицированной микроструктуры

5. В появившейся слева панели присваиваем материал матрицы/наполнителя (1) и частицы/волокон (2) (рис. 7). После чего необходимо применить изменения (3).

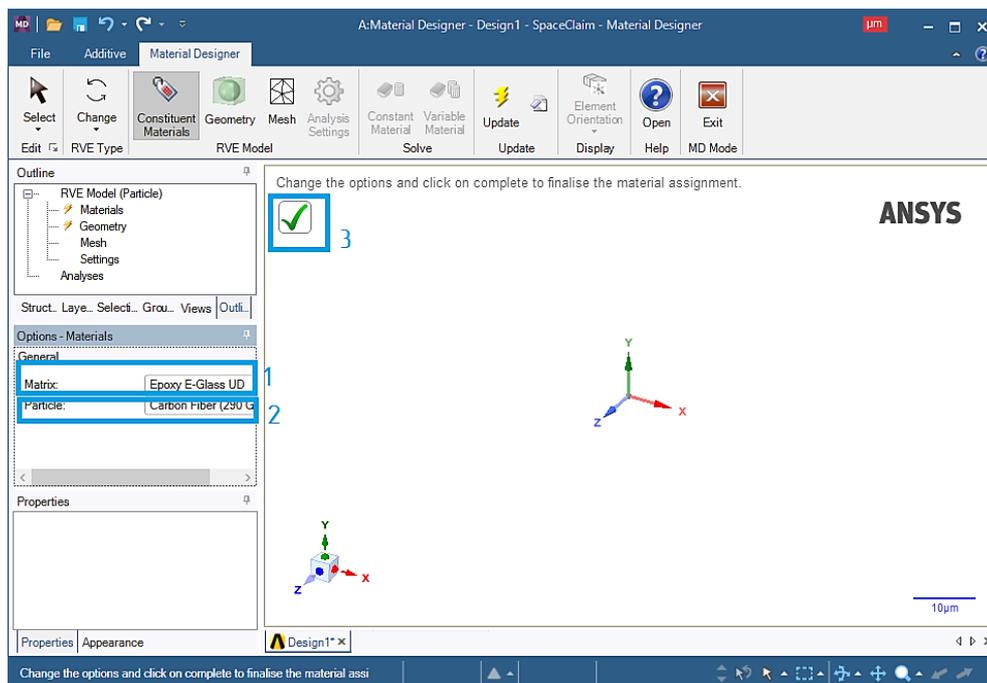


Рис. 7. Присвоение материалов

6. Для создания геометрии объемного элемента (рис. 8) 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 на галочку (3) и на рабочем пространстве появится трехмерная модель сгенерированного объемного элемента (4).

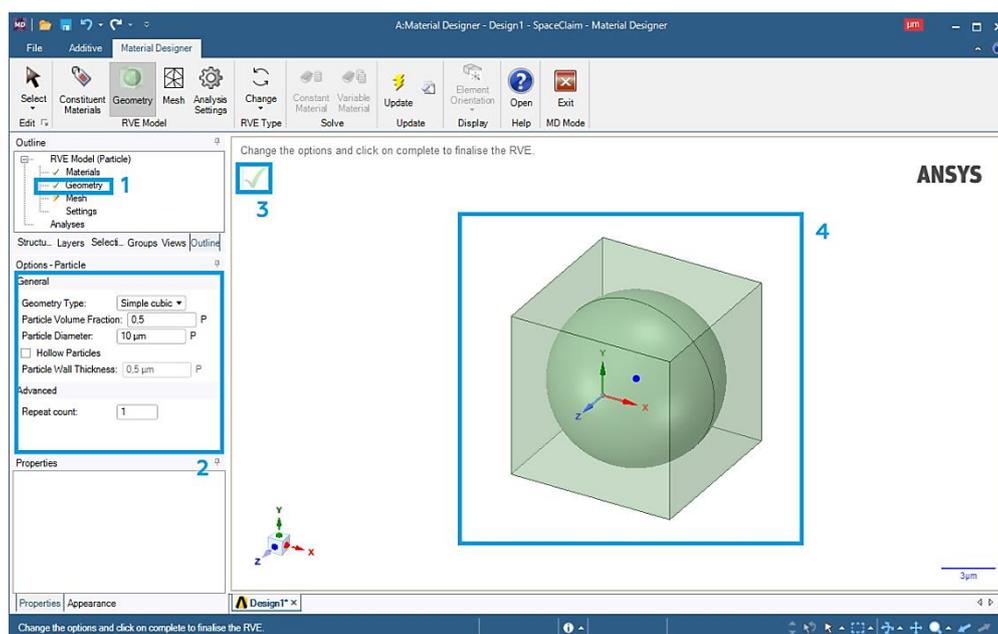


Рис. 8. Создание геометрии объемного элемента

7. Сгенерируем сеточную модель объемного элемента (рис. 9). 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.

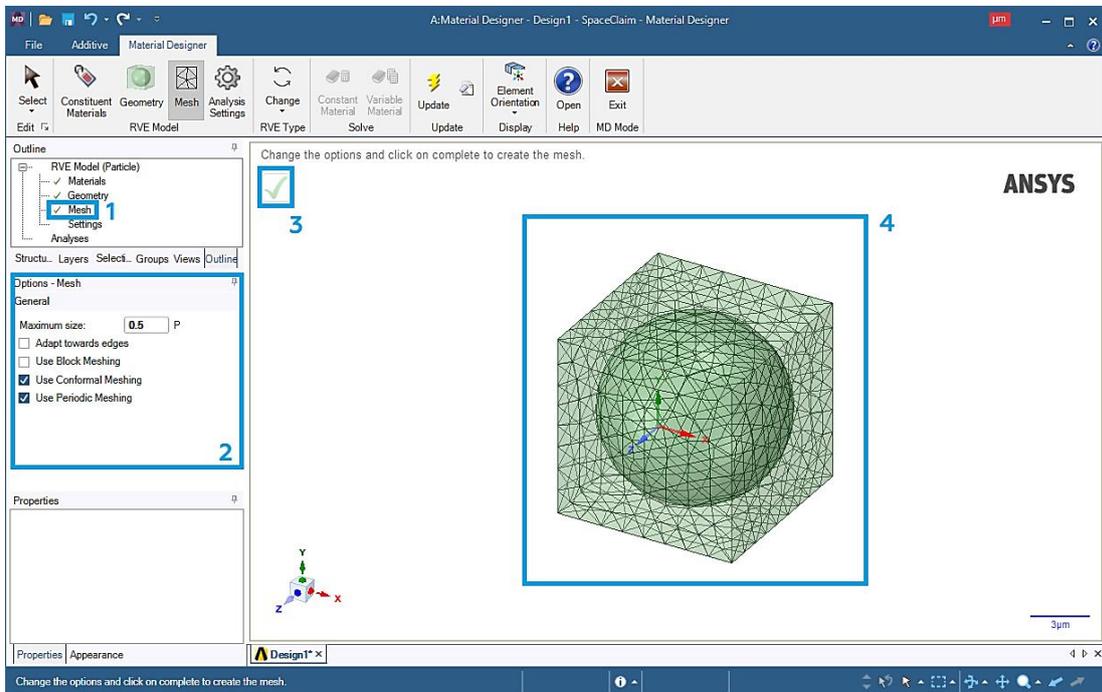


Рис. 9. Создание сетки объемного элемента

8. Нажимаем ЛКМ на **Settings** (1). На панели слева (2) можно выставить интересующие настройки анализа объемного элемента (рис. 10), в нашем случае добавляем **Compute coefficients of thermal expansion** (Вычислить коэффициенты теплового расширения) и **Compute thermal conductivity** (Вычислить теплопроводность). Нажимаем на галочку (3) и видим системное окно, предупреждающее о результатах проведенного анализа (4).

9. Присваиваем название созданному объемному элементу (рис. 11). Для этого нажимаем ПКМ на **Analyses** (1) – **Constant Material** (2), вводим название материала (3) и нажимаем на галочку (4). Закрываем окно **Material Designer**.

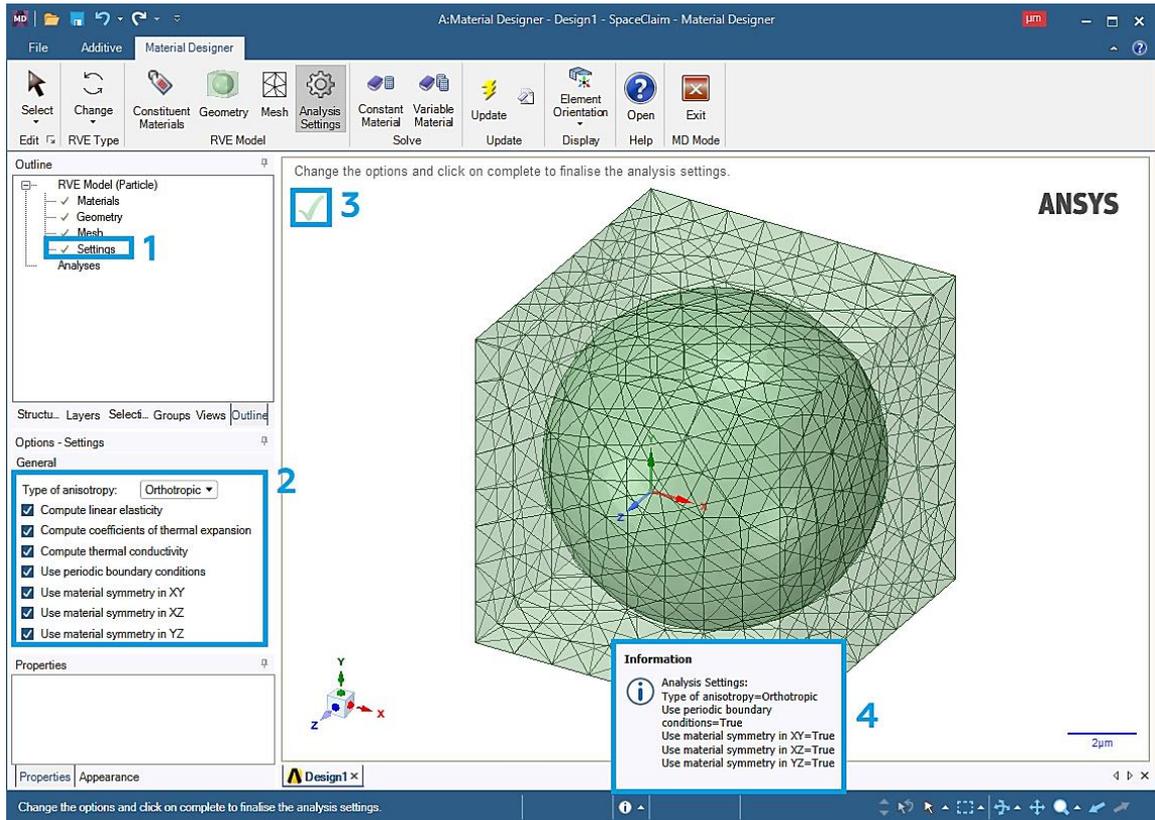


Рис. 10. Выбор характеристик частицы

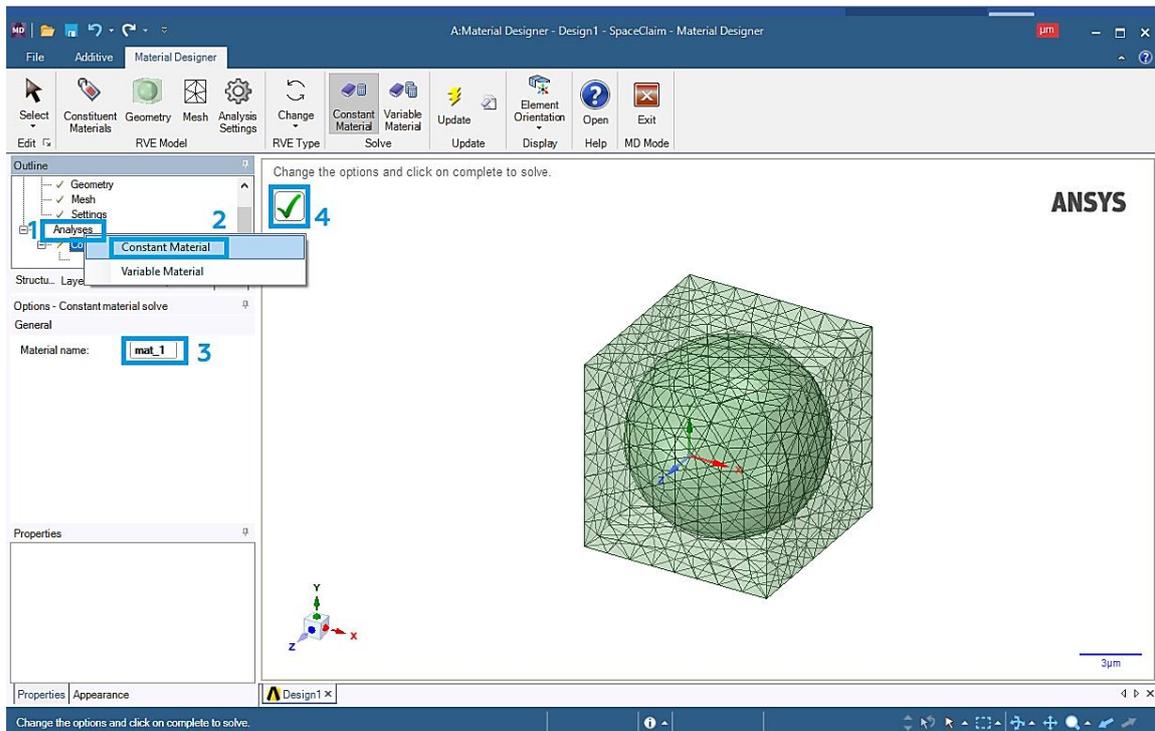


Рис. 11. Создание сетки объемного элемента

10. Создаем связь между первым и вторым модулями *Material Designer* для присвоения созданного нами композитного материала к анализируемой геометрии через второй блок (рис. 12):

10.1. В окне *ANSYS Workbench* нажимаем ПКМ на *Material Designer* (1) и выбираем *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*.

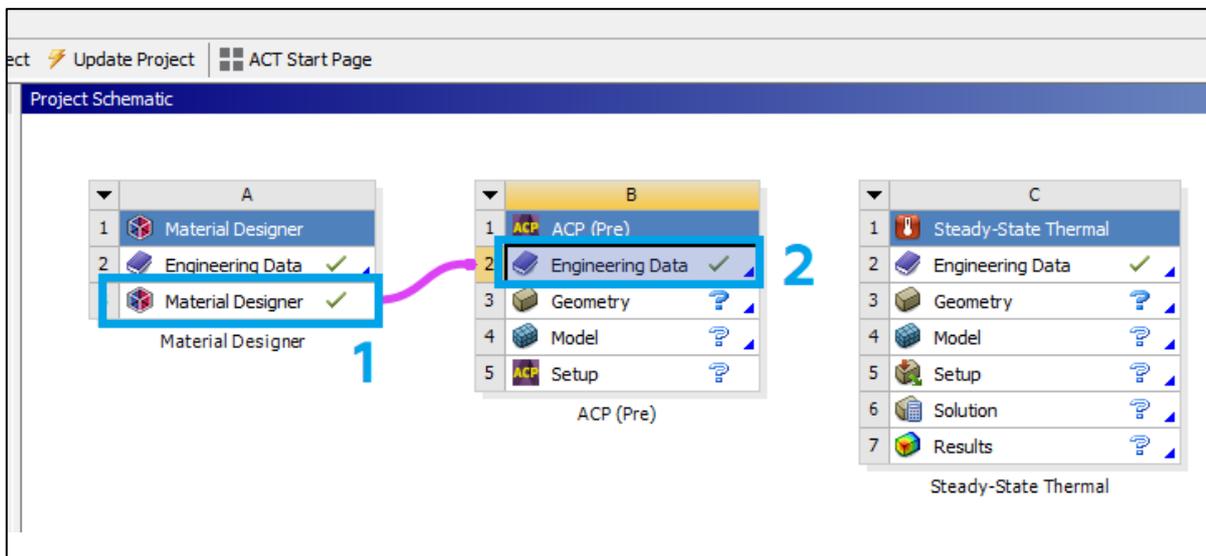


Рис. 12. Создание связи

11. Импортируем геометрию:

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

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

11.3. 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 жмем кнопку *Открыть*. Импортированная геометрия показан на рис. 13.

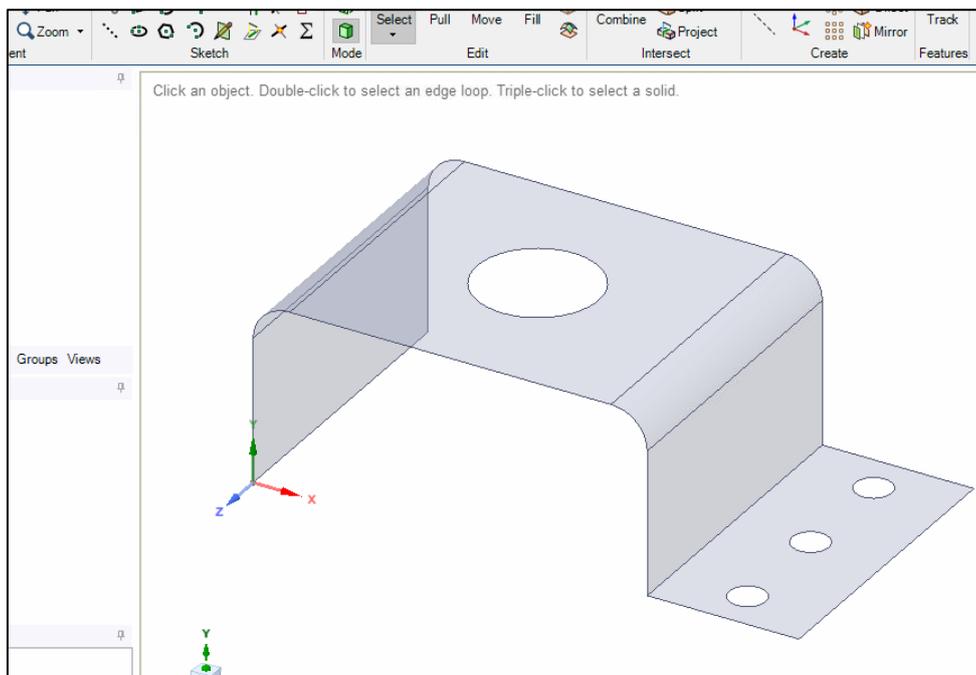


Рис. 13. Импорт геометрии

11.4. После этого окно геометрии можно закрыть.

12. Приступаем к созданию сетки:

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

12.2. В открывшемся окне раскрываем вкладку Geometry (1), выделяем геометрию (2) и задаём толщину (3) 0,5 мм (рис. 14).

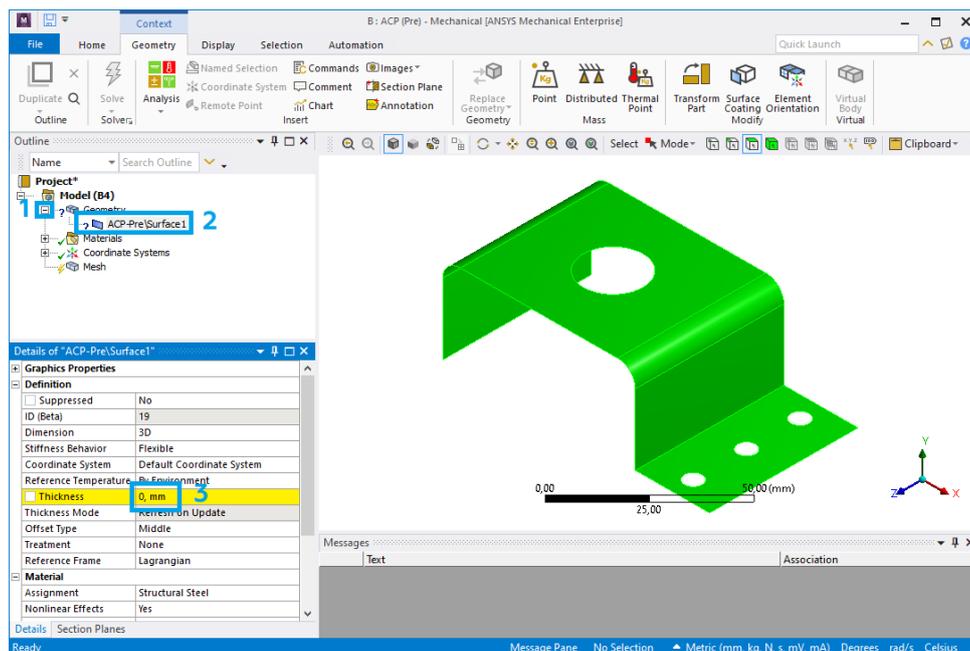


Рис. 14. Задание толщины оболочки

12.3. Задаем настройки сеточной модели:

- жмем ПКМ на **Mesh** – **Insert** – **Method**, выделяем геометрию (1) и выбираем метод (2) – **Multizone Quad/Tri** (рис. 15);

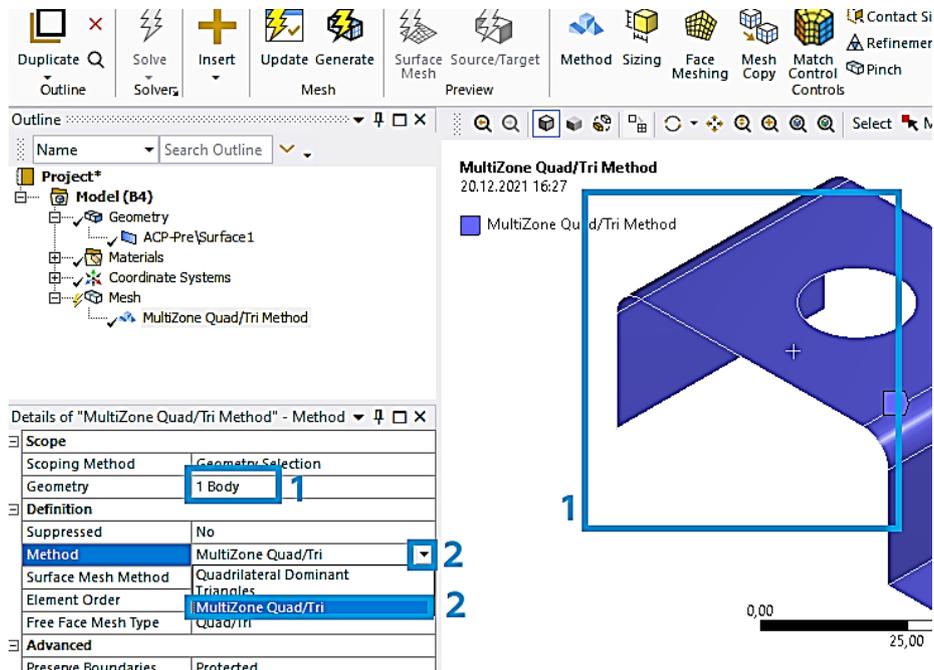


Рис. 15. Задание настроек сетки

- жмем ПКМ на **Mesh** – **Insert** – **Sizing**, выделяем всю геометрию (1) и задаем величину ячеек 1 мм (2) (рис. 16).

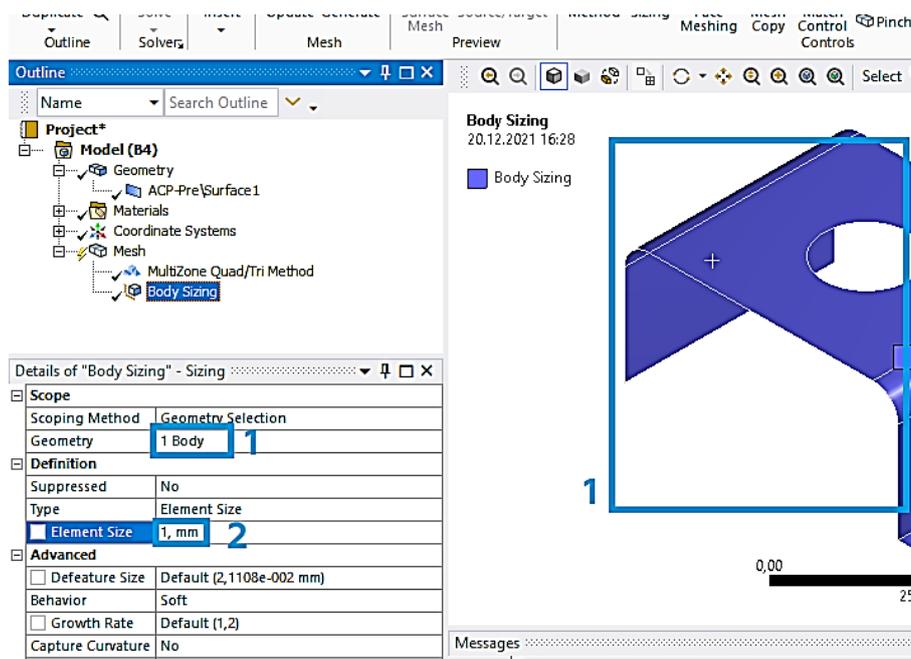


Рис. 16. Задание настроек сетки

12.4. Нажимаем ПКМ на *Mesh* и выбираем *Generate mesh*. Готовая сеточная модель представлена на рис. 17. Закрываем окно блока *Model*.

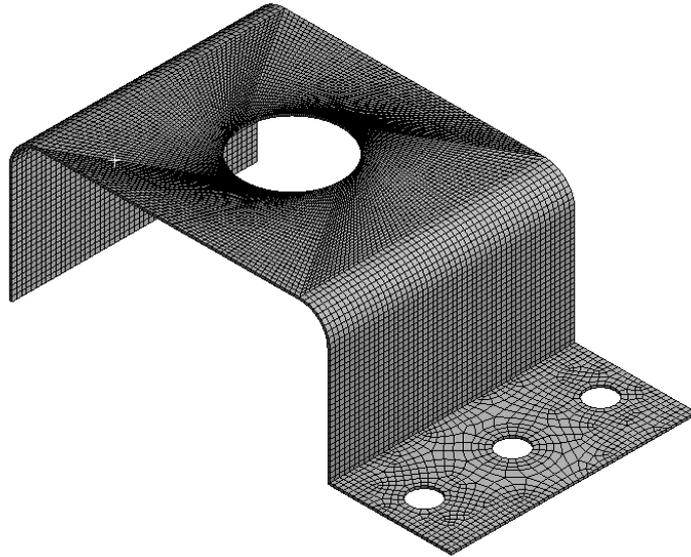


Рис. 17. Генерация сеточной модели

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

13. Настраиваем слои созданных композитных материалов:

13.1. В окне *Workbench* дважды нажимаем на *Setup* в блоке *ACP (Pre)*. После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 18.

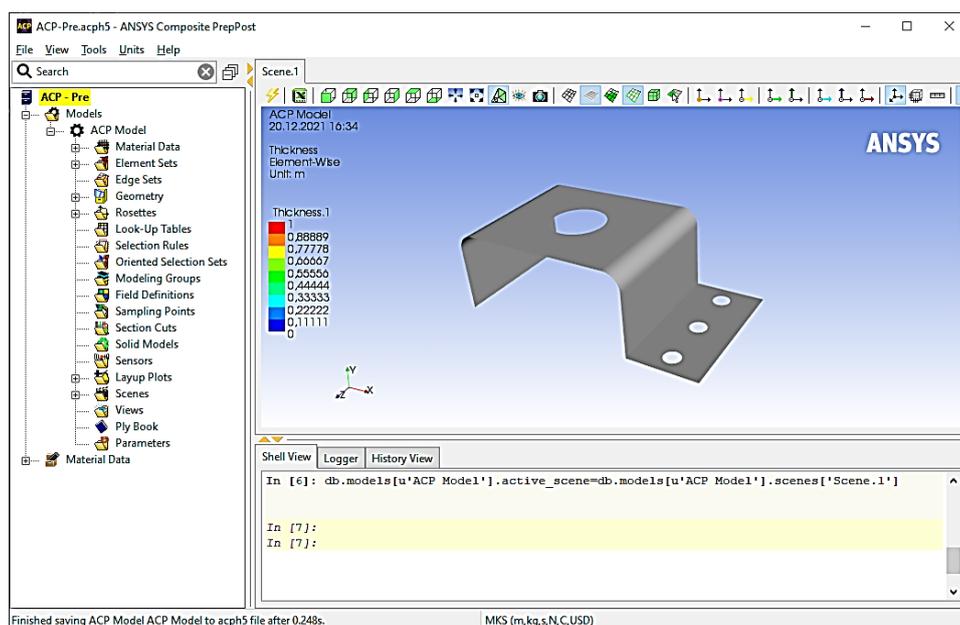


Рис. 18. Окно ANSYS Composite PrepPost

13.2. Сразу изменяем единицы измерения на мм. Для этого нажимаем на **Units** (1) и выбираем **MPA (mm,t,s,N,C,USD)** (2) (рис. 19).

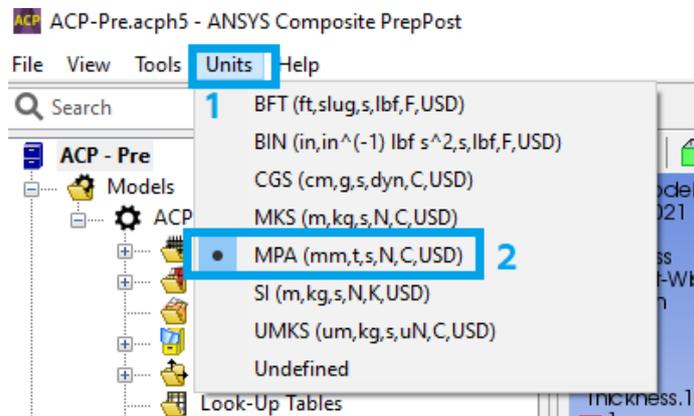


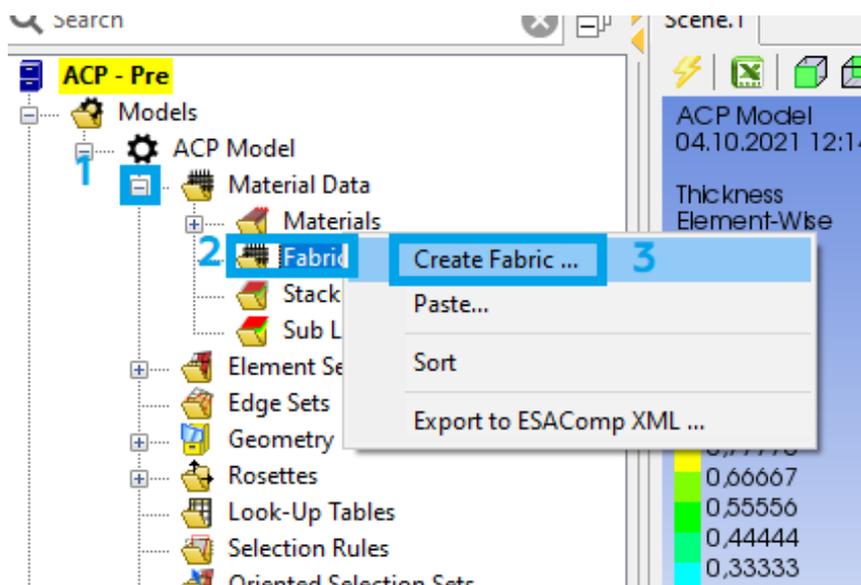
Рис. 19. Изменение единиц измерения

13.3. Создаем слой волокон композитного материала (рис. 20):

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

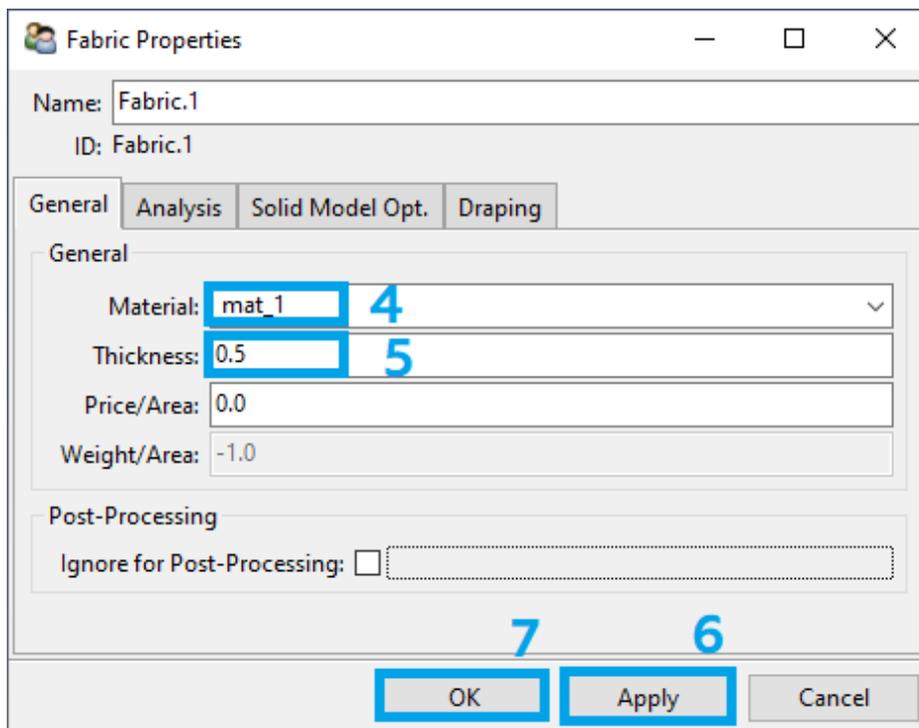
– выбираем материал (4), задаем толщину 0.5 мм (5) и жмем **Apply** (6).

Если на экране появится окно с предупреждением, то его можно закрыть. После этого окно можно закрыть (7).



a

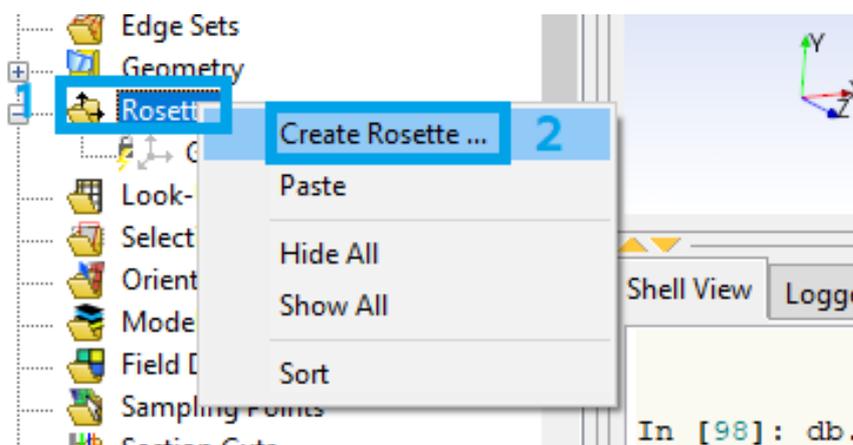
Рис. 20. Создание слоя волокон
(начало)



б

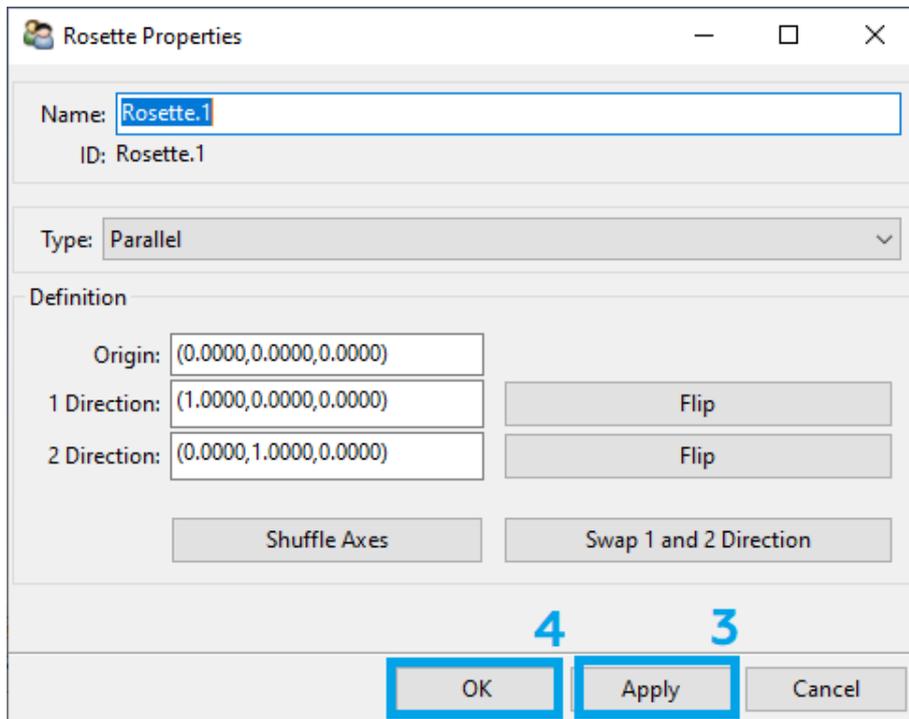
Рис. 20. Создание слоя волокон
(окончание)

13.4. Создаем ось координат (рис. 21). Нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1), выбираем **Create Rosette...** (2) и ждем **Apply** (3). После этого окно можно закрыть (4).



а

Рис. 21. Создание оси координат
(начало)

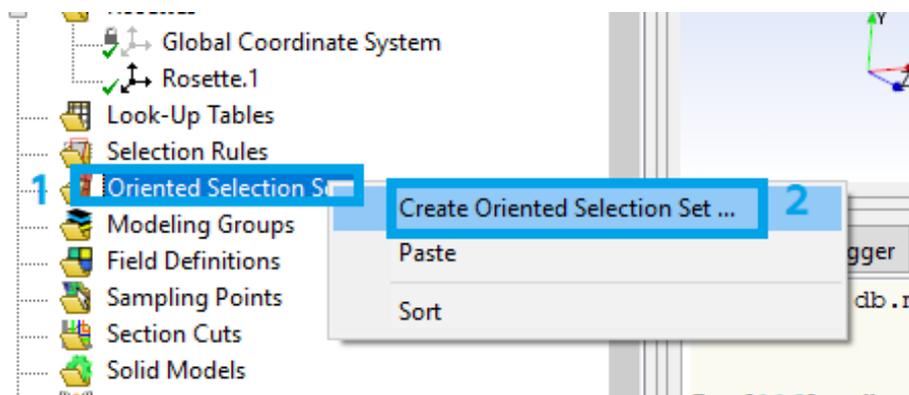


б

Рис. 21. Создание оси координат
(окончание)

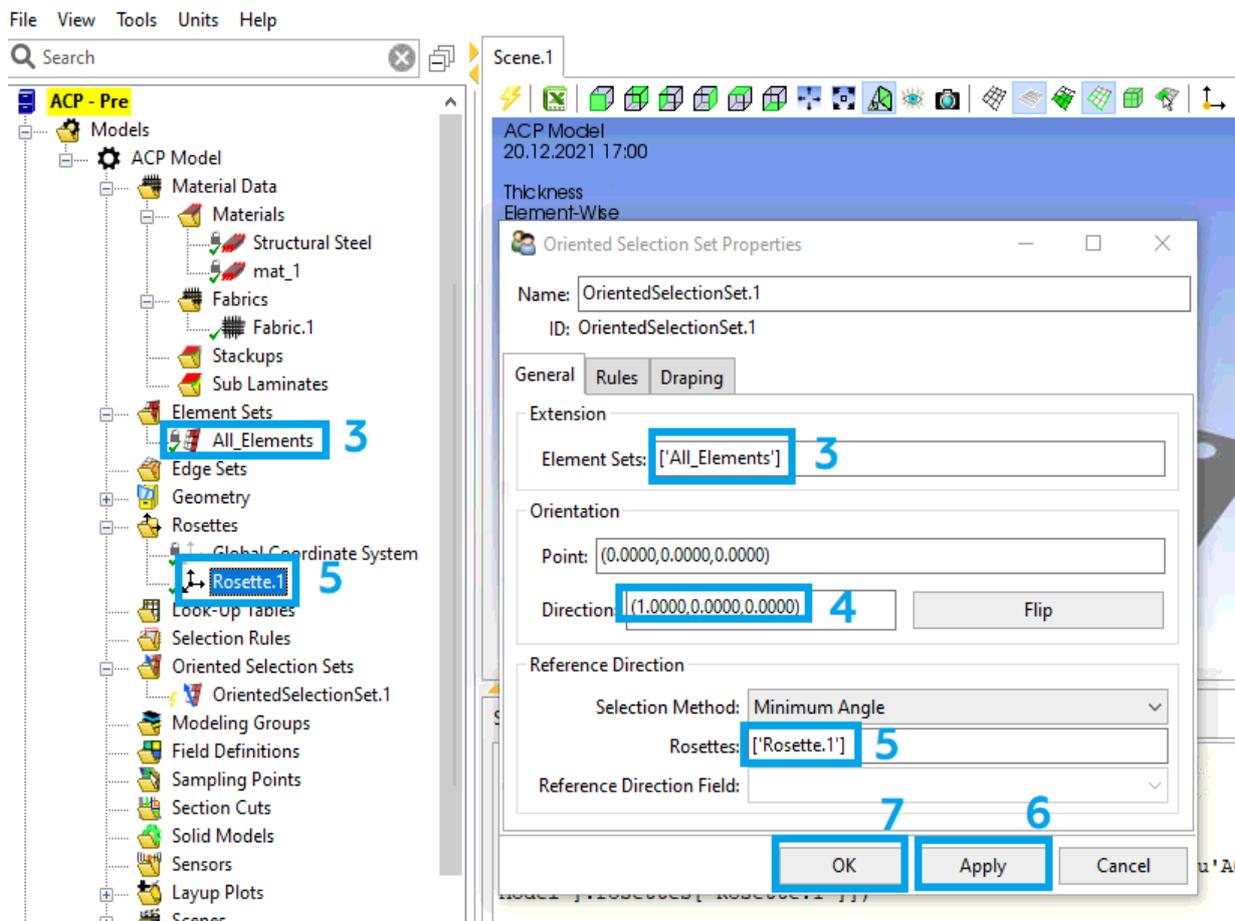
13.5. Создаем ориентированный блок (рис. 22):

- нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1) и выбираем **Create Rosette...** (2);
- выбираем элемент/геометрию (выбираем его в дереве построения в разделе **Element Sets**) (3), настраиваем ориентацию (4), выбираем созданную ось координат (5) и жмем **Apply** (6). После этого окно можно закрыть (7).



а

Рис. 22. Создание ориентированного блока
(начало)



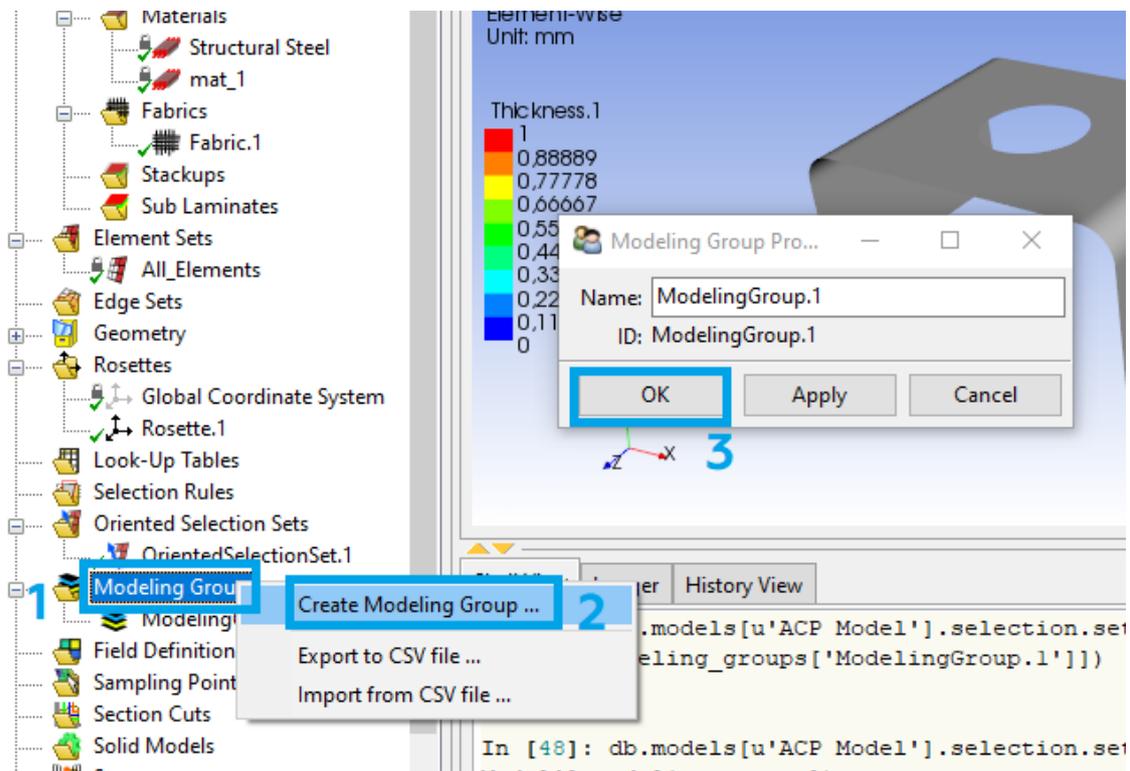
б

Рис. 22. Создание ориентированного блока
(окончание)

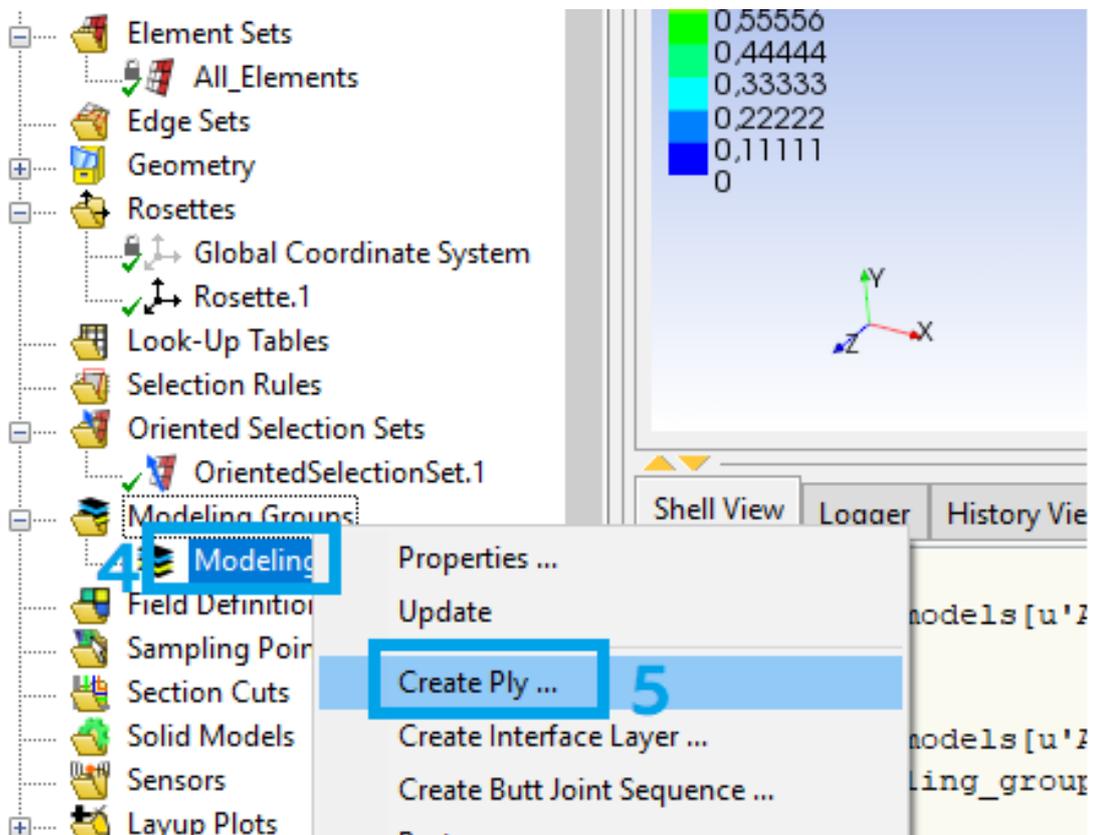
13.6. Создаем модельную группу (объединение ориентированного элемента и пакета слоев) (рис. 23):

- 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 слой композитного материала, жмем **Apply** (8). После этого окно можно закрыть (9).

13.7. Включаем отображение сетки (1) и направление волокон (2) в верхней панели (рис. 24). Выбрав модельную группу (3), видим зеленые стрелочки, показывающие направление волокон (4).

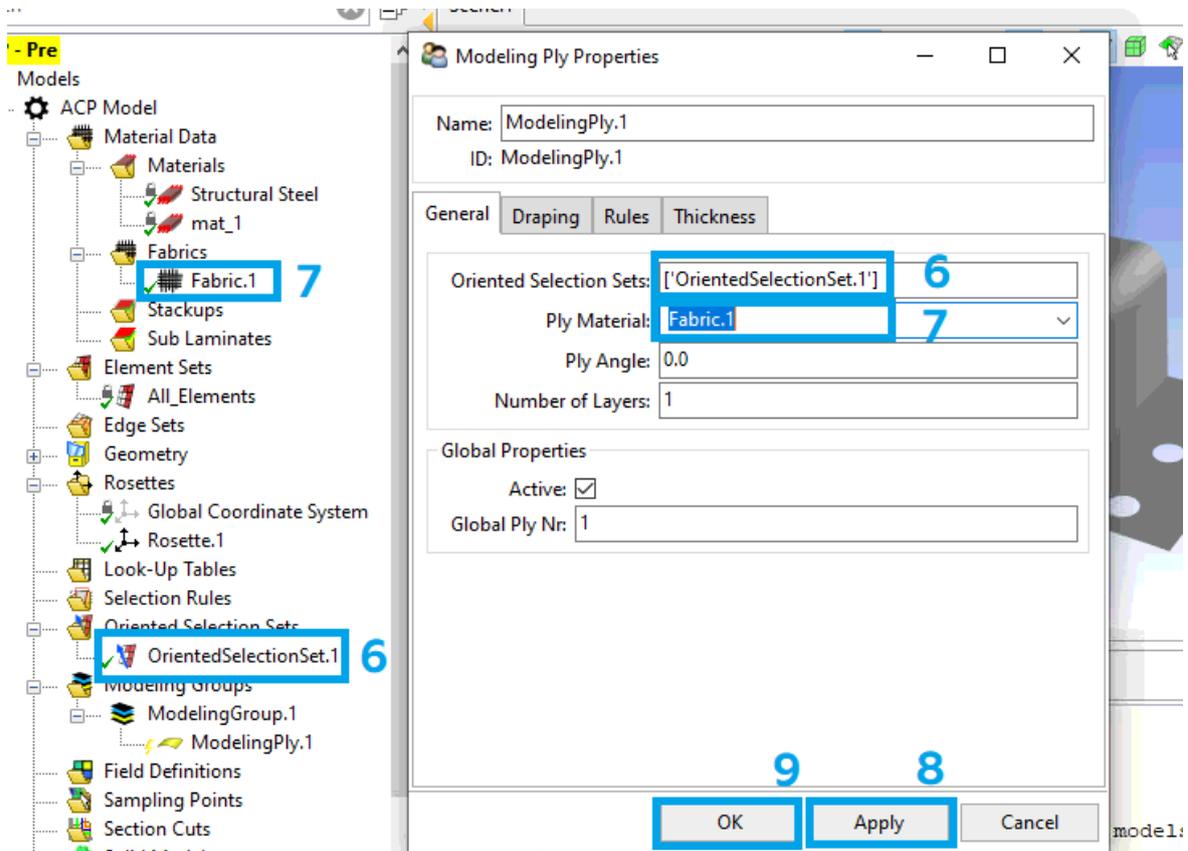


a



б

Рис. 23. Создание модельной группы
(начало)



6

Рис. 23. Создание модельной группы
(окончание)

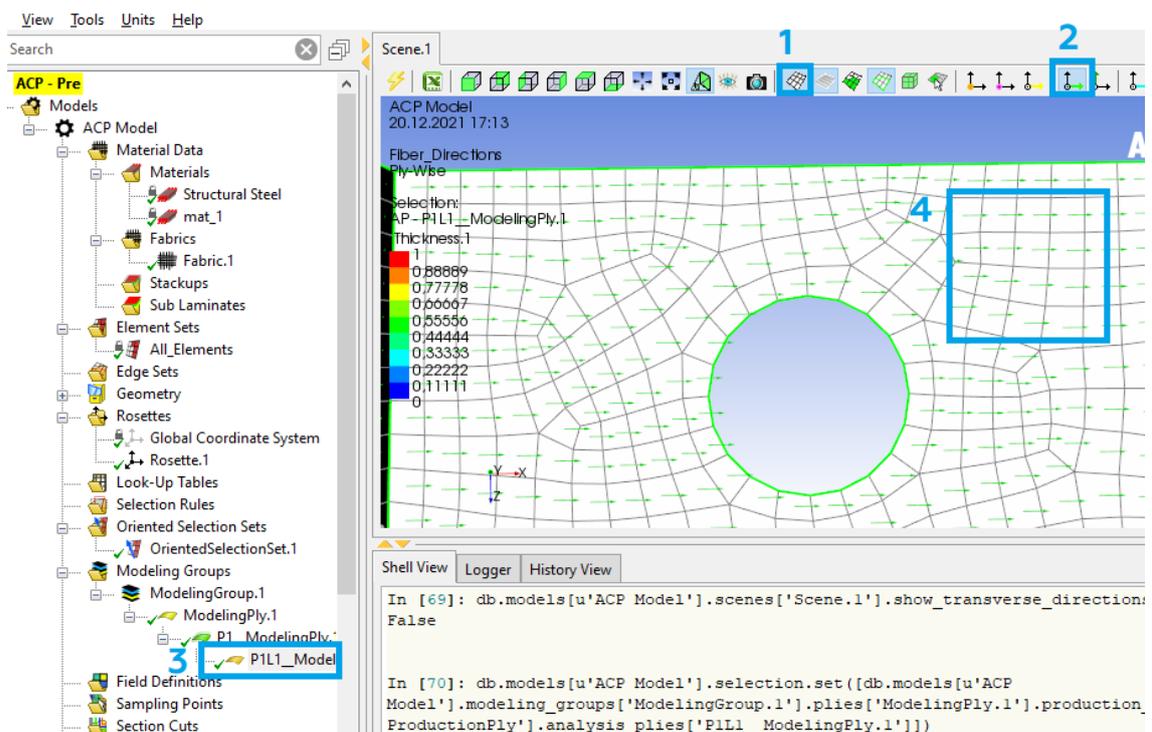
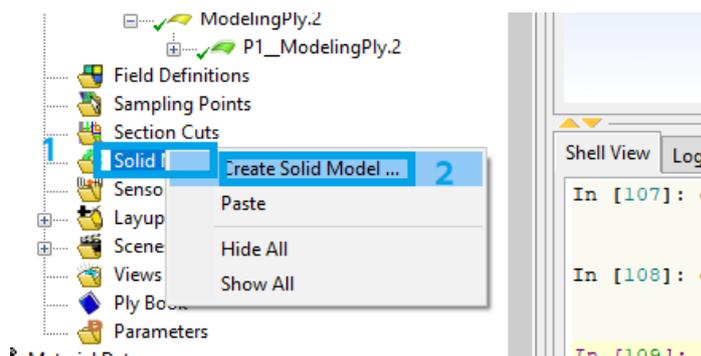


Рис. 24. Отображение направления волокон

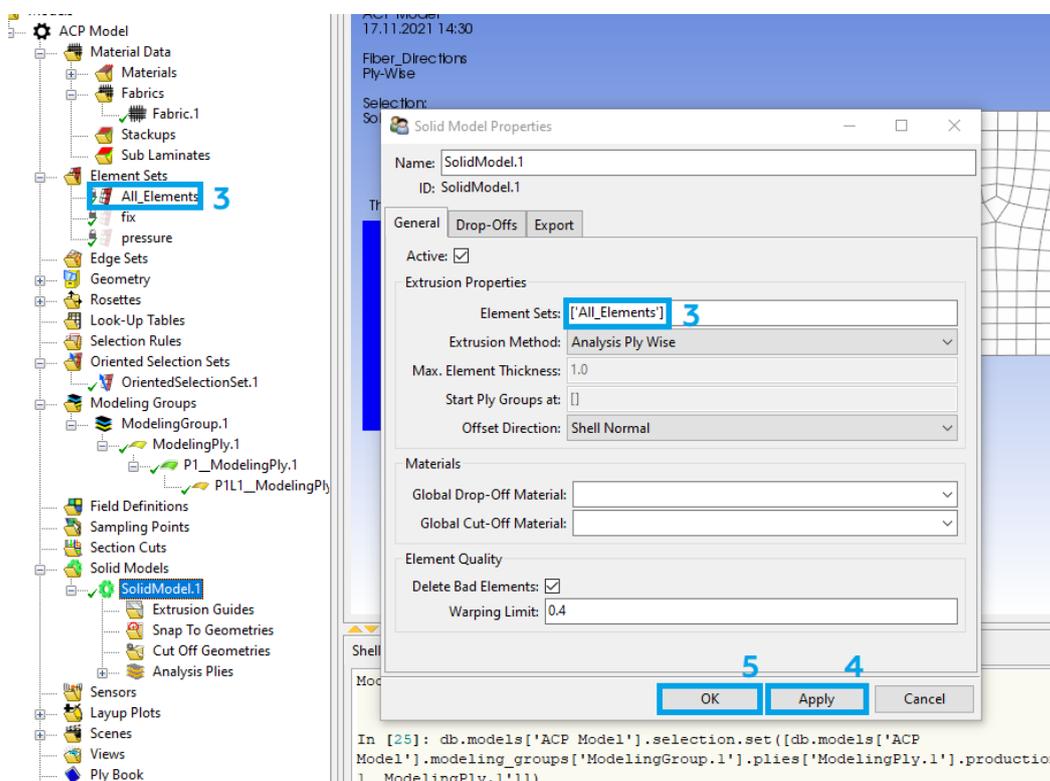
13.8. Создаем твердотельную модель (рис. 25):

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

– выбираем 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. 25. Создание твердотельной модели

13.9. Закрываем окно *ANSYS Composite PrepPost*.

14. Жажимаем ЛКМ блок *Setup* (1) в модуле *ACP (Pre)* и перетаскиваем его на блок *Model* (2) в модуле *Steady-State Thermal*. После этого появляется окно с двумя вариантами (рис. 26): первый переместит твердотельную модель (есть возможность анализировать каждый слой выбранного сегмента, но 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*.

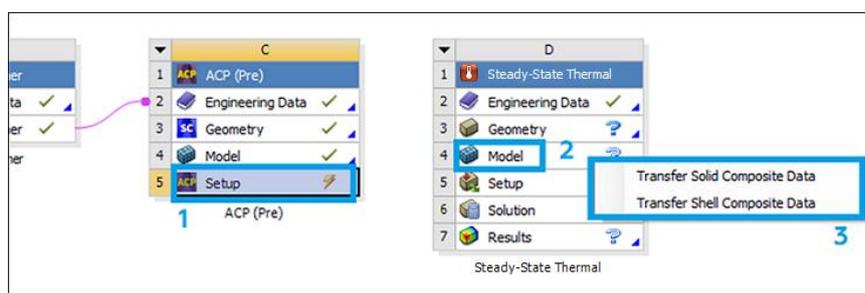


Рис. 26. Импорт данных в Steady-State Thermal

15. Приступаем к подготовке и проведению прочностного расчета:

15.1. В окне Workbench дважды нажимаем на *Model* в блоке *Static Structural*. После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 27.

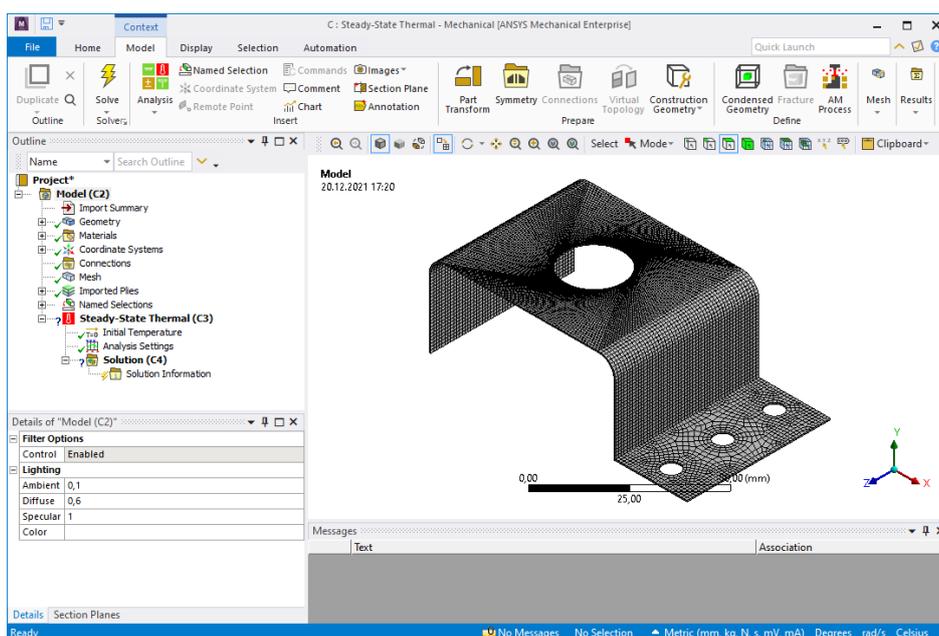
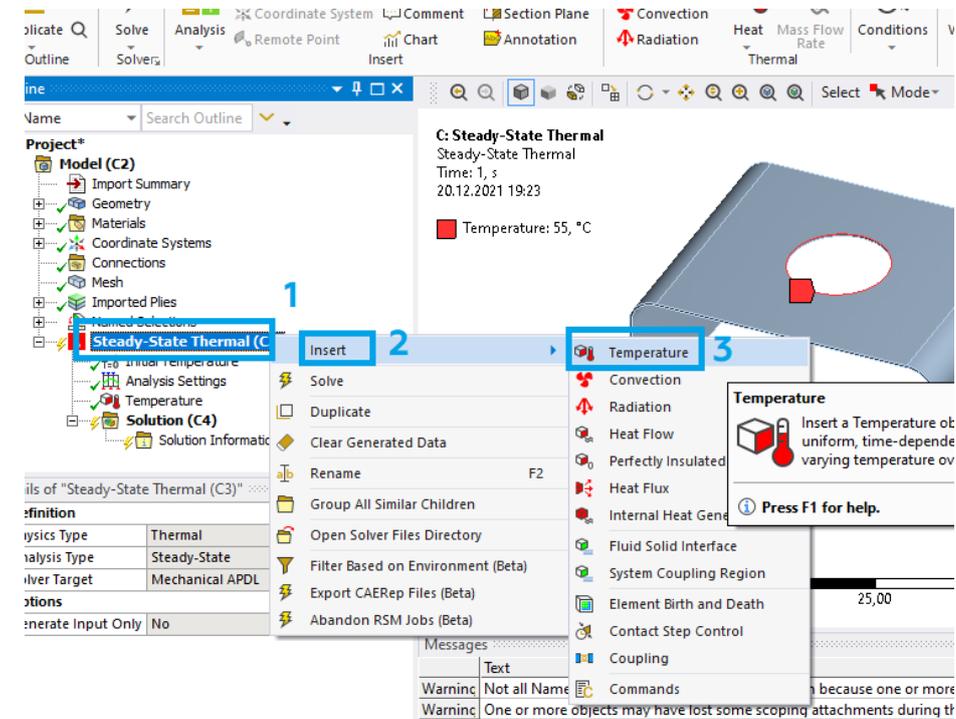
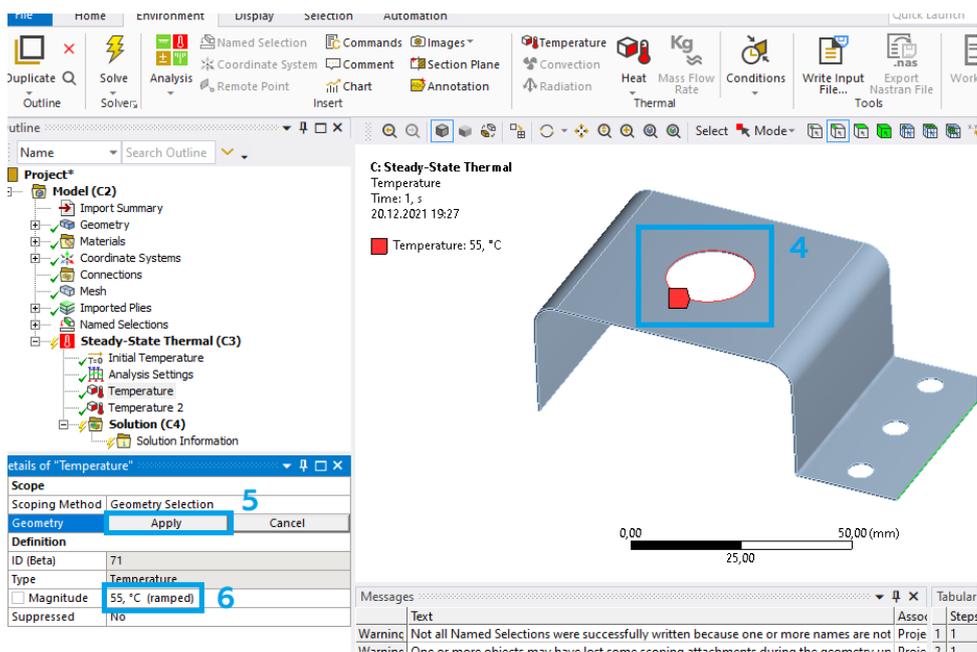


Рис. 27. Окно Mechanical

15.2. Задаем граничные условия. Чтобы подвести температуру T_1 к поверхности, нажимаем ПКМ на *Steady-State Thermal* (1) и выбираем *Insert* (2) – *Temperature* (3) (рис. 28, а). После чего указываем нужное ребро (4), для этого нажимаем *Apply* (5) и указываем значение (6) (рис. 28, б). Аналогичным образом задаем температуру T_2 (рис. 28, в).

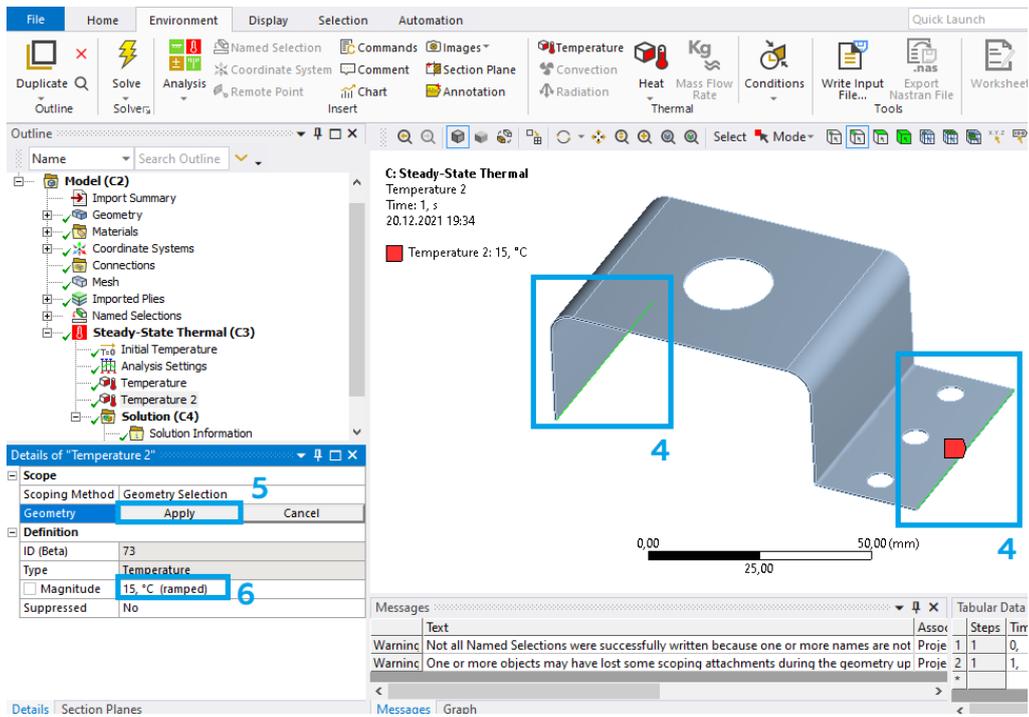


а



б

Рис. 28. Задание температуры (начало)



6

Рис. 28. Задание температуры (окончание)

15.3. Выбираем параметры, которые будут рассчитываться следующим образом:

– нажимаем ПКМ на *Solution* (1), выбираем *Insert* (2) – *Thermal* (3) – *Temperature* (4) (рис. 29).

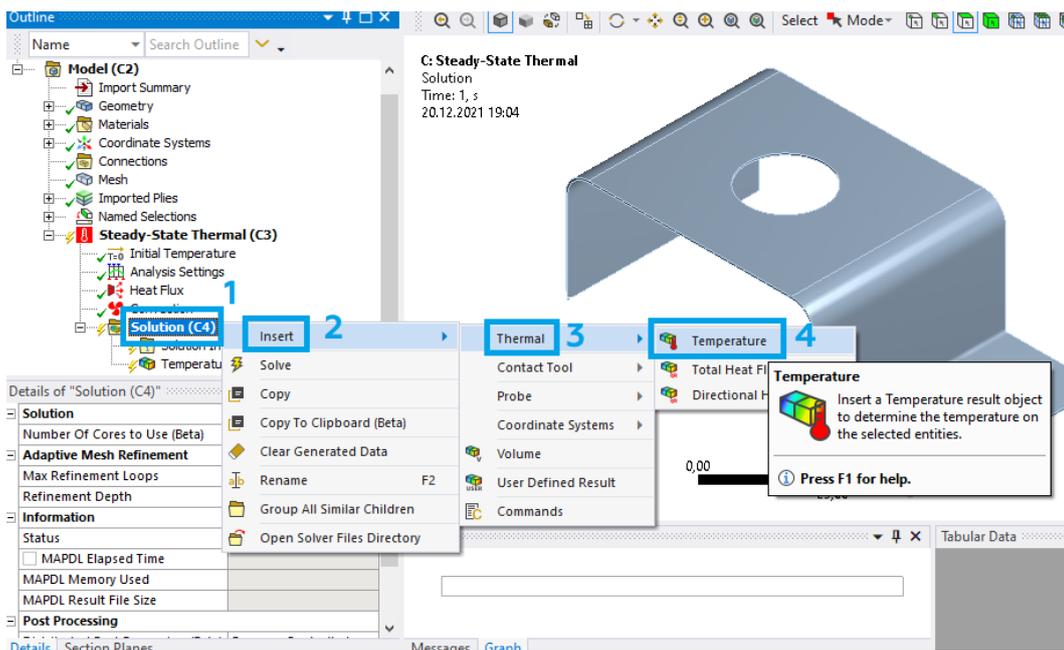


Рис. 29. Выбор результатов

15.4. Запускаем расчет, нажав кнопку *Solve* (1) (рис. 30). Примечание: при запуске расчета может появиться предупреждение о том, что модельная группа имеет слишком длинное имя пути, но на расчет это не повлияет.

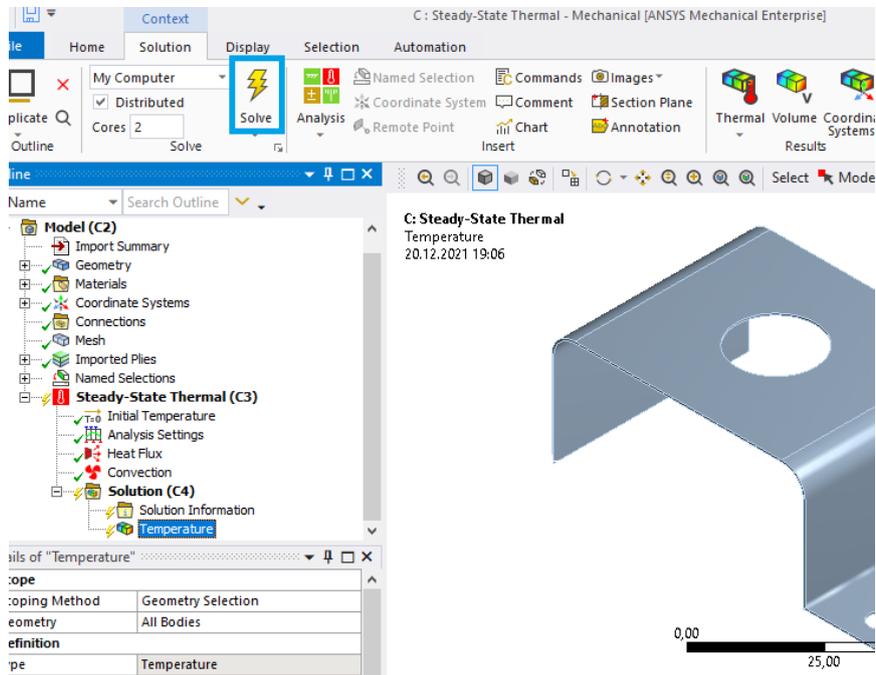


Рис. 30. Запуск расчета

15.5. Перед сохранением результатов расчета отключаем отображения сетки (рис. 31). Для этого в разделе *Display* (1) выберем *Edges* (2) – *Show Undeformed WireFrame* (3). После этого мы увидим модель без сетки.

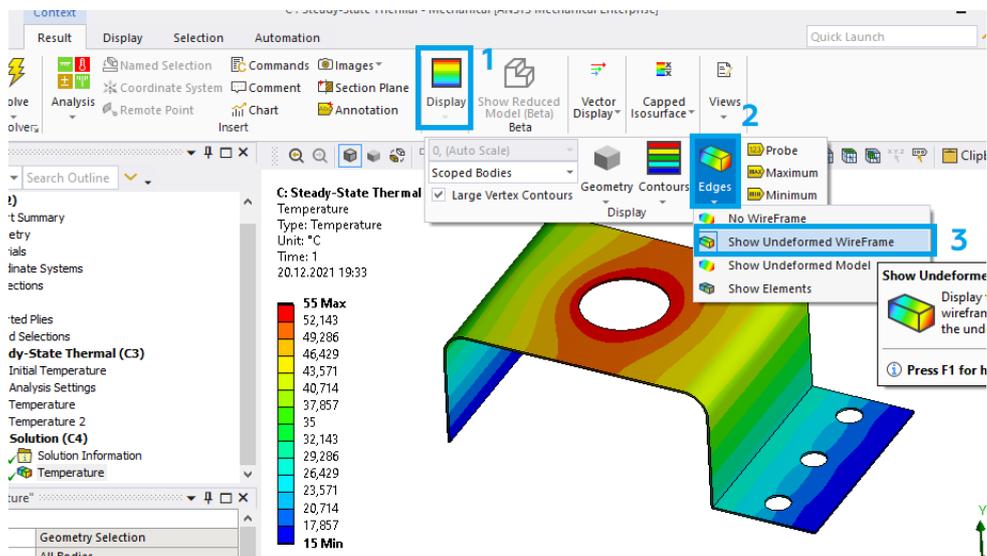


Рис. 31. Скрытие сетки

15.6. Сохраняем результаты расчета. Для этого переходим во вкладки результатов и делаем их скриншоты (рис. 32). Теперь окно *Mechanical* можно закрыть.

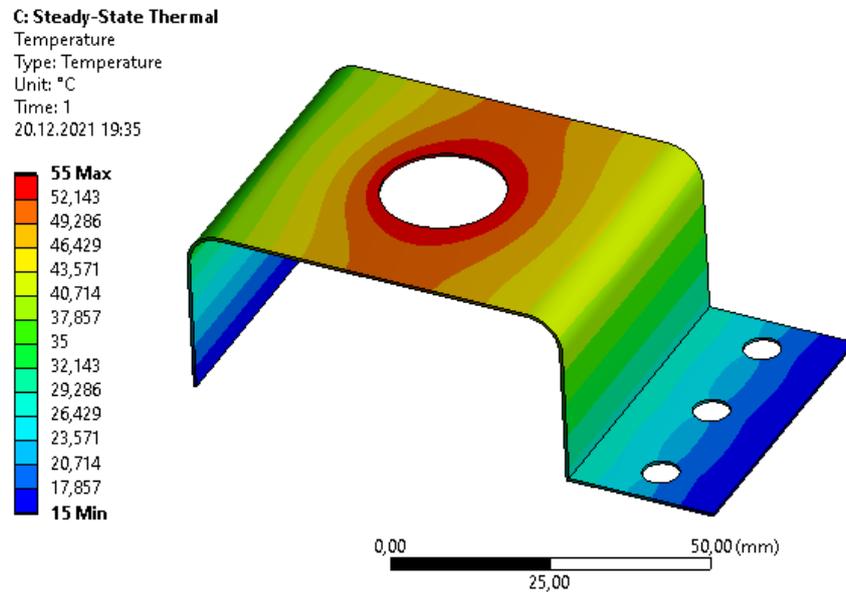


Рис. 32. Результаты расчета

16. В итоге должен получиться проект, имеющий следующую цепочку модулей (рис. 33). Аналогичный расчет выполняется для второго типа объемного элемента согласно варианту.

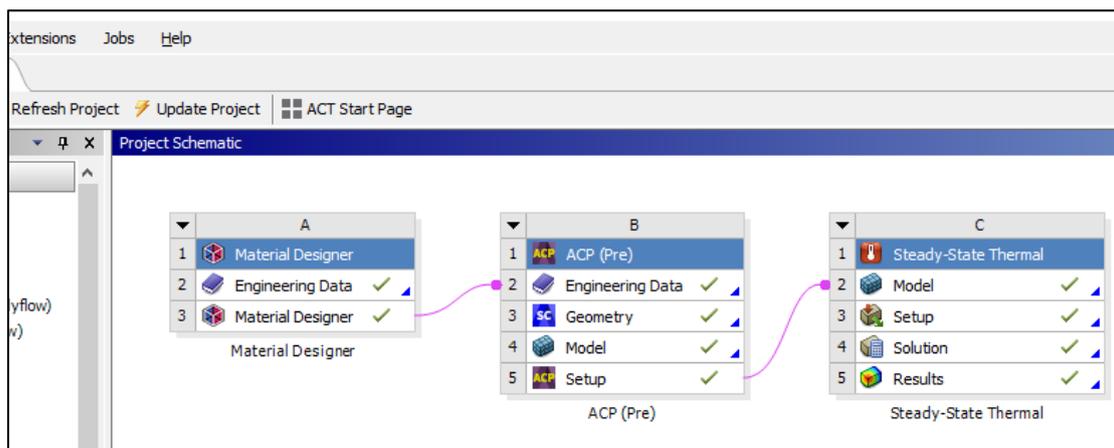


Рис. 33. Готовый проект

17. Сохраняем проект в папку, ранее созданную студентом (названия папки и проекта должны быть на английском языке). Для этого нажимаем **File – Save As... – Сохранить**. 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, ACP (Pre) – Geometry, ACP (Pre) – Model, ACP (Pre) – Setup; Mechanical – граничные условия, Mechanical – результаты).
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Какой формат модели импортировался в проект?
2. Краткая характеристика CAE-систем. Примеры.
3. Для чего нужен Material Designer?
4. В каком блоке происходит настройка сеточной модели?
5. Как создавать связь между модулями?
6. Как приложить температуру к ребру/поверхности?
7. Основные этапы выполнения работы.

Лабораторная работа № 4

ПРОВЕДЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО АНАЛИЗА ОБОЛОЧКИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы

Изучение основных этапов проведения комбинированного анализа в среде *ANSYS Workbench*. Приобретение студентами навыков в использовании программного инструмента *ANSYS Workbench – Steady-State Thermal* и *Static Structural* при проведении комбинированного теплового и прочностного анализа оболочки из композиционных материалов, созданных с помощью *Material Designer* и *ACP (Pre)*.

Описание работы

Используя модули *Material Designer*, *ACP (Pre)*, *Steady-State Thermal* и *Static Structural*, необходимо рассчитать распределение температуры по оболочке (*Thermal*), полное перемещение (*Total Deformation*) и эквивалентные напряжения (*Equivalent Stress*) из композиционных материалов (рис. 1–2). Известны: тип объемного элемента, участки с температурой T_1 , T_2 , давлением P и жесткой заделкой (табл. 1).

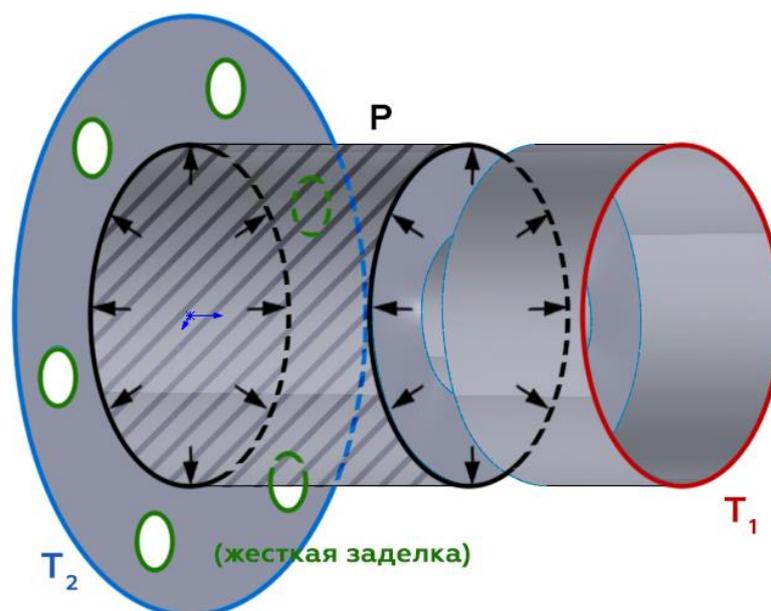


Рис. 1. Схема № 1

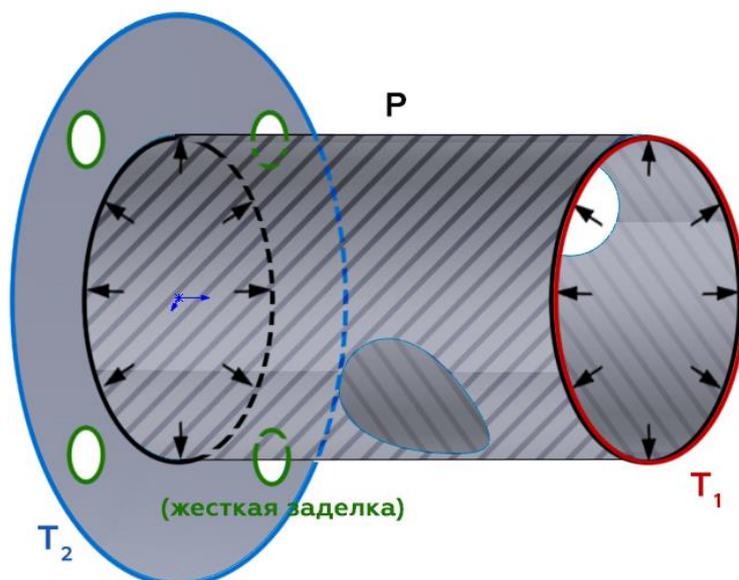


Рис. 2. Схема № 2

Таблица 1

Исходные данные

Вариант	Номер схемы	Тип объемного элемента	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$P, \text{кПа}$
1	1	Сферическая	50	10	10
2	2	Плетеная	55	20	20
3	1	Регулярная однонаправленная	65	40	30
4	1	Сферическая	70	60	15
5	2	Плетеная	40	50	10
6	2	Регулярная однонаправленная	110	30	25
7	1	Плетеная	45	70	55
8	2	Сферическая	50	60	10
9	1	Сферическая	60	85	35
10	1	Регулярная однонаправленная	55	40	45
11	2	Плетеная	40	30	10

Вариант	Номер схемы	Тип объемного элемента	T ₁ , °C	T ₂ , °C	P, кПа
12	1	Сферическая	30	20	15
13	1	Сферическая	20	5	35
14	2	Регулярная однонаправленная	60	50	60
15	2	Плетеная	70	45	10
16	1	Сферическая	80	35	15
17	2	Плетеная	90	55	45
18	2	Плетеная	65	70	60
19	1	Сферическая	75	65	20
20	2	Регулярная однонаправленная	80	30	25
21	1	Сферическая	60	20	45
22	1	Плетеная	50	10	10
23	2	Регулярная однонаправленная	40	25	15
24	1	Сферическая	55	45	55
25	2	Регулярная однонаправленная	75	10	50
26	2	Плетеная	35	65	40
27	1	Плетеная	45	80	30
28	2	Сферическая	80	30	20
29	2	Регулярная однонаправленная	90	35	15
30	1	Плетеная	55	40	10

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Запускаем *ANSYS Workbench* и добавляем несколько модулей: *Material Designer*, *ACP (Pre)*, *Steady-State Thermal* и *Static Structural* (рис. 3).

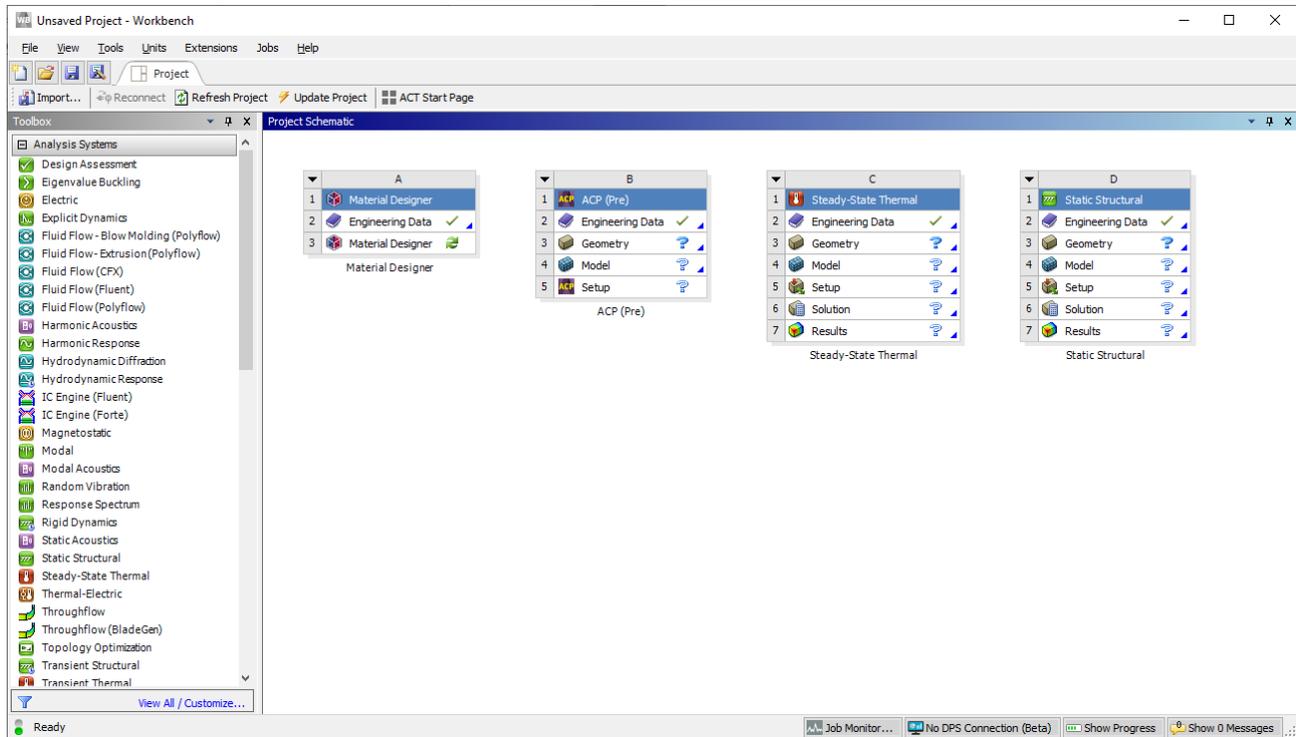


Рис. 3. Добавление модулей

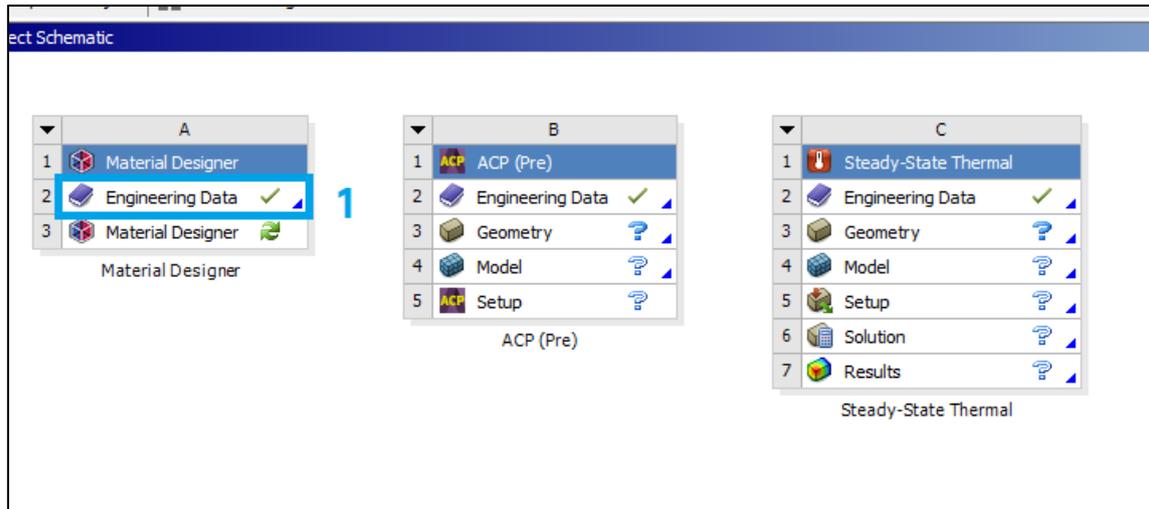
2. Подготавливаем материал волокна и наполнителя:

2.1. Дважды нажимаем ЛКМ на блок *Engineering Data* (1), после чего жмем на *Engineering Data Sources* (2). Выбираем библиотеку *Composite Materials* (3) и подключаем материалы волокна – *Carbon Fiber (290 GPa)* и наполнителя – *Epoxy E-Glass UD* (4). Нажимаем на *Engineering Data Sources* (2) еще раз, чтобы вернуться к используемым в проекте материалам (рис. 4, а, б).

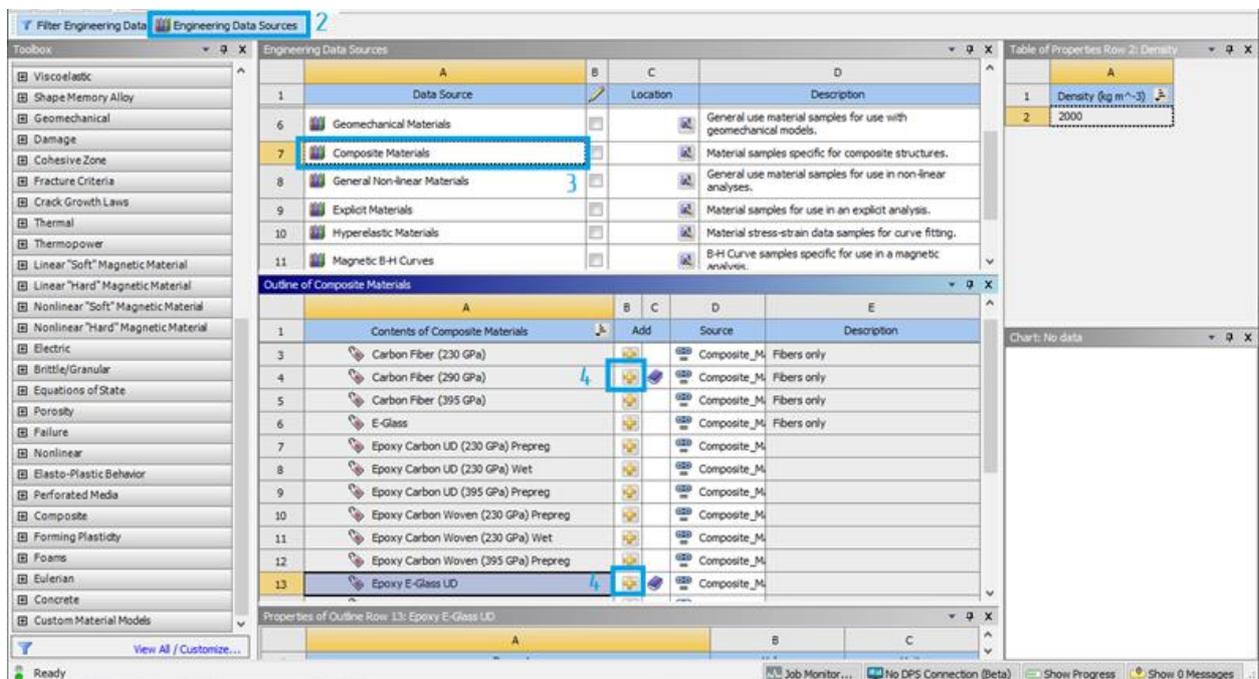
2.2. Добавляем коэффициент теплового расширения и теплопроводности для наполнителя и волокна:

– для волокна (5) коэффициент теплового расширения *Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion* (6) будет равен $1 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ (8), а коэффициент теплопроводности *Isotropic Thermal Conductivity* (7) – $0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ (9);

– для наполнителя (10) коэффициент теплового расширения *Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion* (11) будет равен $5 \cdot 10^{-5} 1/^{\circ}\text{C}$ (13), а коэффициент теплопроводности *Isotropic Thermal Conductivity* (12) – $0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ (14).

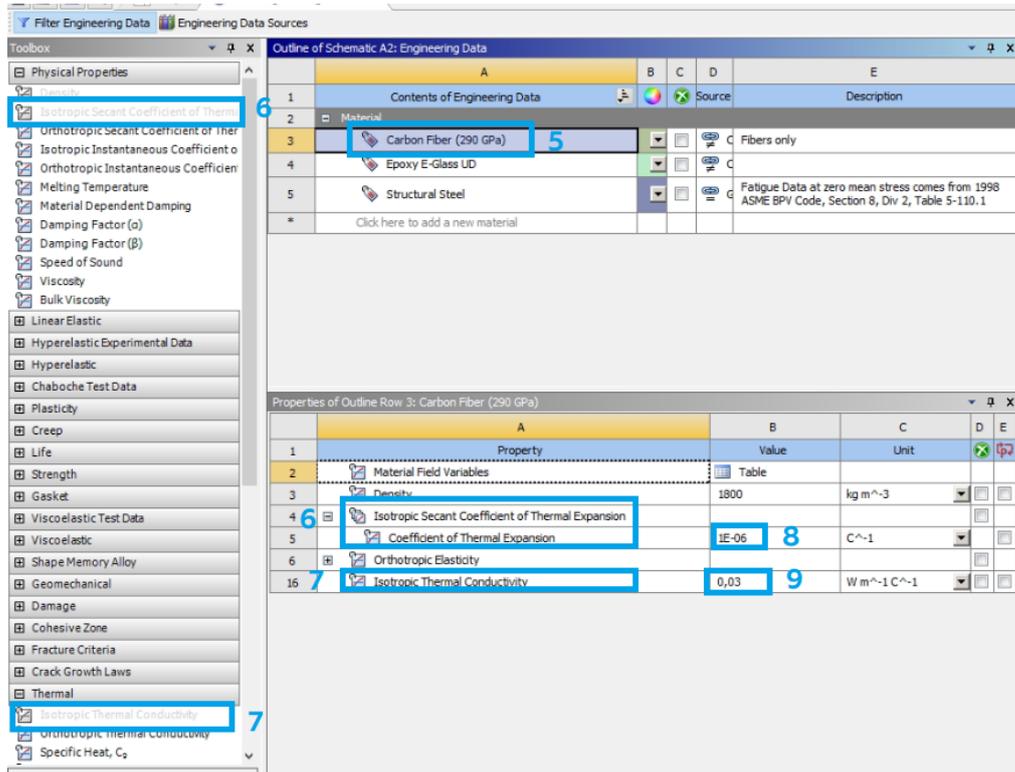


a

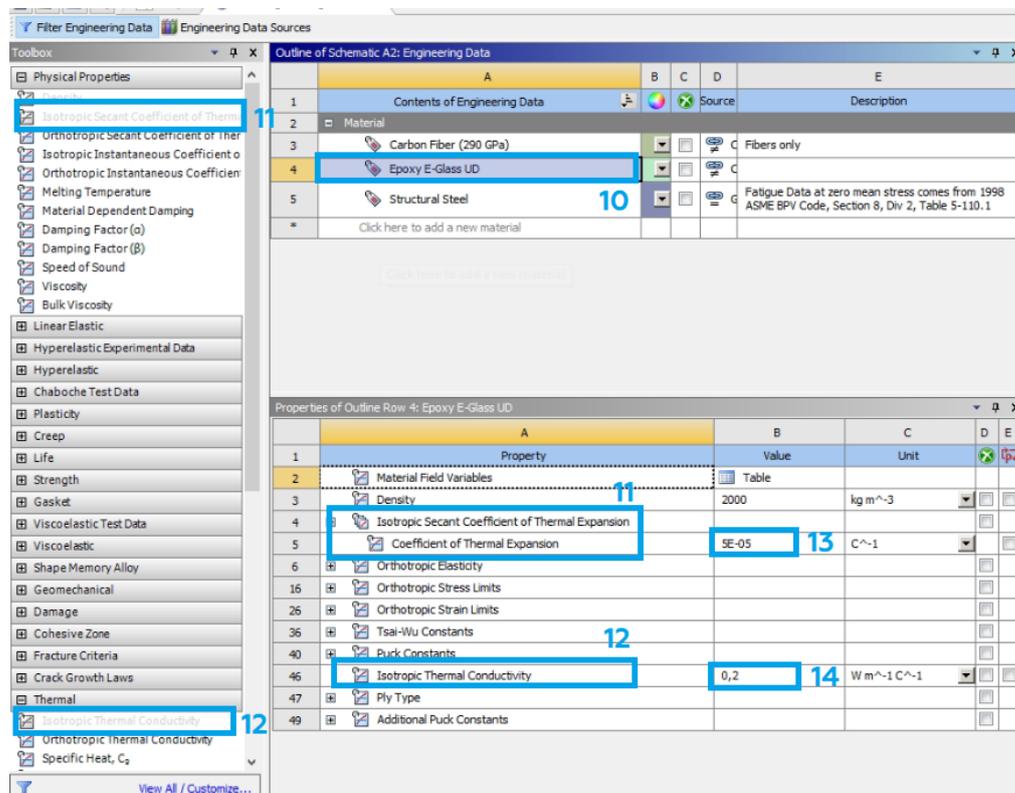


б

Рис. 4. Выбор материала волокна и наполнителя (начало)



6



2

Рис. 4. Выбор материала волокна и наполнителя (окончание)

3. В первом модуле дважды нажимаем ЛКМ на *Material Designer*, после чего откроется окно, представленное на рис. 5.

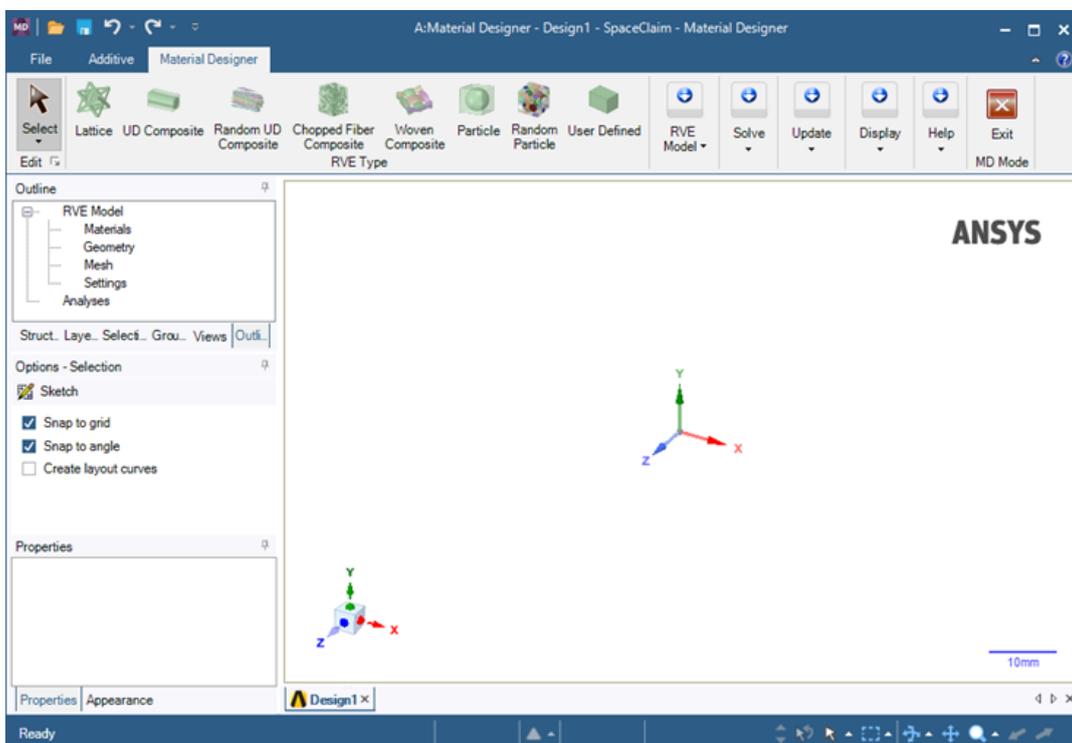


Рис. 5. Окно Material Designer

4. В верхней панели инструментов (рис. 6) выбираем тип объемного элемента модифицированной микроструктуры согласно своему варианту (табл. 1).

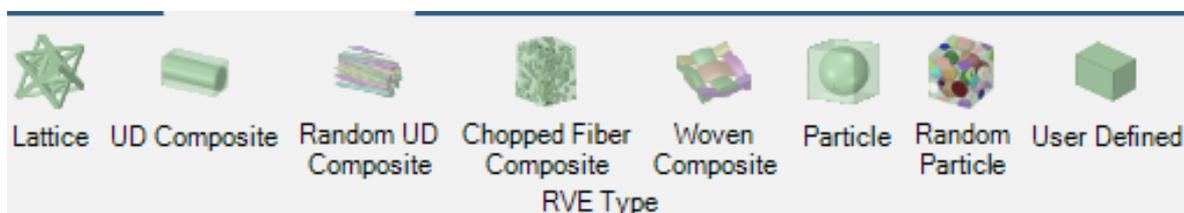


Рис. 6. Выбор объемного элемента модифицированной микроструктуры

5. В появившейся слева панели присваиваем материал матрицы/наполнителя (1) и частицы/волокон (2) (рис. 7). После чего необходимо применить изменения (3).

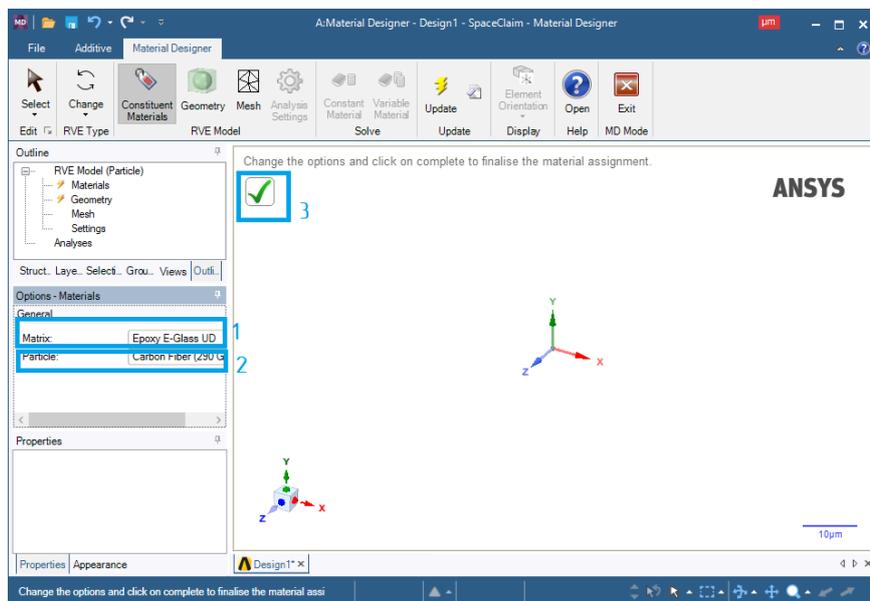


Рис. 7. Присвоение материалов

6. Для создания геометрии объемного элемента (рис. 8) 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 на галочку (3) и на рабочем пространстве появится трехмерная модель сгенерированного объемного элемента (4).

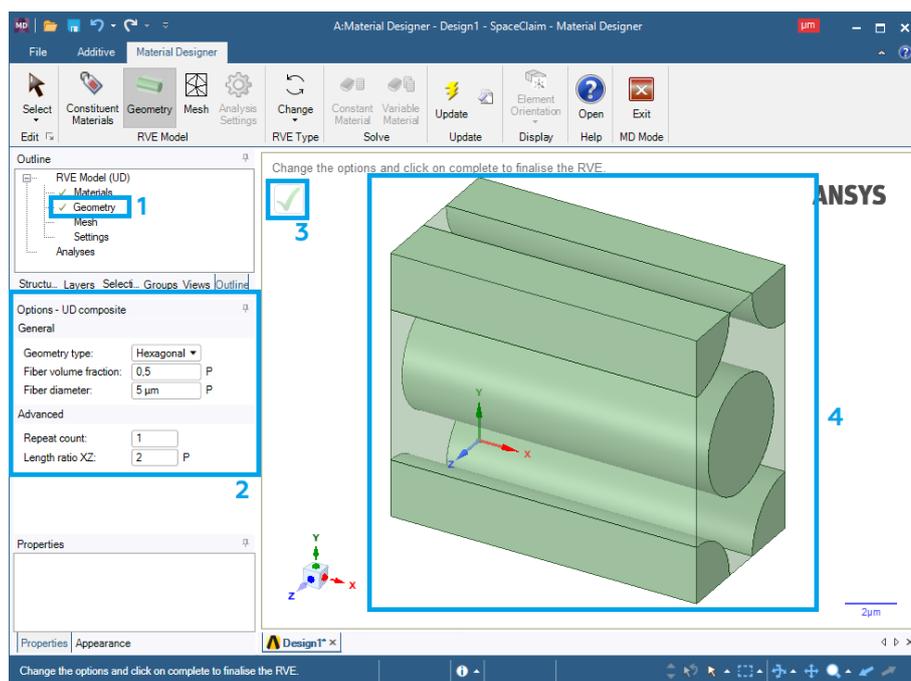


Рис. 8. Создание геометрии объемного элемента

7. Сгенерируем сеточную модель объемного элемента (рис. 9). 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.

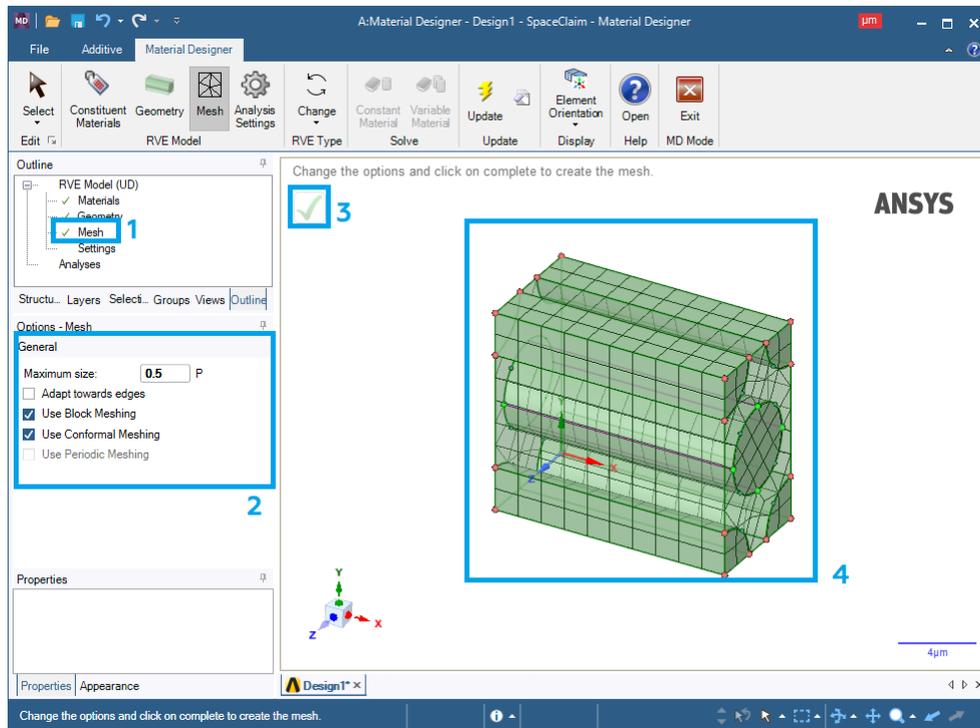


Рис. 9. Создание сетки объемного элемента

8. Нажимаем ЛКМ на **Settings** (1). На панели слева (2) можно выставить интересующие настройки анализа объемного элемента (рис. 10), в нашем случае добавляем **Compute coefficients of thermal expansion** (Вычислить коэффициенты теплового расширения) и **Compute thermal conductivity** (Вычислить теплопроводность). Нажимаем на галочку (3) и видим системное окно, предупреждающее о результатах проведенного анализа (4).

9. Присваиваем название созданному объемному элементу (рис. 11). Для этого нажимаем правую кнопку мыши (ПКМ) на **Analyses** (1) – **Constant Material** (2), вводим название материала (3) и нажимаем на галочку (4). Закрываем окно **Material Designer**.

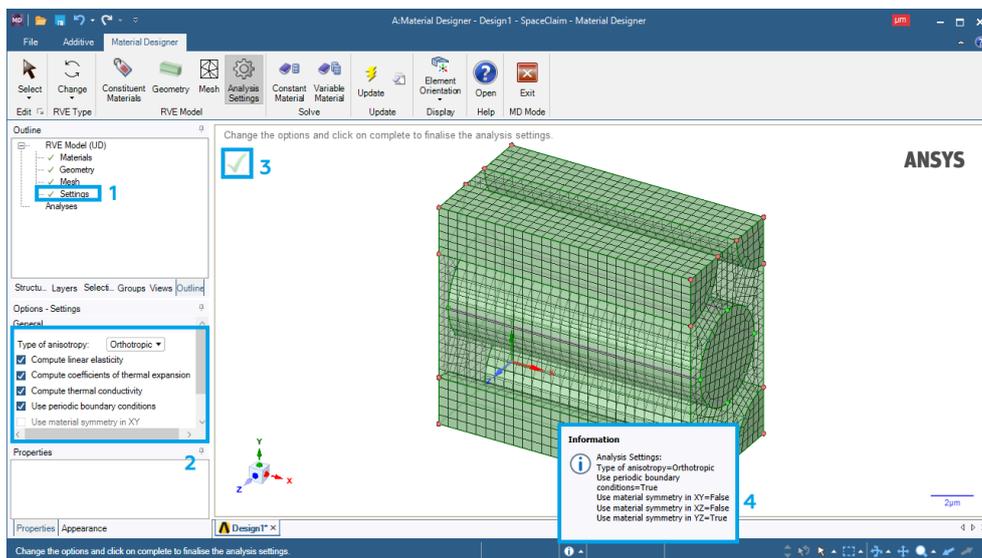


Рис. 10. Выбор характеристик частицы

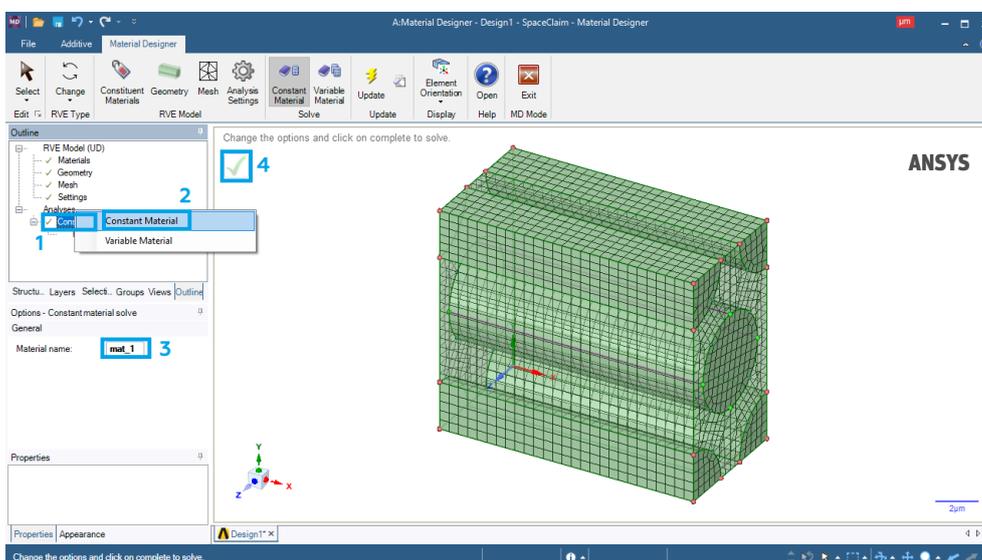


Рис. 11. Создание сетки объемного элемента

10. Создаем связь между первым и вторым модулями *Material Designer* для присвоения созданного нами композитного материала к анализируемой геометрии через второй блок (рис. 12):

10.1. В окне *ANSYS Workbench* нажимаем ПКМ на *Material Designer* (1) и выбираем *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**.

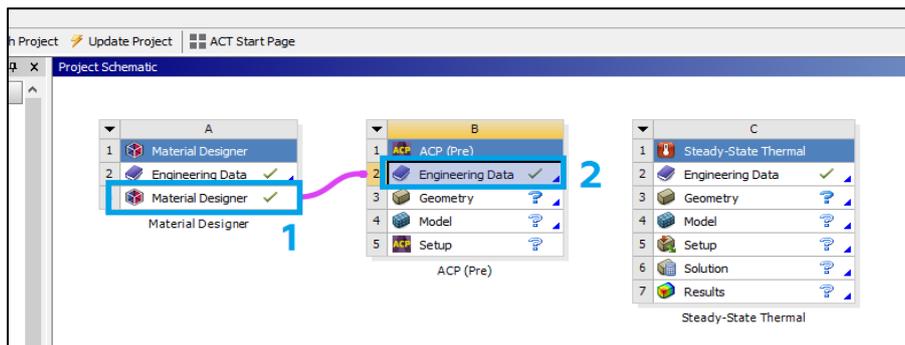


Рис. 12. Создание связи

11. Импортируем геометрию:

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

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

11.3. 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 жмем кнопку **Открыть**. Импортированная геометрия показана на рис. 13.

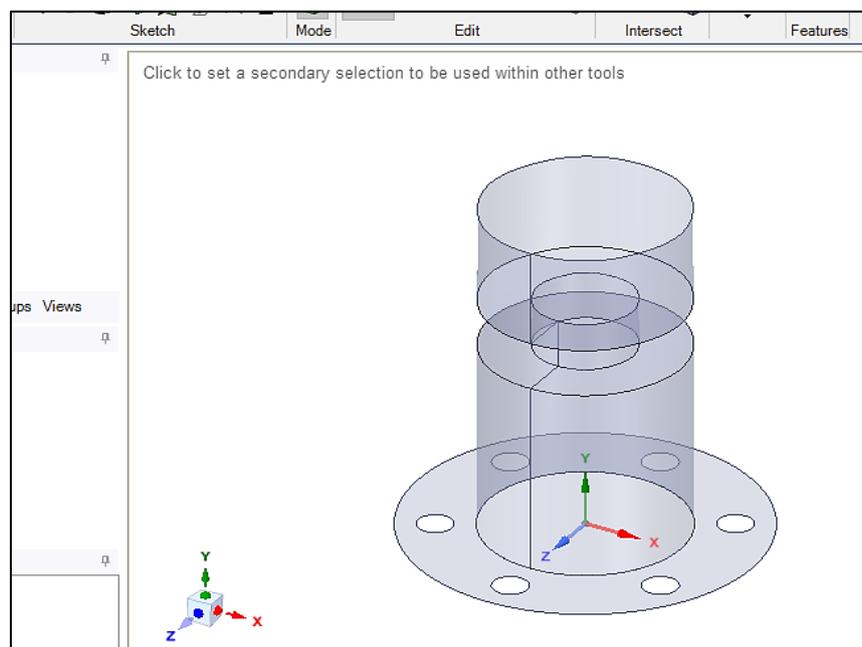


Рис. 13. Импорт геометрии

11.4. После этого окно геометрии можно закрыть.

12. Приступаем к созданию сетки:

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

12.2. В открывшемся окне раскрываем вкладку *Geometry* (1), выделяем геометрию (2) и задаём толщину (3) 0,5 мм (рис. 14).

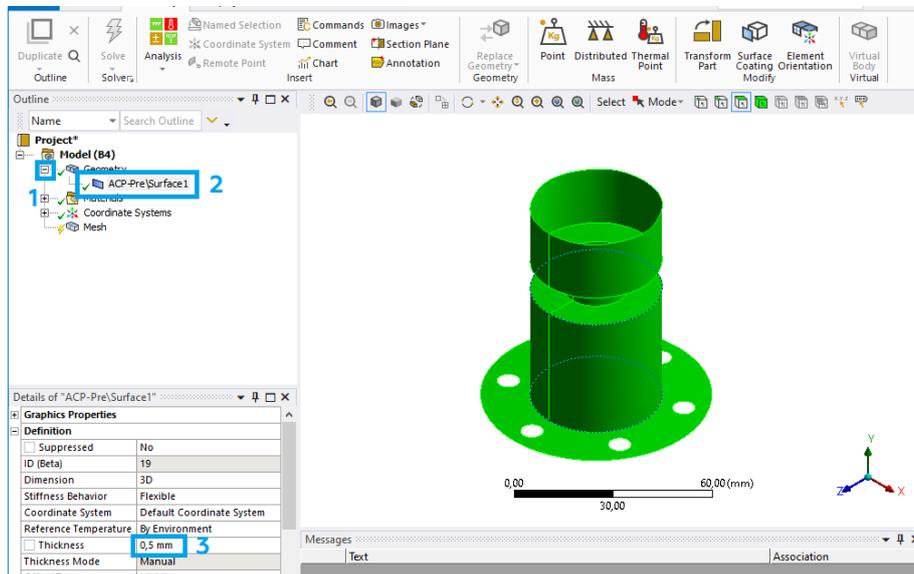


Рис. 14. Задание толщины оболочки

12.3. Задаем настройки сеточной модели:

– жмем ПКМ на *Mesh* – *Insert* – *Method*, выделяем геометрию (1) и выбираем метод (2) – *Multizone Quad/Tri* (рис. 15);

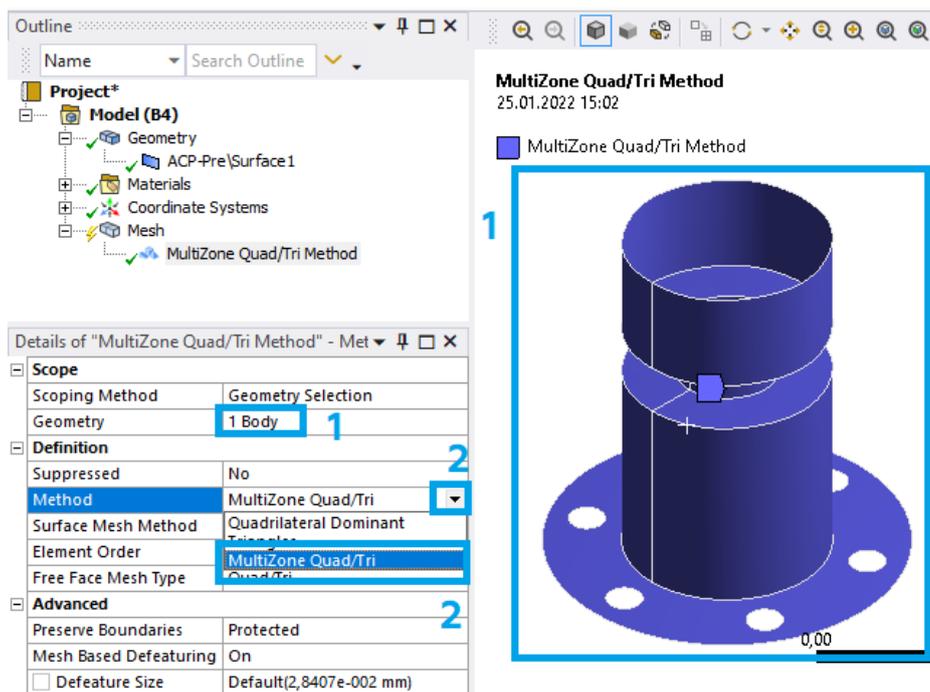


Рис. 15. Задание настроек сетки

– жмем ПКМ на *Mesh* – *Insert* – *Sizing*, выделяем всю геометрию (1) и задаем величину ячеек 1 мм (2) (рис. 16).

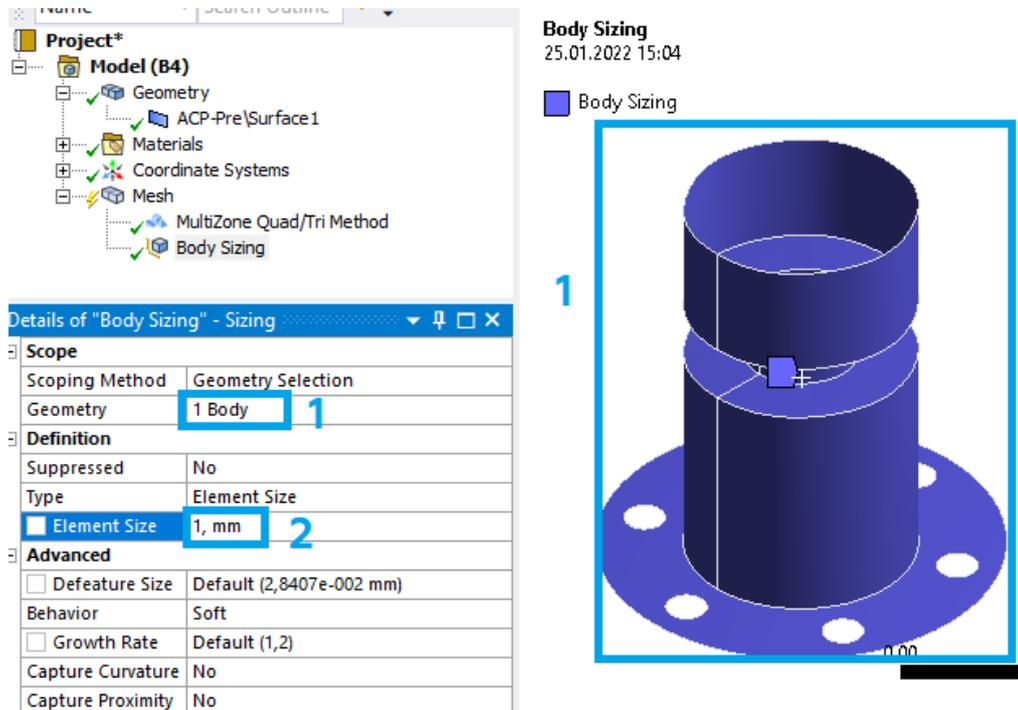


Рис. 16. Задание настроек сетки

12.4. Нажимаем ПКМ на *Mesh* и выбираем *Generate mesh*. Готовая сеточная модель представлена на рис. 17. Закрываем окно блока *Model*.

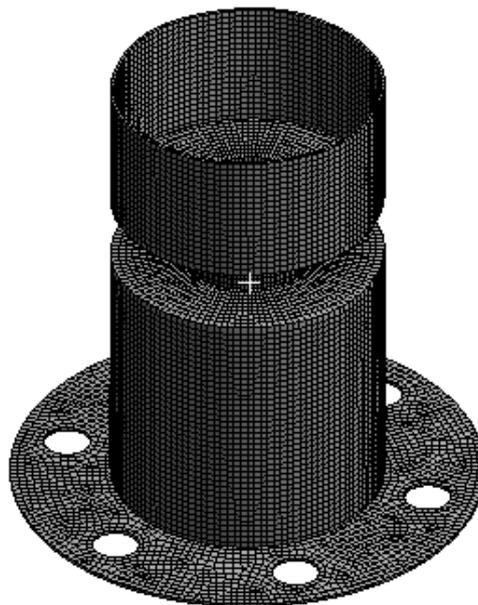


Рис. 17. Генерация сеточной модели

12.5. Присваиваем имена поверхностям, к которым будут прикладываться силы. Выделяем каждую область ЛКМ, после чего нажимаем на неё ПКМ (1) и выбираем *Create Named Selection...* (2). В итоге две поверхности будут иметь персональное название (3).

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

13. Настраиваем слои созданных композитных материалов:

13.1. В окне *Workbench* дважды нажимаем на *Setup* в блоке *ACP (Pre)*. Перед нами появится окно, представленное на рис. 18.

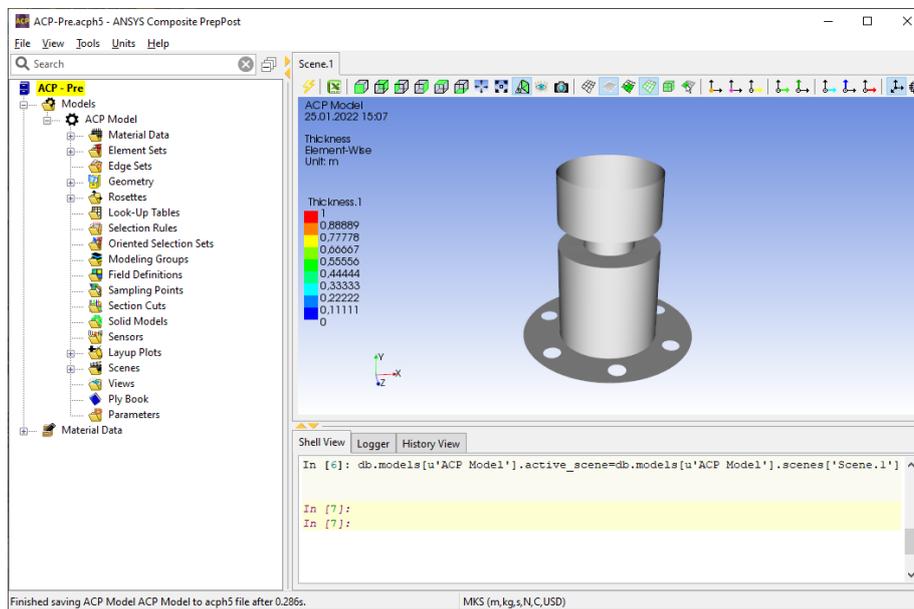


Рис. 18. Окно ANSYS Composite PrepPost

13.2. Сразу изменяем единицы измерения на мм. Для этого нажимаем на *Units* (1) и выбираем *MPA (mm,t,s,N,C,USD)* (2) (рис. 19).

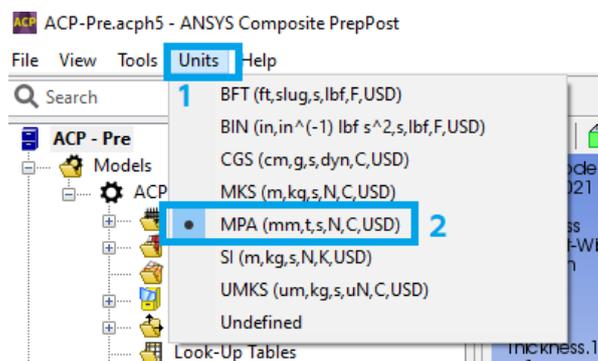
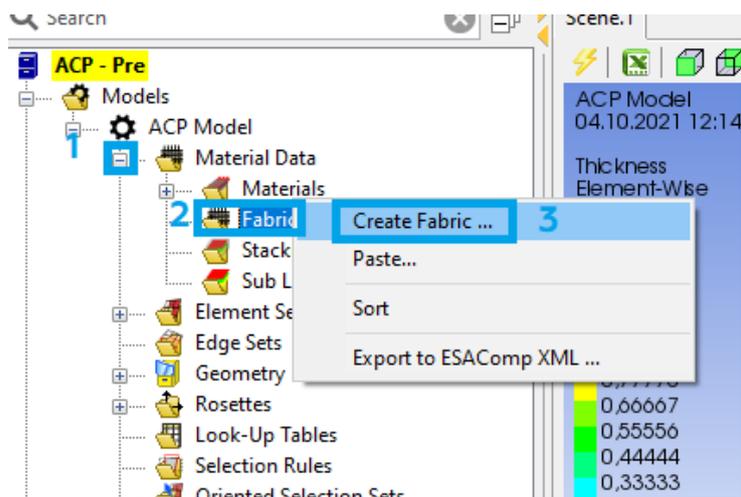


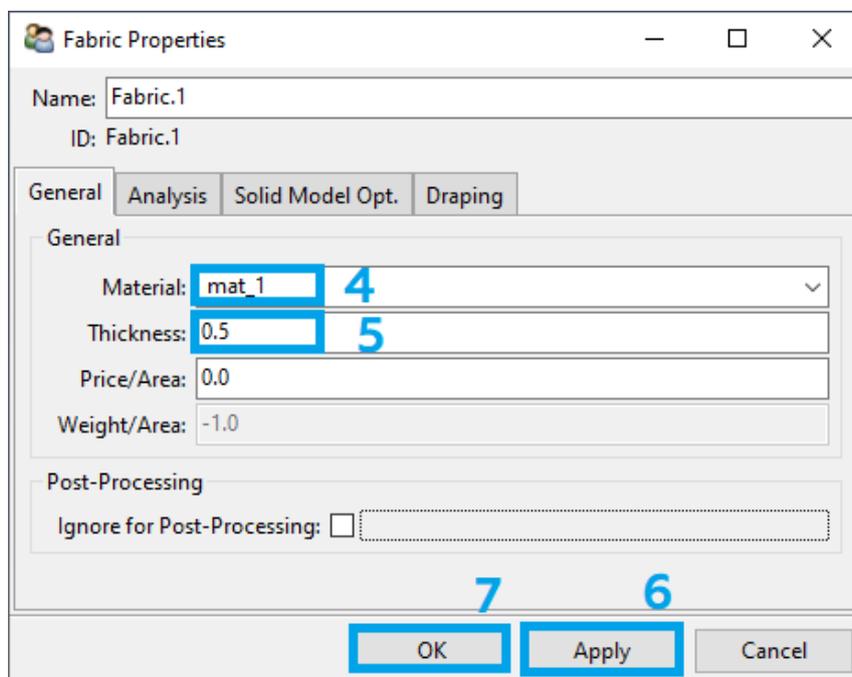
Рис. 19. Изменение единиц измерения

13.3. Создаем слой волокон композитного материала (рис. 20):

- для этого раскрываем раздел **Material Data** (1), нажимаем ПКМ на **Fabrics** (2) и выбираем **Create Fabric...** (3);
 - выбираем материал (4), задаем толщину 0.5 мм (5) и жмем **Apply** (6).
- Если на экране появится окно с предупреждением, то его можно закрыть. После этого окно можно закрыть (7).



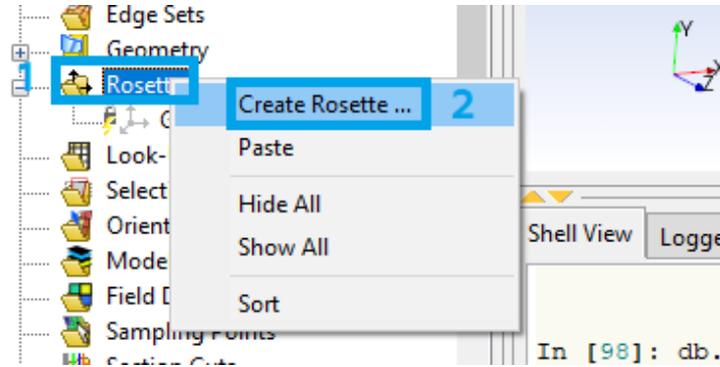
a



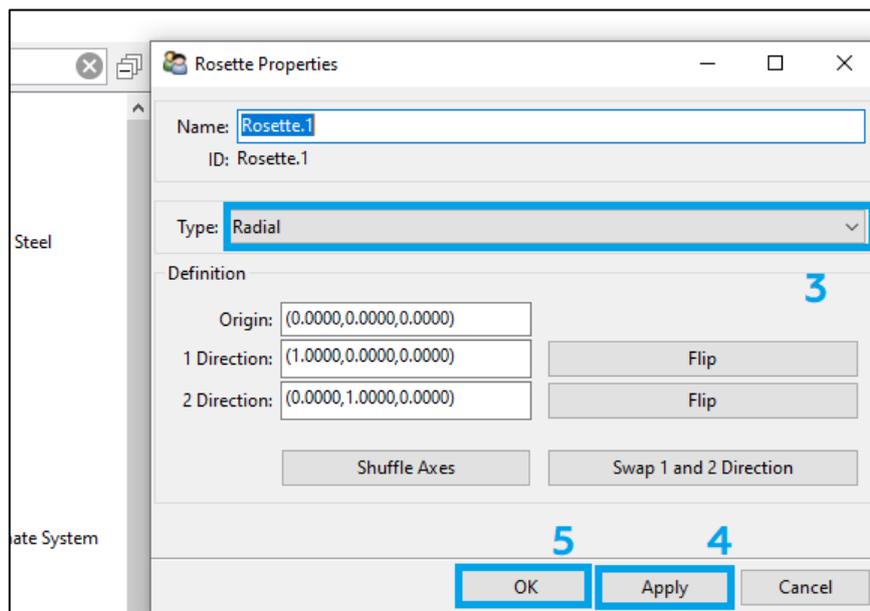
б

Рис. 20. Создание слоя волокон

13.4. Создаем ось координат (рис. 21). Нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1) и выбираем **Create Rosette...** (2), меняем тип на **Radial** (3) и жмем **Apply** (4). После этого окно можно закрыть (5).



а

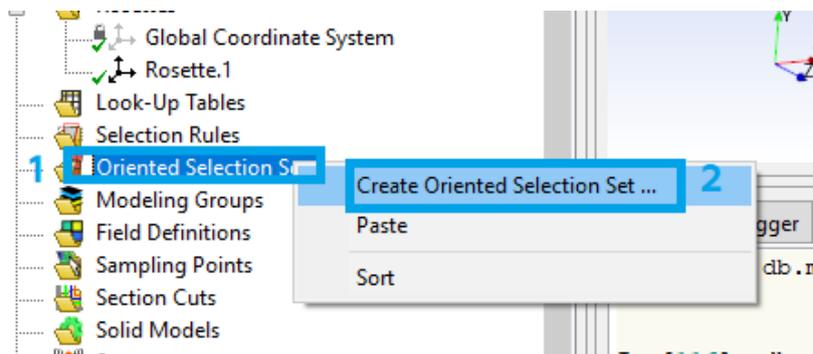


б

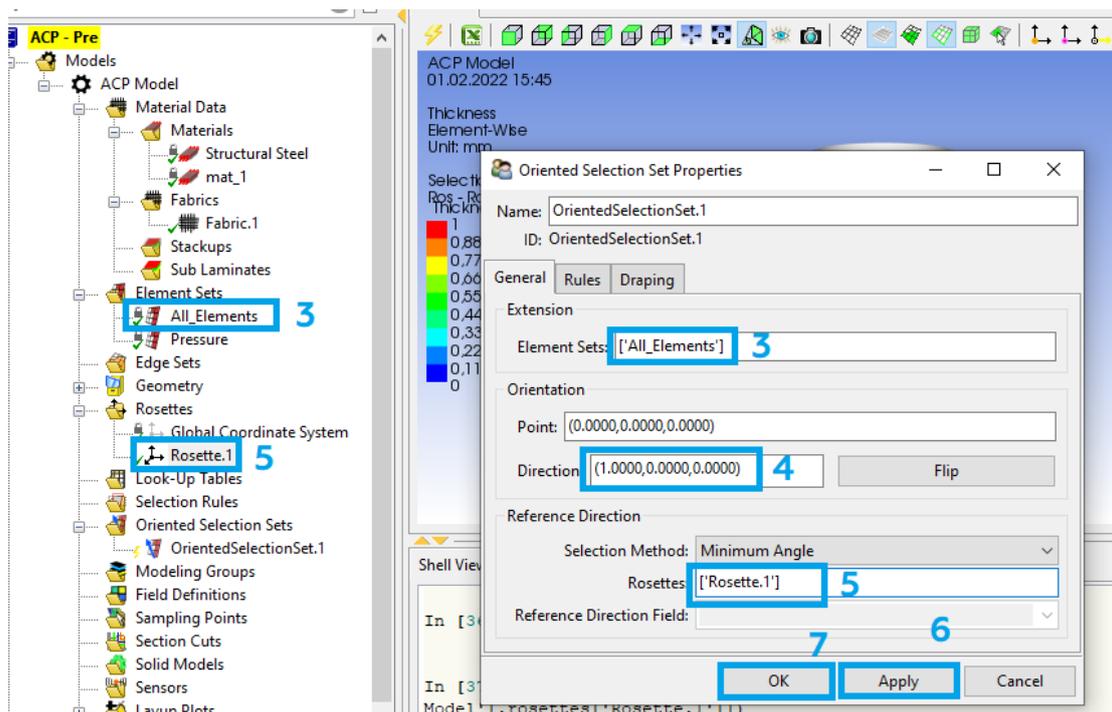
Рис. 21. Создание оси координат

13.5. Создаем ориентированный блок (рис. 22):

- нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1) и выбираем **Create Rosette...** (2);
- выбираем элемент/геометрию (выбираем его в дереве построения в разделе **Element Sets**) (3), настраиваем ориентацию (4), выбираем созданную ось координат (5) и жмем **Apply** (6). После этого окно можно закрыть (7).



a

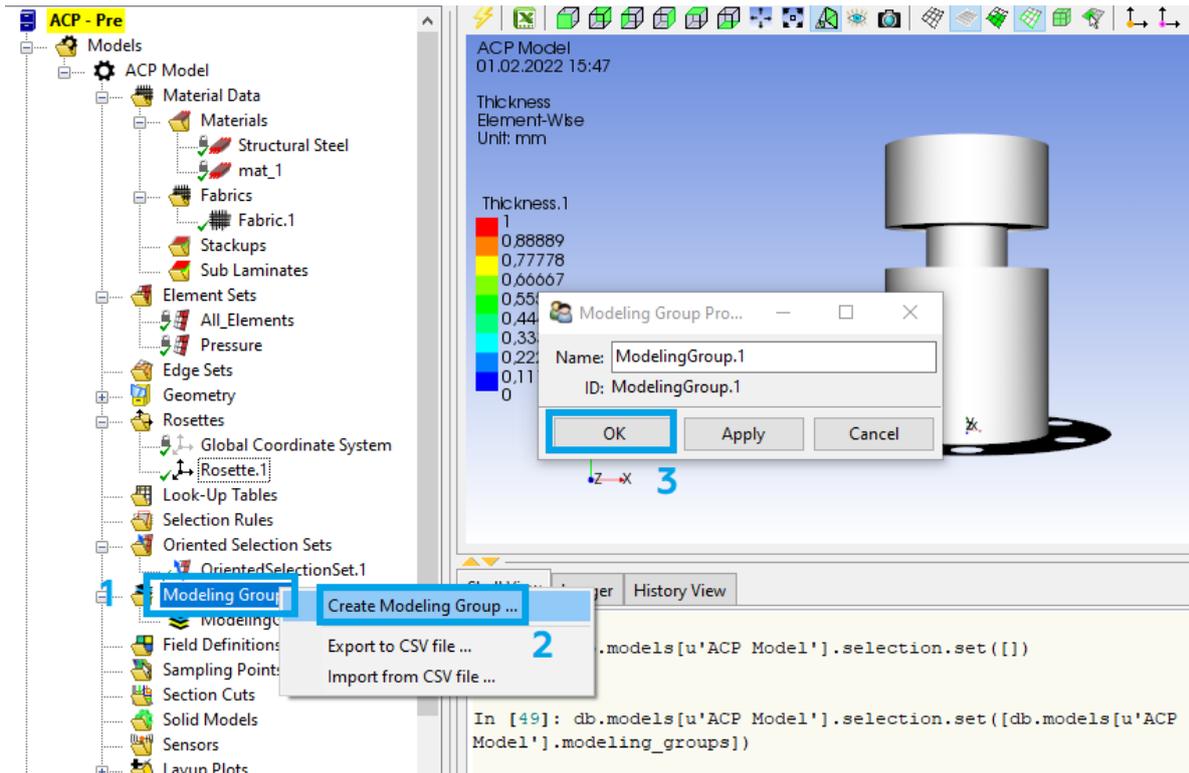


б

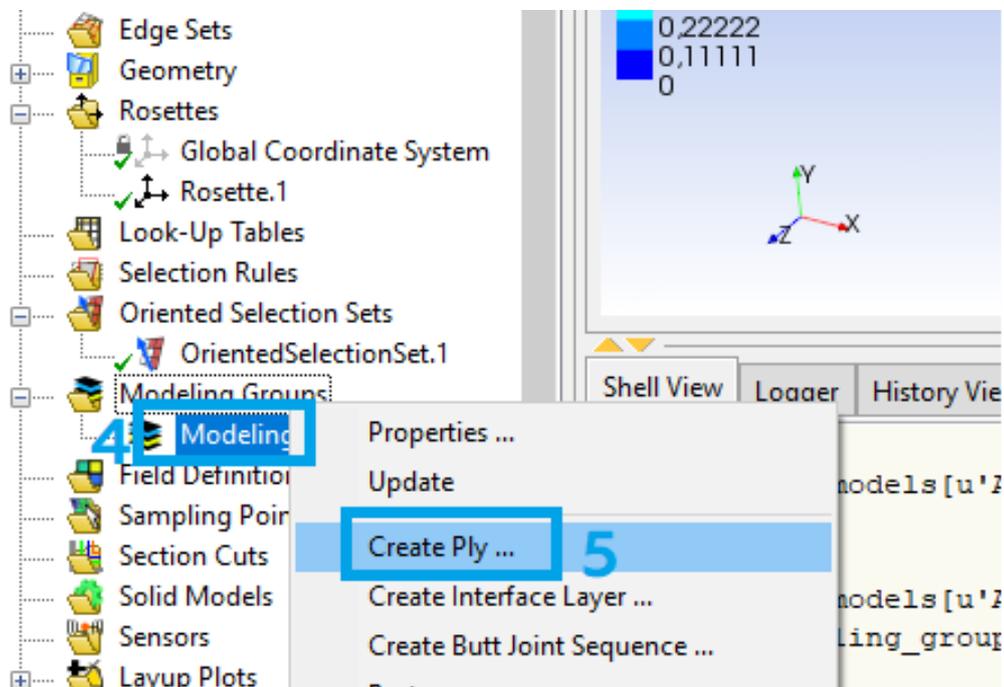
Рис. 22. Создание ориентированного блока

13.6. Создаем модельную группу (объединение ориентированного элемента и пакета слоев) (рис. 23):

- 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 слой композитного материала, жмем **Apply** (8). После этого окно можно закрыть (9).

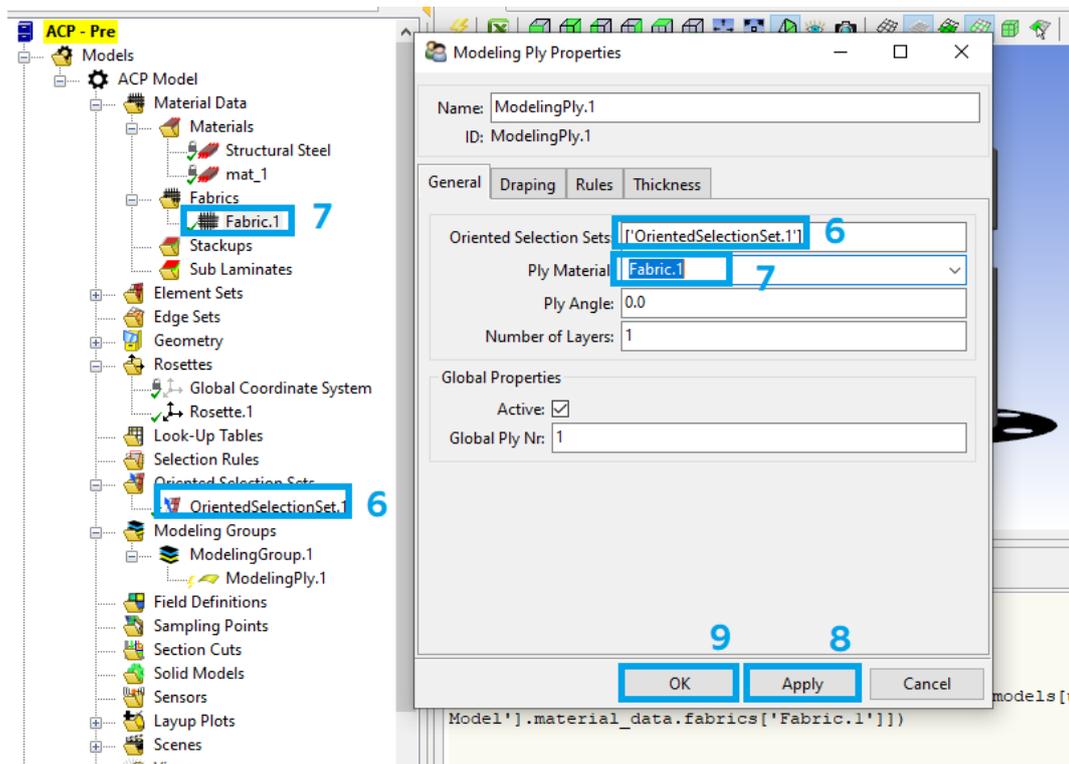


a



b

Рис. 23. Создание модельной группы
(начало)



6

Рис. 23. Создание модельной группы (окончание)

13.7. Включаем отображение сетки (1) и направление волокон (2) в верхней панели (рис. 24). Выбрав модельную группу (3), видим зеленые стрелочки, показывающие направление волокон (4).

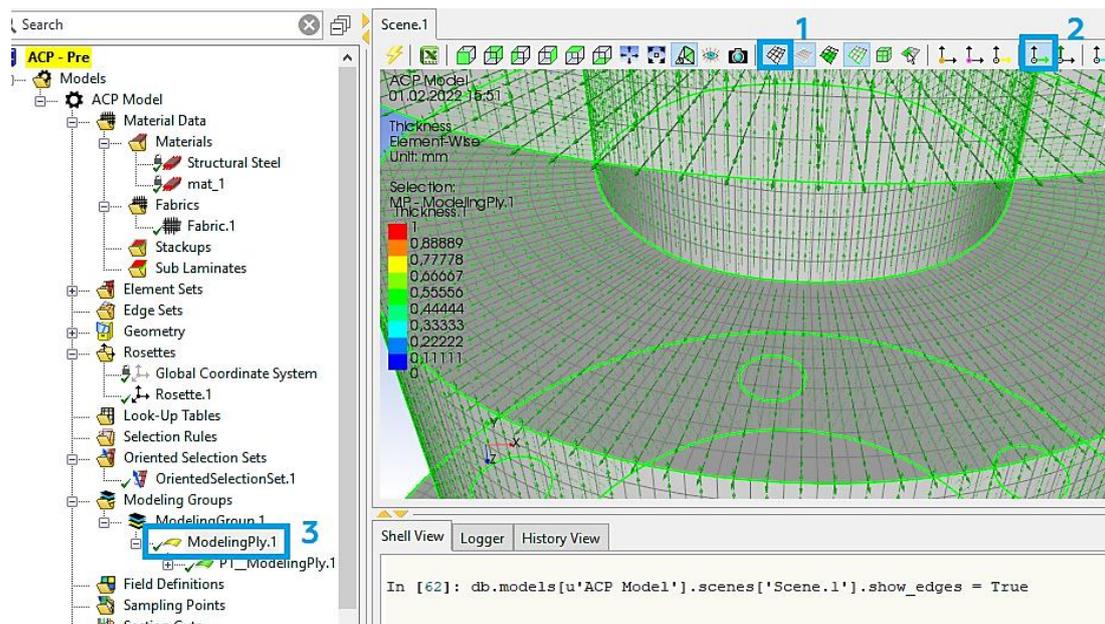
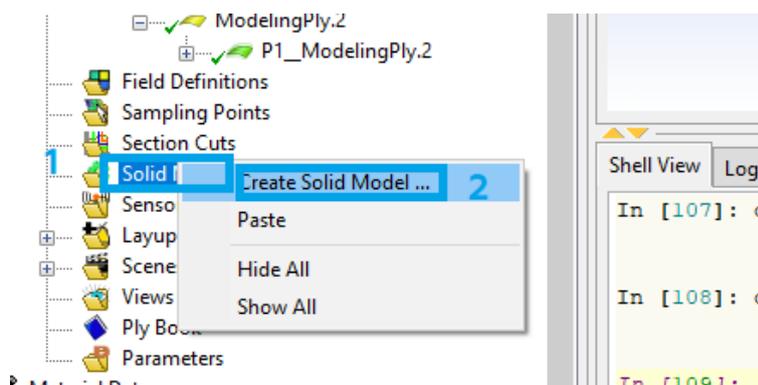


Рис. 24. Отображение направления волокон

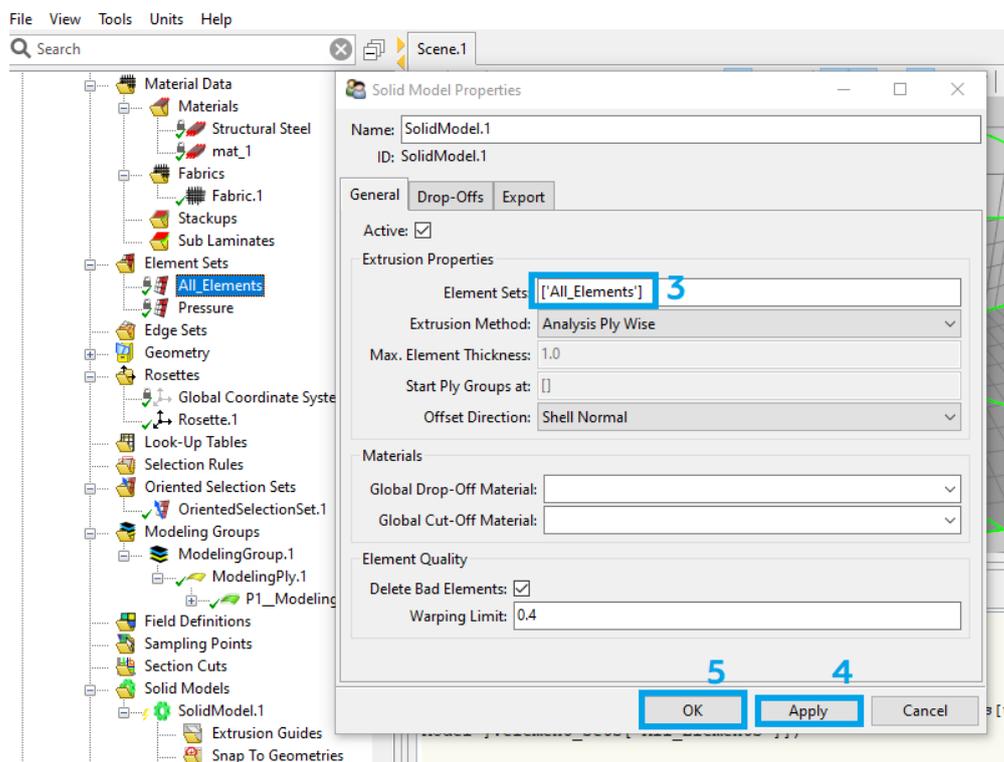
13.8. Создаем твердотельную модель (рис. 25):

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

– выбираем 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. 25. Создание твердотельной модели

13.9. Закрываем окно *ANSYS Composite PrepPost*.

14. Зажимаем ЛКМ блок *Setup* (1) в модуле *ACP (Pre)* и перетаскиваем его на блок *Model* (2) в модуле *Steady-State Thermal*. После этого появляется окно с двумя вариантами (рис. 26): первый переместит твердотельную модель (есть возможность анализировать каждый слой выбранного сегмента, но 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*.

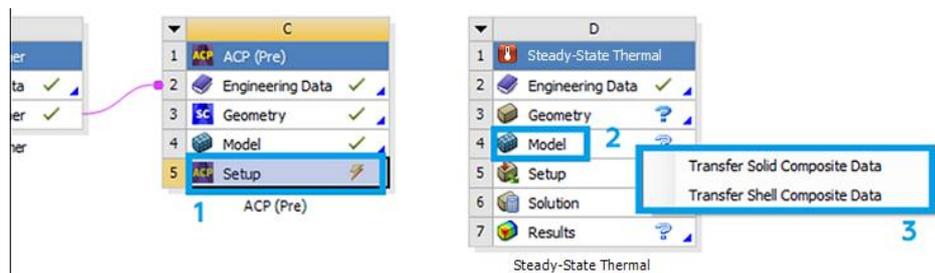


Рис. 26. Импорт данных в Steady-State Thermal

15. Приступаем к подготовке и проведению прочностного расчета:

15.1. В окне Workbench дважды нажимаем на *Model* в блоке *Static Structural*. После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 27.

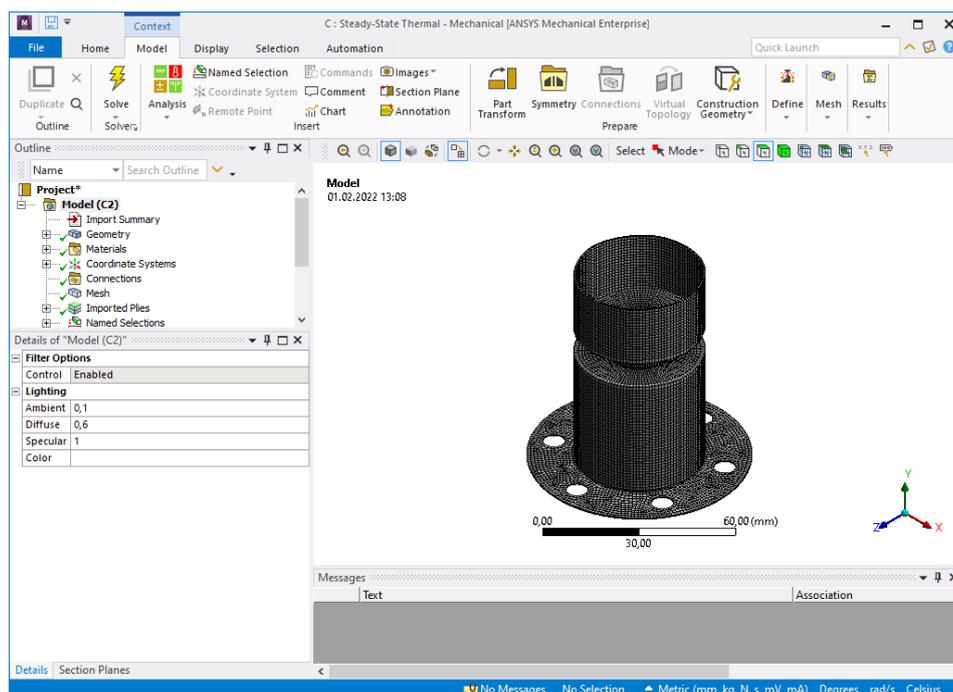
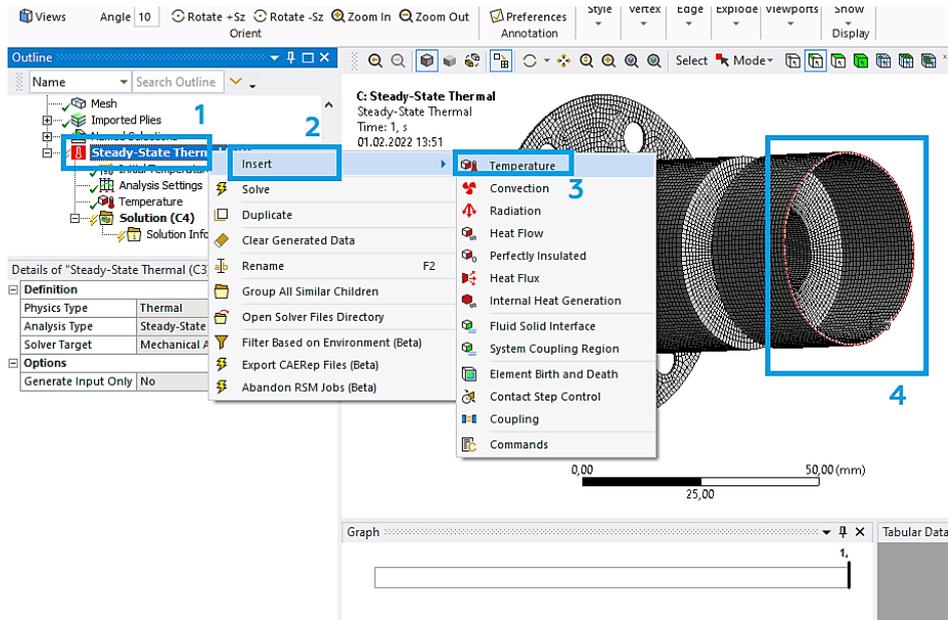
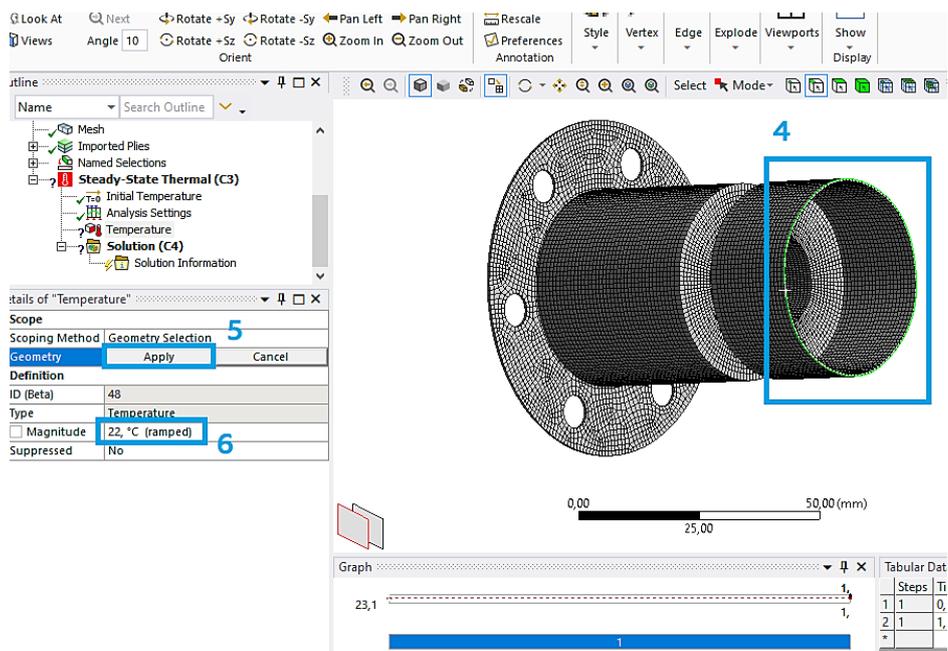


Рис. 27. Окно Mechanical

15.2. Задаем граничные условия. Чтобы подвести температуру T_1 к поверхности, нажимаем ПКМ на *Steady-State Thermal* (1) и выбираем *Insert* (2) – *Temperature* (3) (рис. 28, а). После чего указываем нужное ребро (4), нажимаем *Apply* (5) и указываем значение (6) (рис. 28, б). Аналогичным образом задаем температуру T_2 (рис. 28, в).

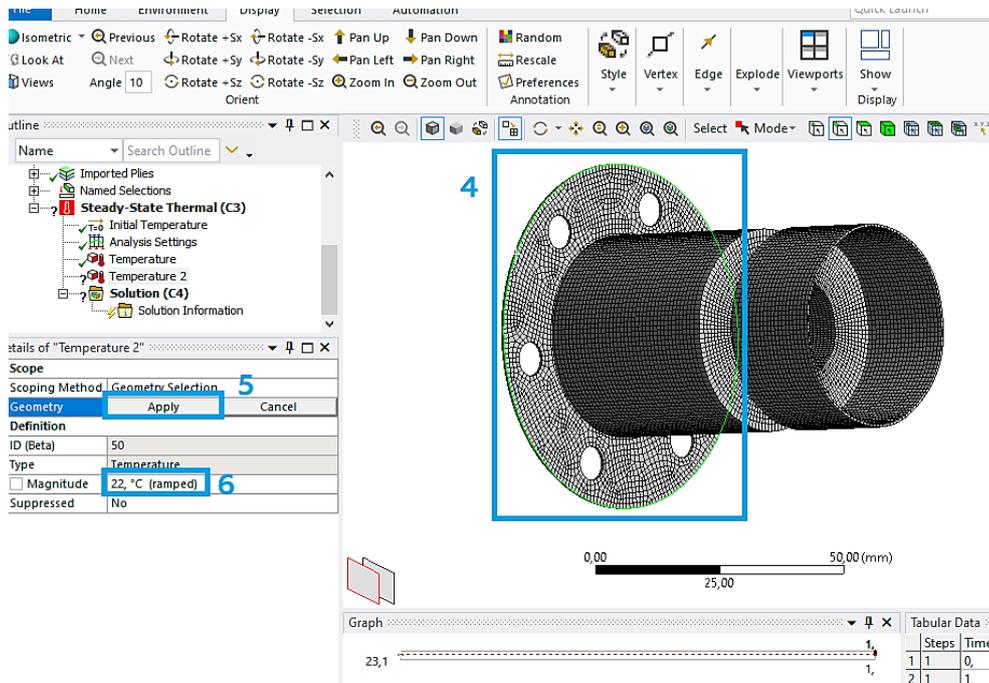


а



б

Рис. 28. Задание температуры (начало)



6

Рис. 28. Задание температуры (окончание)

15.3. Выбираем параметры, которые будут рассчитываться следующим образом:

– нажимаем ПКМ на *Solution* (1), выбираем *Insert* (2) – *Thermal* (3) – *Temperature* (4) (рис. 29).

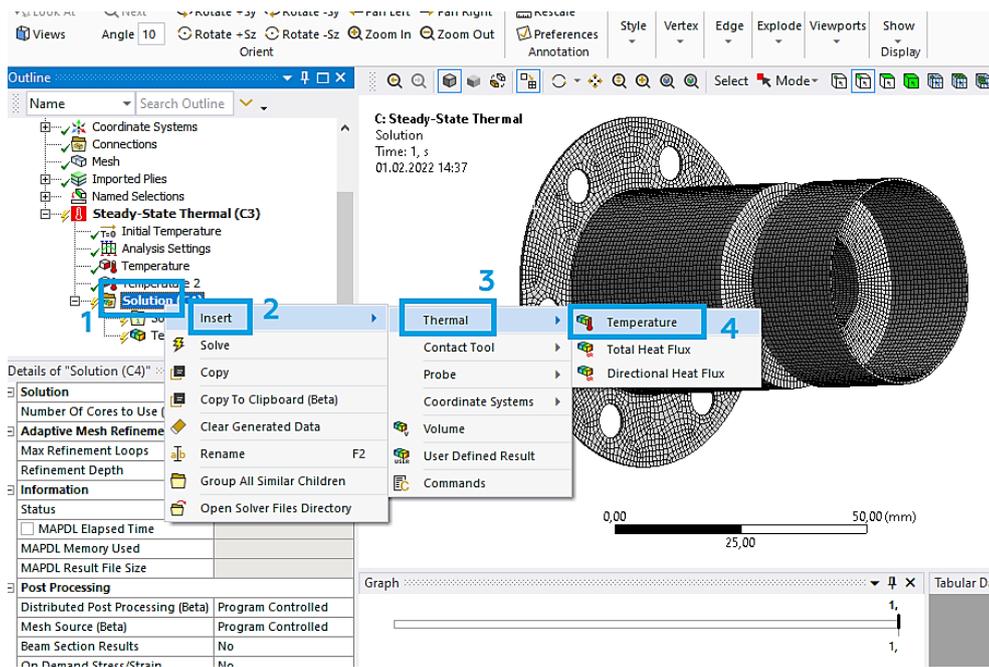


Рис. 29. Выбор результатов

15.4. Запускаем расчет, нажав кнопку *Solve* (рис. 30). Примечание: при запуске расчета может появиться предупреждение о том, что модельная группа имеет слишком длинное имя пути, но на расчет это не повлияет.

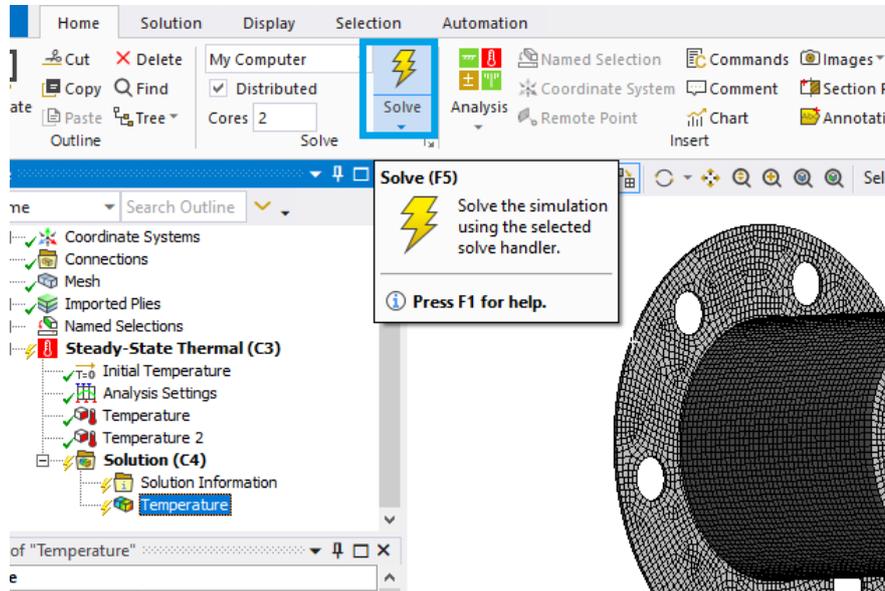


Рис. 30. Запуск расчета

15.5. Перед сохранением результатов расчета отключаем отображения сетки (рис. 31). Для этого в разделе *Display* (1) выбираем *Edges* (2) – *Show Underformed WireFrame* (3). После этого мы увидим модель без сетки.

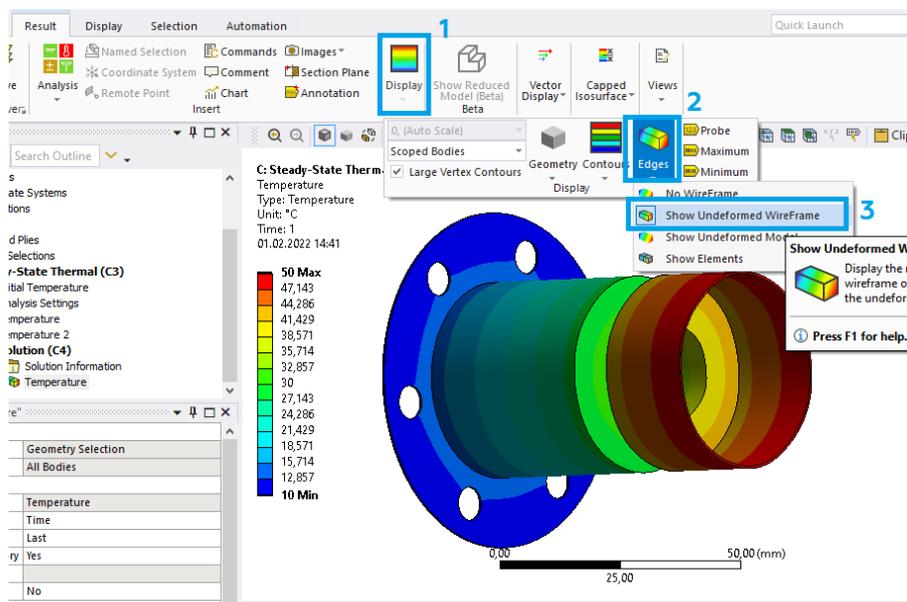


Рис. 31. Скрытие сетки

15.6. Сохраняем результаты расчета. Для этого переходим во вкладки результатов и делаем их скриншоты (рис. 32). Теперь окно *Mechanical* можно закрыть.

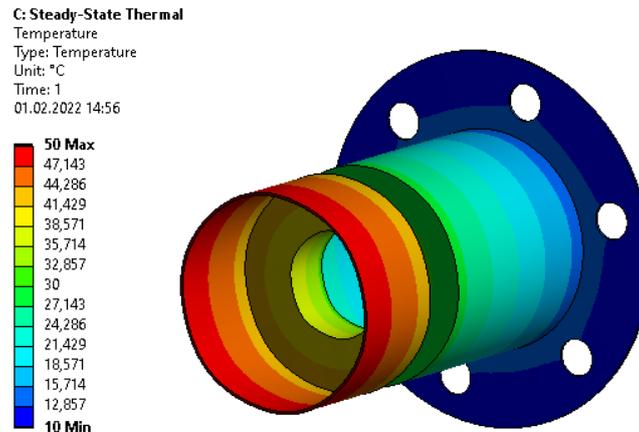


Рис. 32. Результаты расчета

16. Далее импортируем данные из модуля *Steady-State Thermal* в *Static Structural* (рис. 33):

- импортируем геометрию из блока *Model (Steady-State Thermal)* (1) в блок *Model* следующего модуля (*Static Structural*) (2);
- импортируем температурное поле из *Steady-State Thermal* (3) в граничные условия модуля *Static Structural* (4).

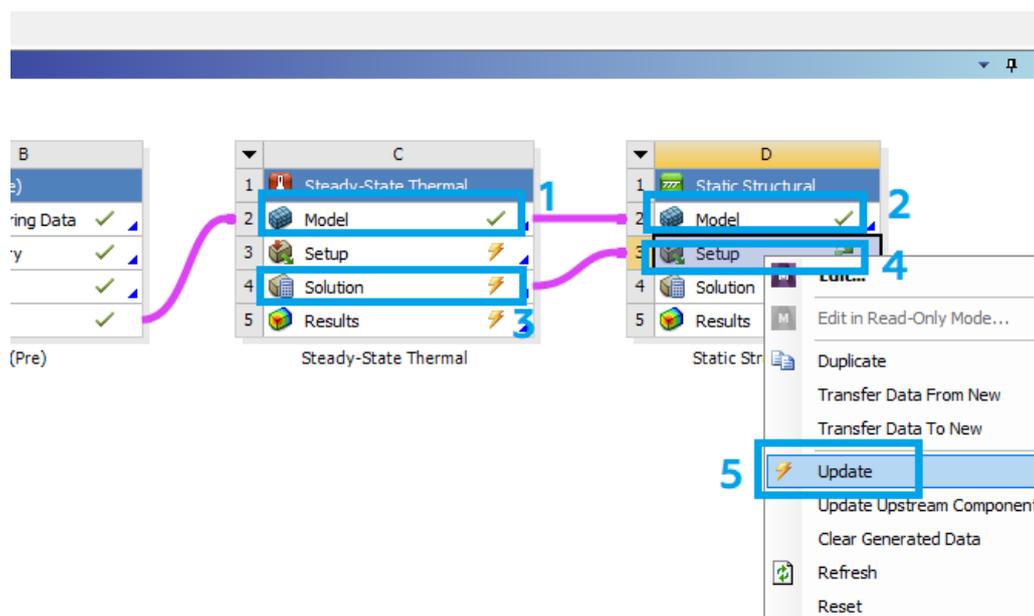


Рис. 33. Импорт данных в Static Structural

17. Приступаем к подготовке и проведению прочностного расчета:

17.1. В окне Workbench дважды нажимаем на **Model** в блоке **Static Structural**. После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 34.

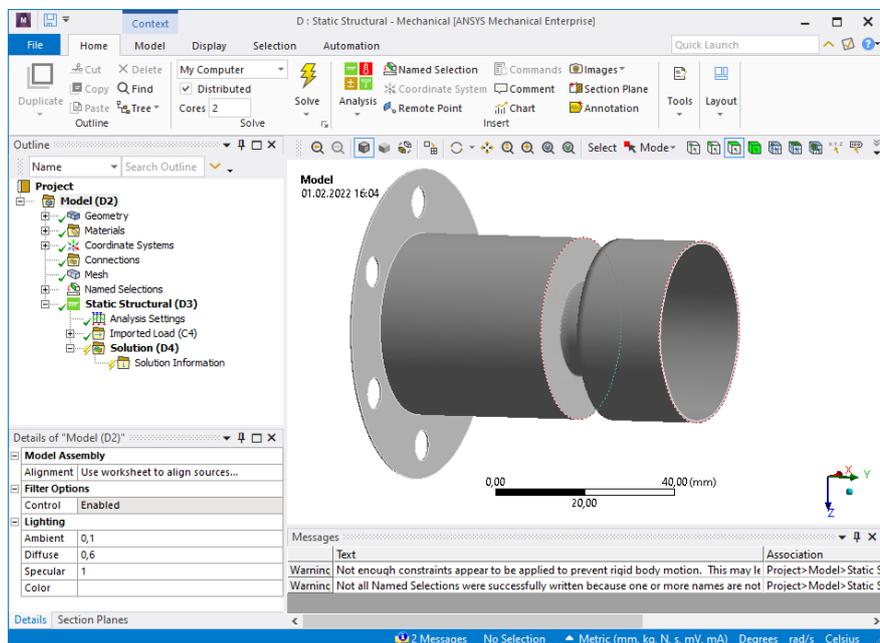


Рис. 34. Окно Mechanical

17.2. Чтобы проверить, импортировалось ли поле температур, раскрываем вкладку **Imported Load** (1) и нажимаем на **Imported Body Temperature** (2). После этого на геометрии отобразится распределение температуры (3) (рис. 35).

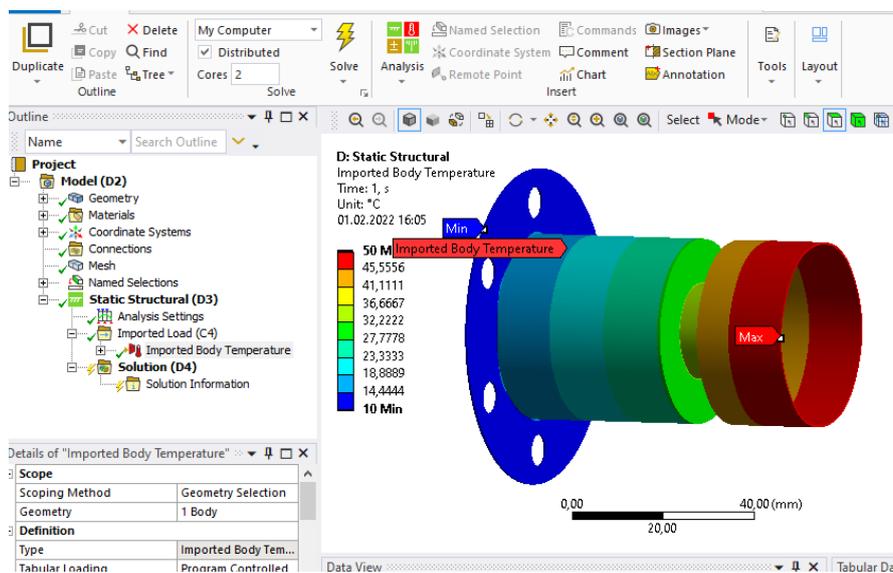
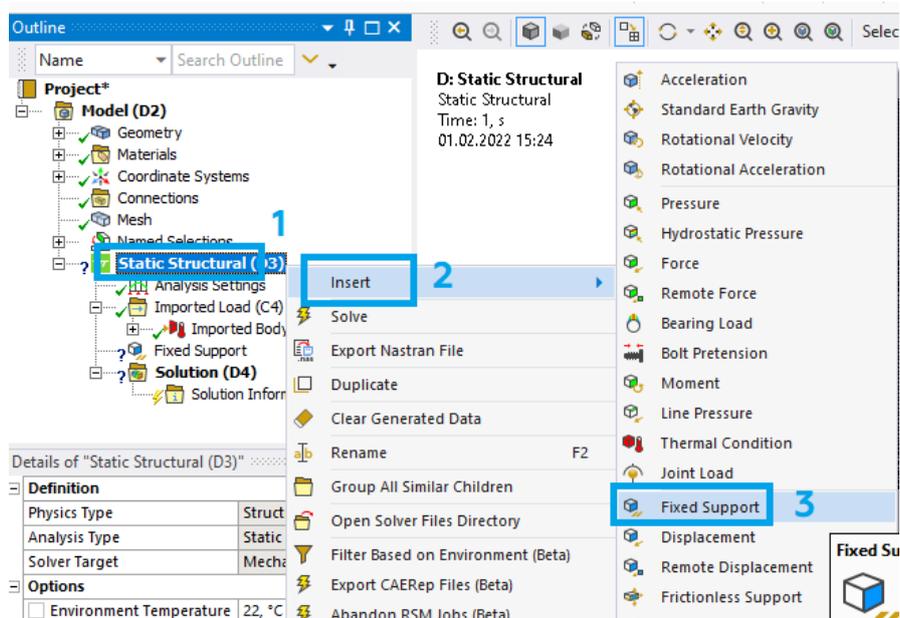


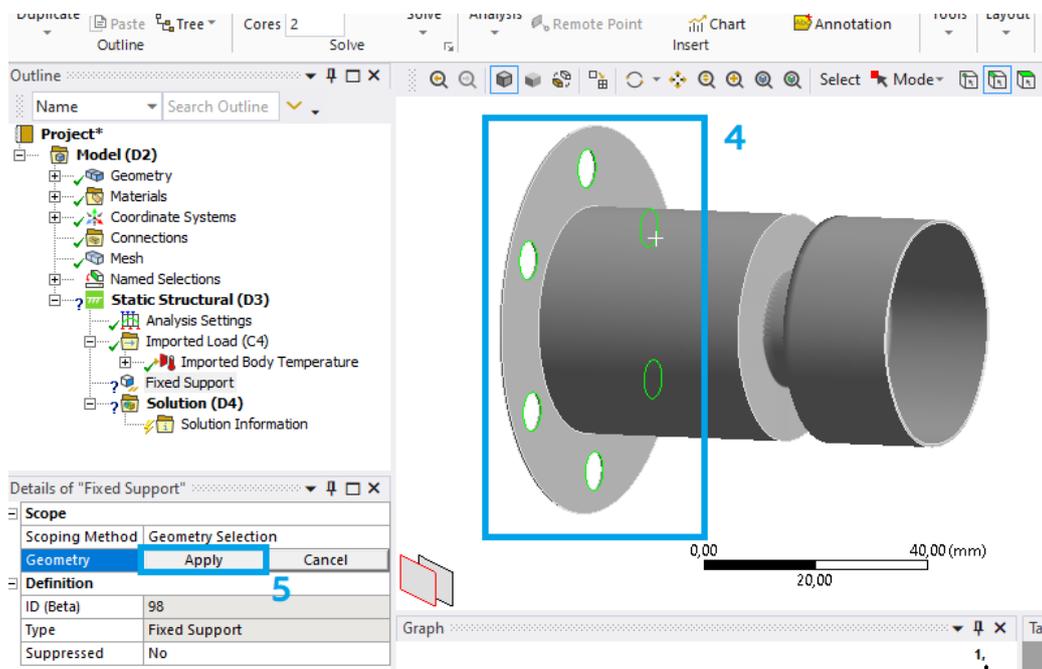
Рис. 35. Импортированное поле температур

17.3. Задаем граничные условия:

– чтобы зафиксировать геометрию в пространстве, нажимаем ПКМ на *Static Structural* (1) и выбираем *Insert* (2) – *Fixed Support* (3) (рис. 36, а). После чего указываем нужные ребра (4) и нажимаем *Apply* (5) (рис. 36, б);



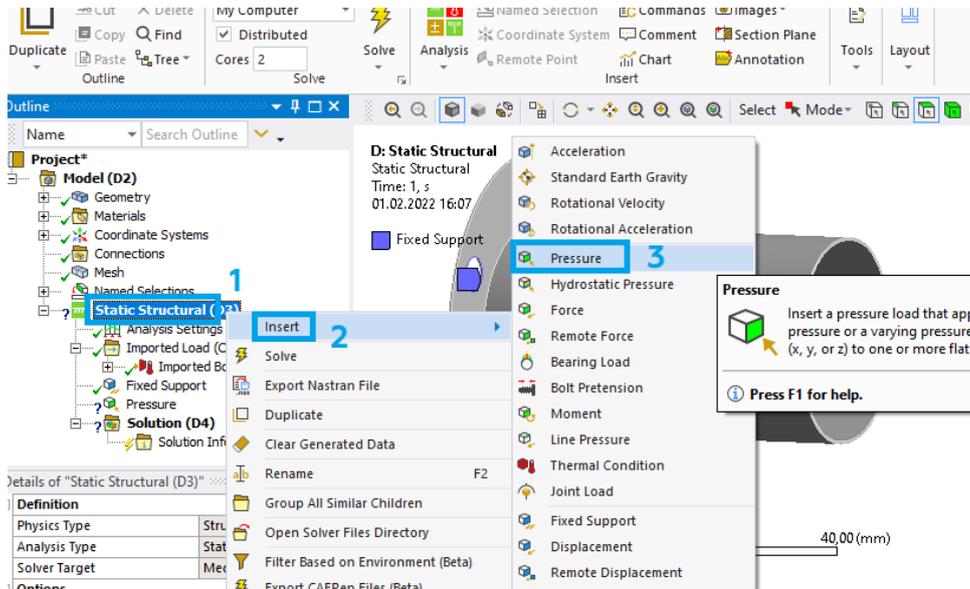
а



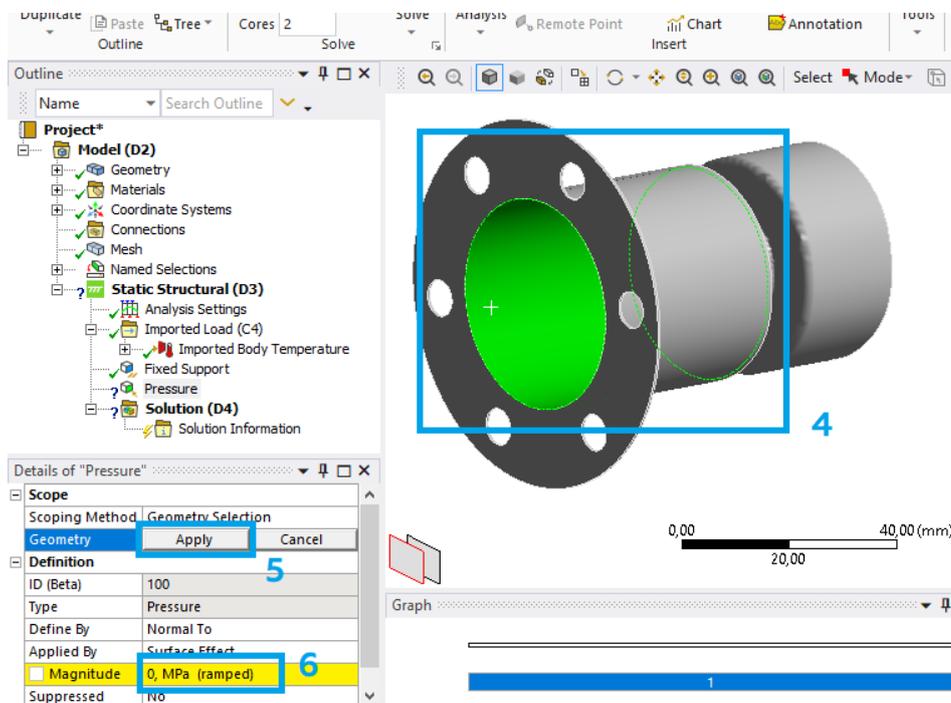
б

Рис. 36. Фиксация геометрии в пространстве

– чтобы задать давление, нажимаем ПКМ на *Static Structural* (1) и выбираем *Insert* (2) – *Pressure* (3) (рис. 37, а). После чего указываем нужную поверхность (4), нажимаем *Apply* (5) и задаем значение давления (6) (рис. 37, б). Примечание: необходимо обратить внимание на выбранные единицы измерения.



а



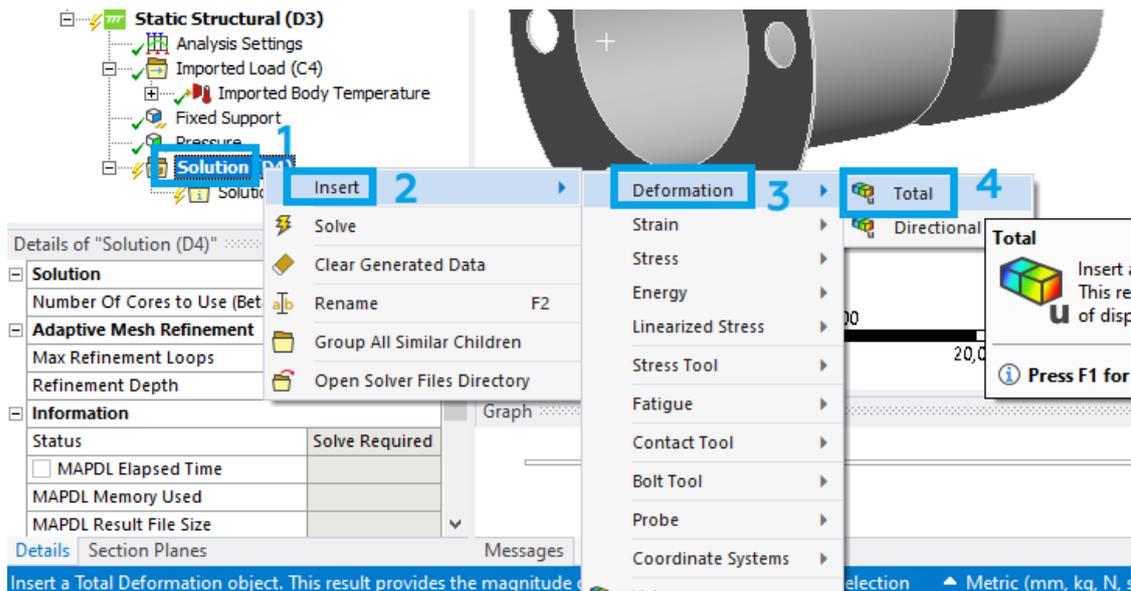
б

Рис. 37. Фиксация геометрии в пространстве

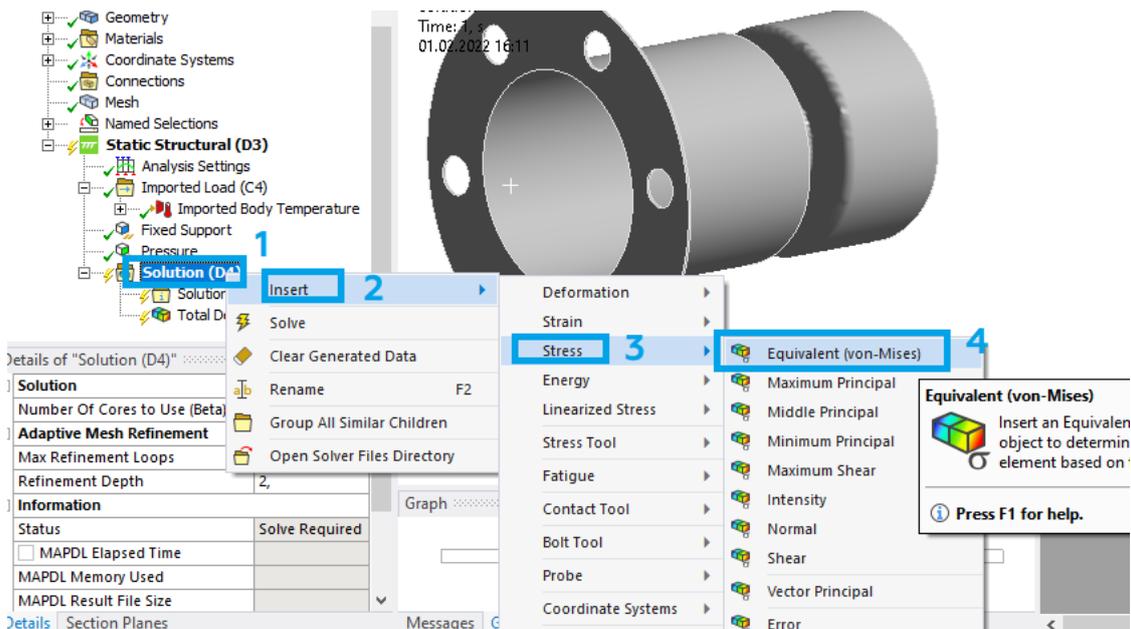
17.4. Выбираем параметры, которые будут рассчитываться следующим образом:

– нажимаем ПКМ на *Solution* (1), выбираем *Insert* (2) – *Deformation* (3) – *Total* (4) (рис. 38, а);

– нажимаем ПКМ на *Solution* (1), выбираем *Insert* (2) – *Stress* (3) – *Equivalent (von-Mises)* (4) (рис. 38, б).



а



б

Рис. 38. Выбор результатов

17.5. Запускаем расчет, нажав кнопку *Solve* (рис. 39). Примечание: при запуске расчета может появиться предупреждение о том, что модельная группа имеет слишком длинное имя пути, но на расчет это не повлияет.

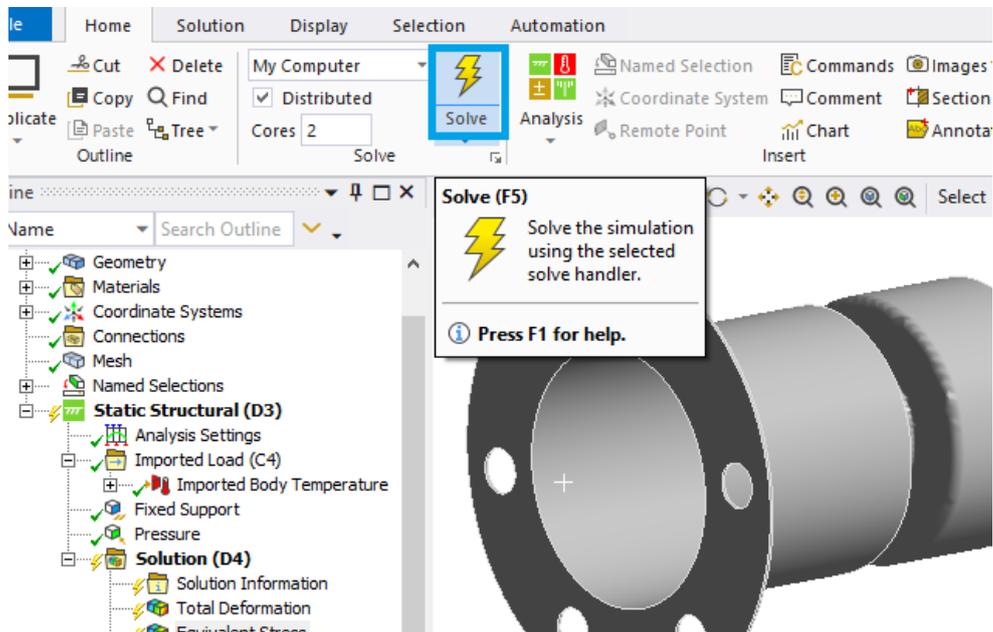
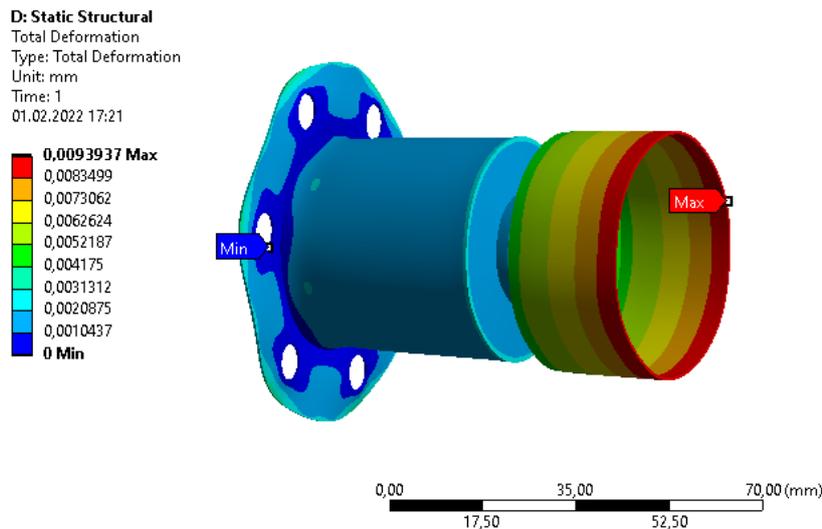


Рис. 39. Запуск расчета

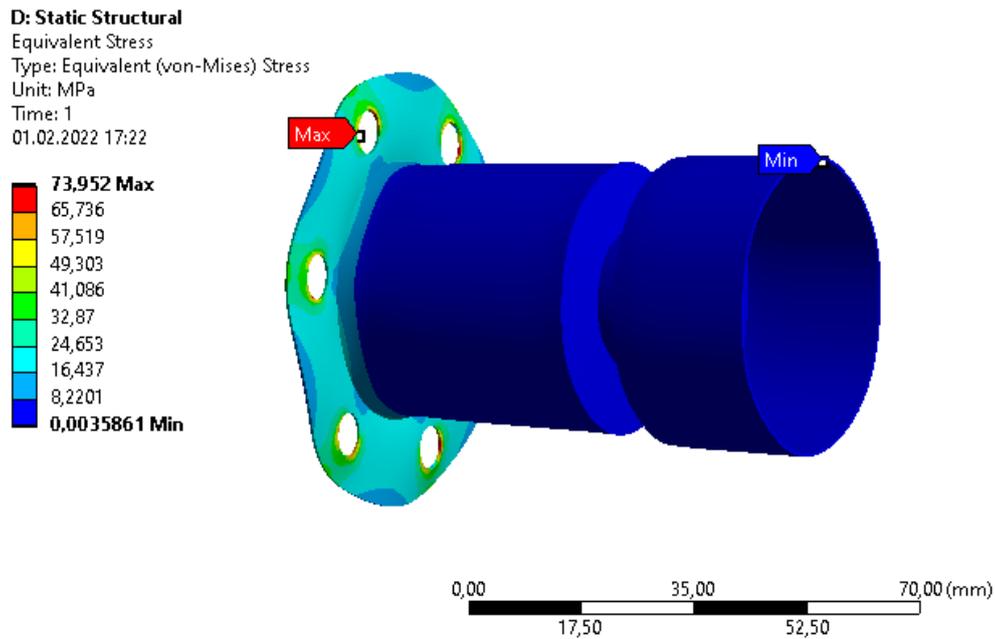
17.6. Сохраняем результаты расчета. Для этого переходим во вкладки результатов и делаем их скриншоты (рис. 40). Теперь окно *Mechanical* можно закрыть.



a

Рис. 40. Результаты расчета:

a – полное перемещение; *б* – эквивалентное напряжение (начало)



б

Рис. 40. Результаты расчета:

а – полное перемещение; б – эквивалентное напряжение (окончание)

18. В итоге должен получиться проект, имеющий следующую цепочку модулей (рис. 41).

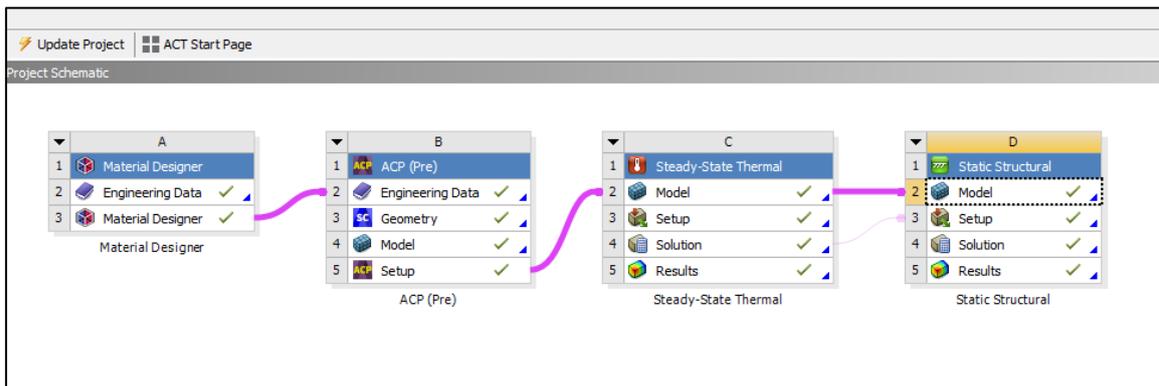


Рис. 41. Готовый проект

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, ACP (Pre) – Geometry, ACP (Pre) – Model, ACP (Pre) – Setup; Mechanical (Steady-State Thermal) – граничные условия, Mechanical (Steady-State Thermal) – результаты; Mechanical (Static Structural) – граничные условия, Mechanical (Static Structural) – результаты).
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие модули используются в данном проекте?
2. Для чего нужен модуль ACP (Pre)?
3. Какие объемные элементы можно использовать в Material Designer?
4. Для чего создавать сеточную модель?
5. Основные инструменты для создания сетки в ANSYS.
6. Основные этапы выполнения работы.

Лабораторная работа № 5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА PARAMETERS ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕФОРМАЦИИ ОБОЛОЧКИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы

Изучение основных этапов проведения статического прочностного анализа в среде *ANSYS Workbench* с использованием инструмента *Parameters*. Приобретение студентами навыков в использовании программного инструмента *ANSYS Workbench – Static Structural* при проведении прочностного анализа двух связанных пластин из композиционных материалов, созданных с помощью *Material Designer* и *ACP (Pre)*.

Описание работы

Используя модули *Material Designer*, *ACP (Pre)*, *Static Structural* и инструмент *Parameters*, необходимо рассчитать полное перемещение (*Total Deformation*) при разных значениях величин сил для двух связанных пластин из композиционных материалов (рис. 1). Известны: материал волокна и наполнителя, тип объемного элемента, участки жесткой заделки (*Fixed Support*) и направление действия вектора сил F_1 и F_2 (*Force*), приложенного к поверхности (пять значений с шагом в 5 Н. Пример: 10Н – 15Н – 20Н – 25Н – 30Н) (табл. 1).

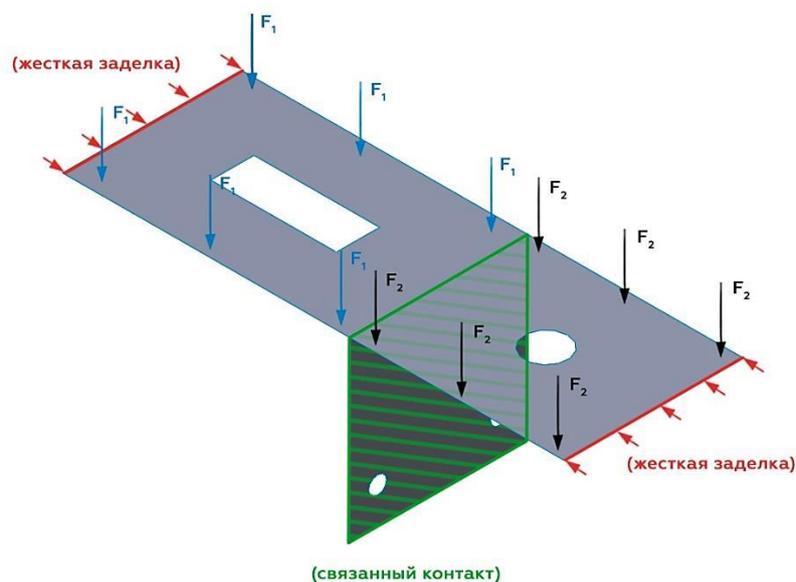


Рис. 1. Расчетная схема

Исходные данные

Вариант	Тип объемного элемента	F ₁ , Н	F ₂ , Н
1	Регулярная однонаправленная	50	40
2	Плетеная	40	35
3	Регулярная однонаправленная	70	50
4	Сферическая	60	60
5	Регулярная однонаправленная	40	45
6	Сферическая	10	80
7	Плетеная	55	55
8	Сферическая	65	30
9	Сферическая	65	85
10	Регулярная однонаправленная	40	40
11	Регулярная однонаправленная	40	30
12	Сферическая	35	70
13	Регулярная однонаправленная	25	45
14	Сферическая	45	80
15	Плетеная	75	55
16	Регулярная однонаправленная	30	30
17	Плетеная	45	85
18	Плетеная	20	70
19	Сферическая	70	65
20	Регулярная однонаправленная	85	30
21	Сферическая	65	20
22	Плетеная	40	10
23	Плетеная	30	25
24	Сферическая	70	55
25	Регулярная однонаправленная	60	65
26	Плетеная	40	65
27	Сферическая	40	40
28	Плетеная	20	40
29	Регулярная однонаправленная	55	35
30	Плетеная	35	25

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Запускаем *ANSYS Workbench* и добавляем несколько модулей: *Material Designer*, два *ACP (Pre)* и *Static Structural* (рис. 2).

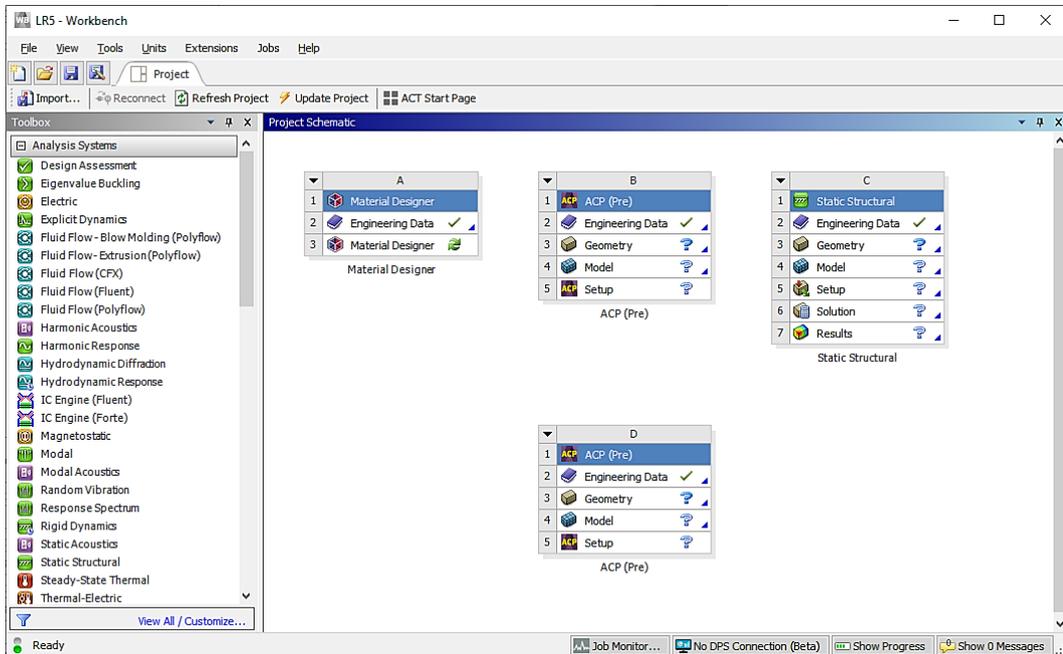
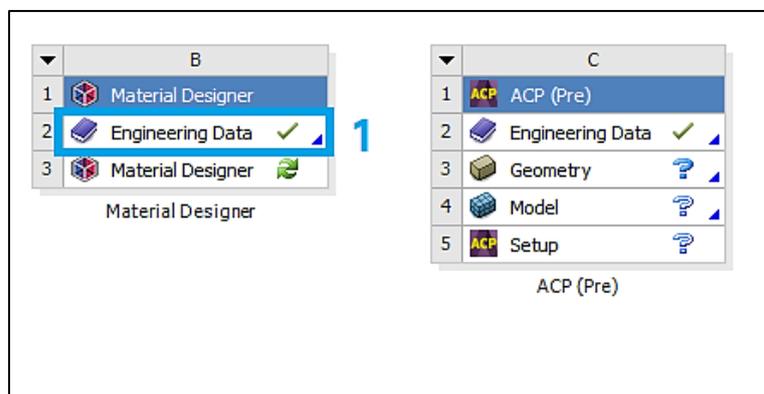


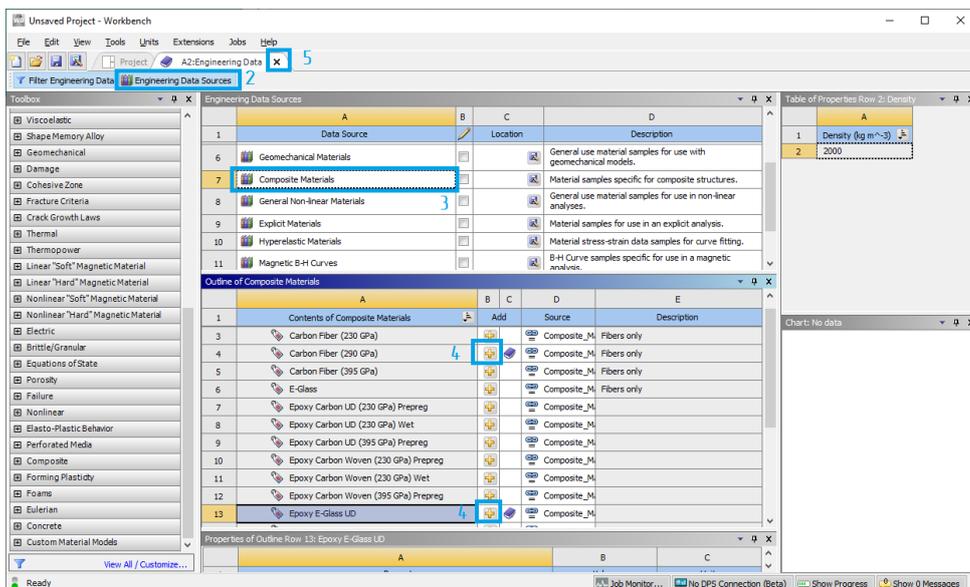
Рис. 2. Добавление модулей

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: *Carbon Fiber (290 GPa)* и *Epoxy E-Glass UD* (4). После этого можно закрыть *Engineering Data* (5) (рис. 3).



a

Рис. 3. Выбор материала волокна и наполнителя (начало)



б

Рис. 3. Выбор материала волокна и наполнителя (окончание)

3. В первом модуле дважды нажимаем ЛКМ на *Material Designer*, после чего откроется окно, представленное на рис. 4.

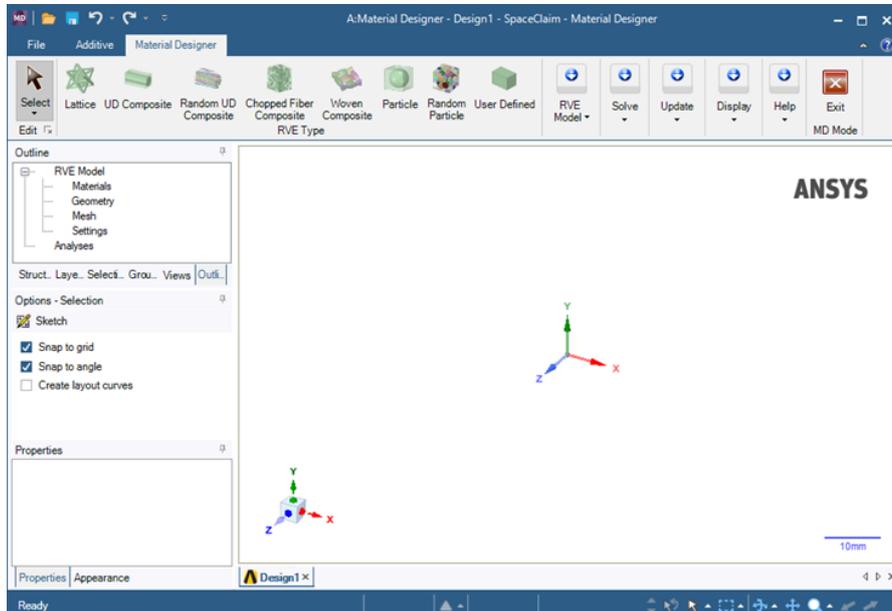


Рис. 4. Окно Material Designer

4. В верхней панели инструментов (рис. 5) выбираем тип объемного элемента модифицированной микроструктуры согласно своему варианту (табл. 1).



Рис. 5. Выбор объемного элемента модифицированной микроструктуры

5. В появившейся слева панели присваиваем материал матрицы/наполнителя (1) и частицы/волокон (2) (рис. 6). После чего необходимо применить изменения (3).

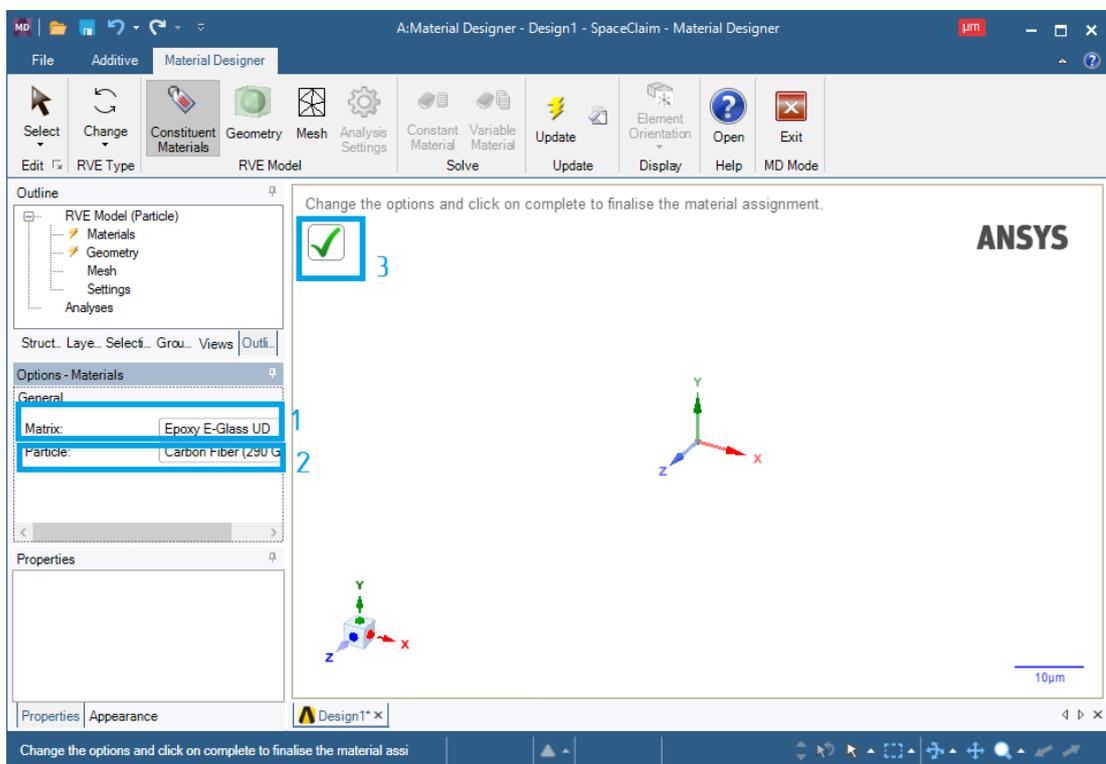


Рис. 6. Присвоение материалов

6. Для создания геометрии объемного элемента (рис. 7) 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 на галочку (3) и на рабочем пространстве появится трехмерная модель сгенерированной объемного элемента (4).

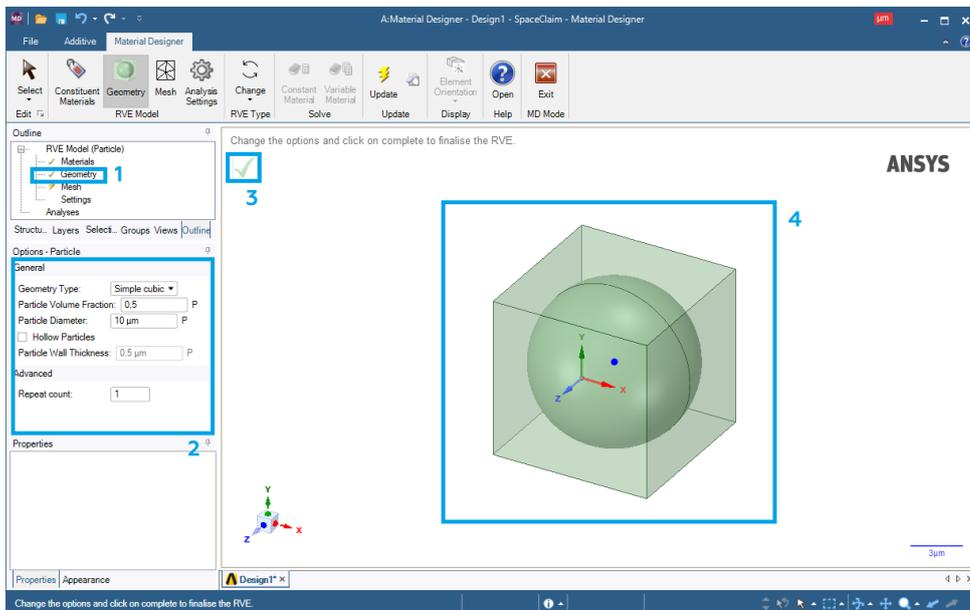


Рис. 7. Создание геометрии объемного элемента

7. Сгенерируем сеточную модель объемного элемента (рис. 8). 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.

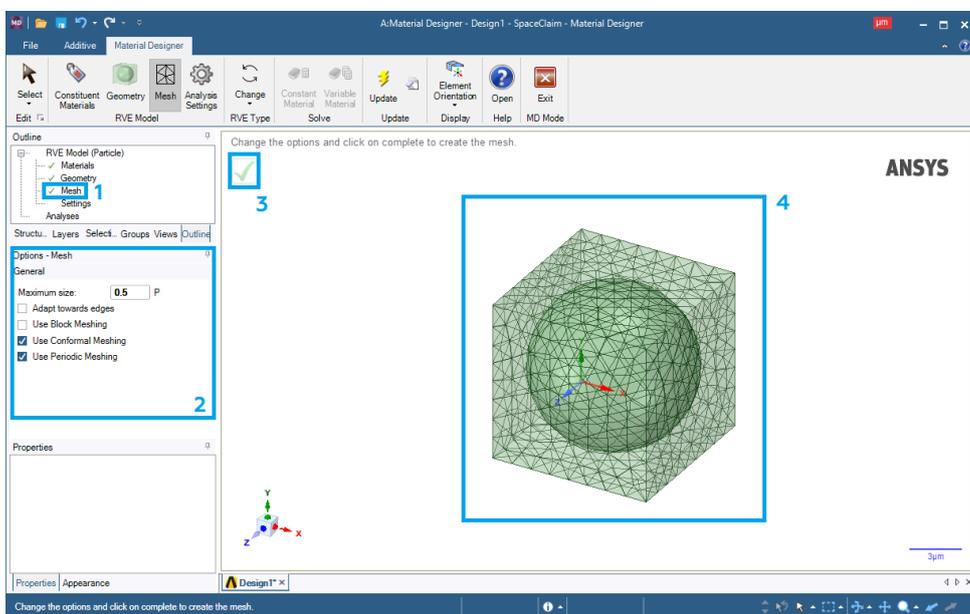


Рис. 8. Создание сетки объемного элемента

8. Нажимаем ЛКМ на **Settings** (1). На панели слева (2) можно выставить интересные настройки анализа объемного элемента (рис. 9), но в нашем

случае, они остаются без изменения. Нажимаем на галочку (3) и видим системное окно, предупреждающее о результатах проведенного анализа (4).

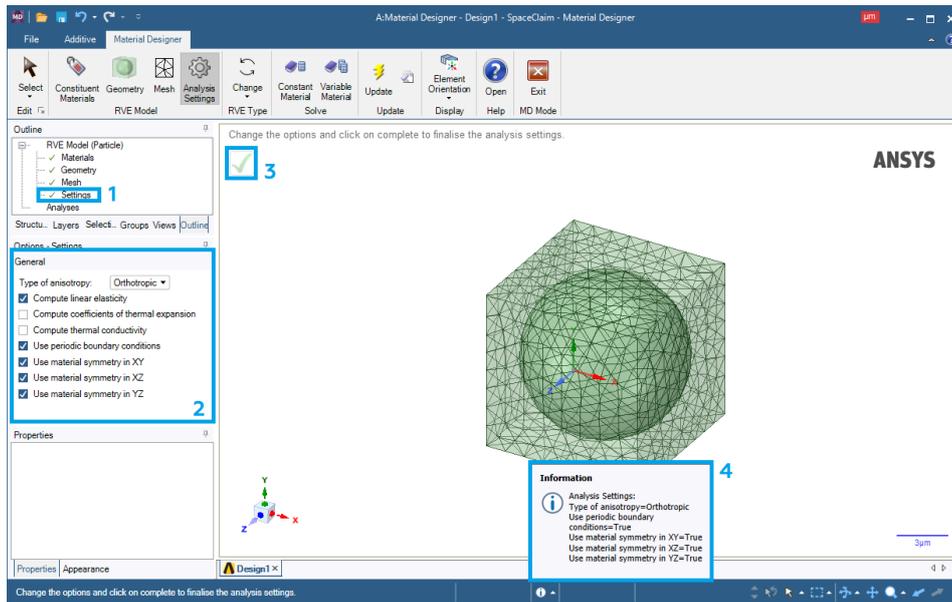


Рис. 9. Выбор характеристик частицы

9. Присваиваем название созданному объемному элементу (рис. 10). Для этого нажимаем правую кнопку мыши (ПКМ) на *Analyses* (1) – *Constant Material* (2), вводим название материала (3) и нажимаем на галочку (4). Закрываем окно *Material Designer*.

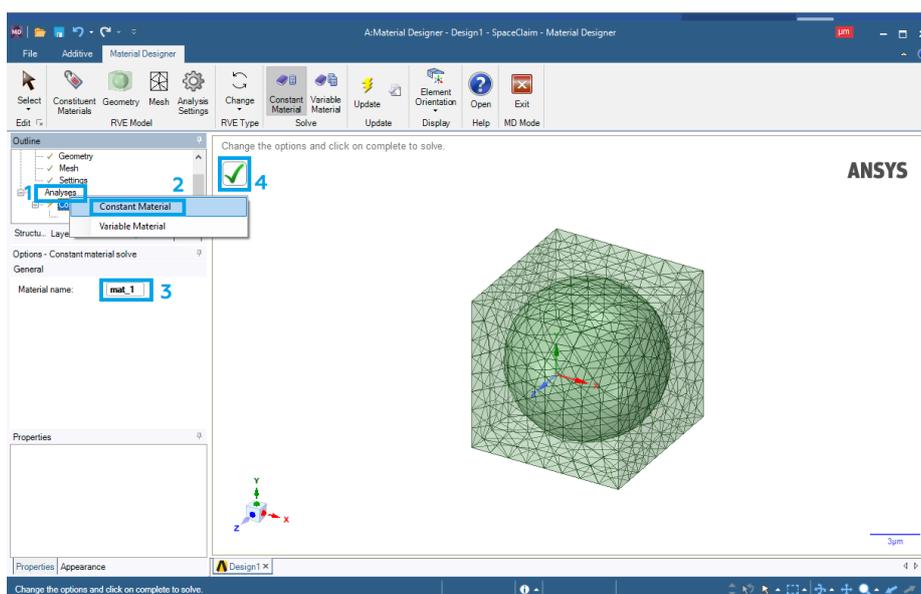


Рис. 10. Создание сетки объемного элемента

10. Создаем связь между первым и вторым модулями *Material Designer* для присвоения созданного нами композитного материала к анализируемой геометрии через второй блок (рис. 11):

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

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

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

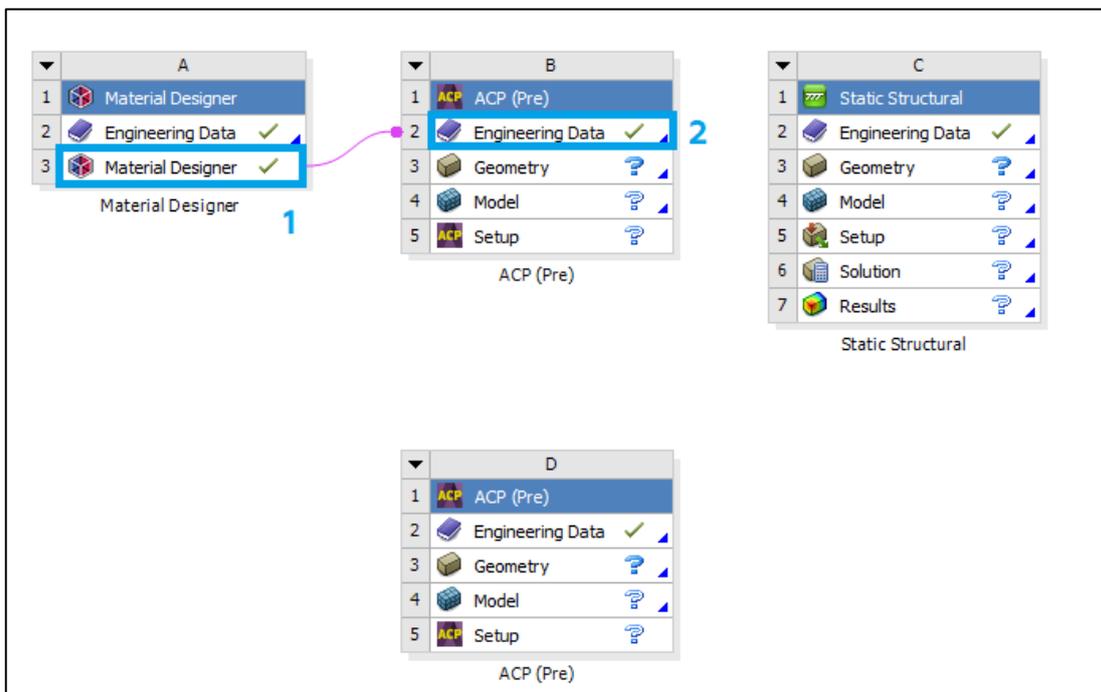


Рис. 11. Создание связи

11. Импортируем геометрию:

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

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

11.3. 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 ждем кнопку *Открыть*. Импортированная геометрия показана на рис. 12.

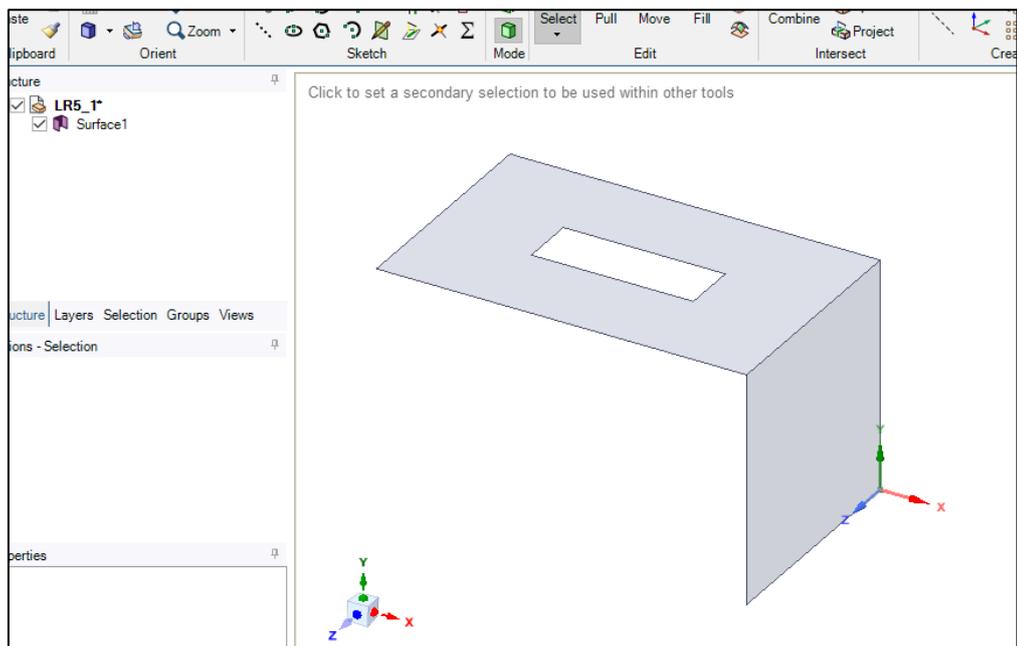


Рис. 12. Импорт геометрии

11.4. После этого окно геометрии можно закрыть.

12. Приступаем к созданию сетки:

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

12.2. В открывшемся окне раскрываем вкладку Geometry (1), выделяем геометрию (2) и задаём толщину (3) 0,5 мм (рис. 13).

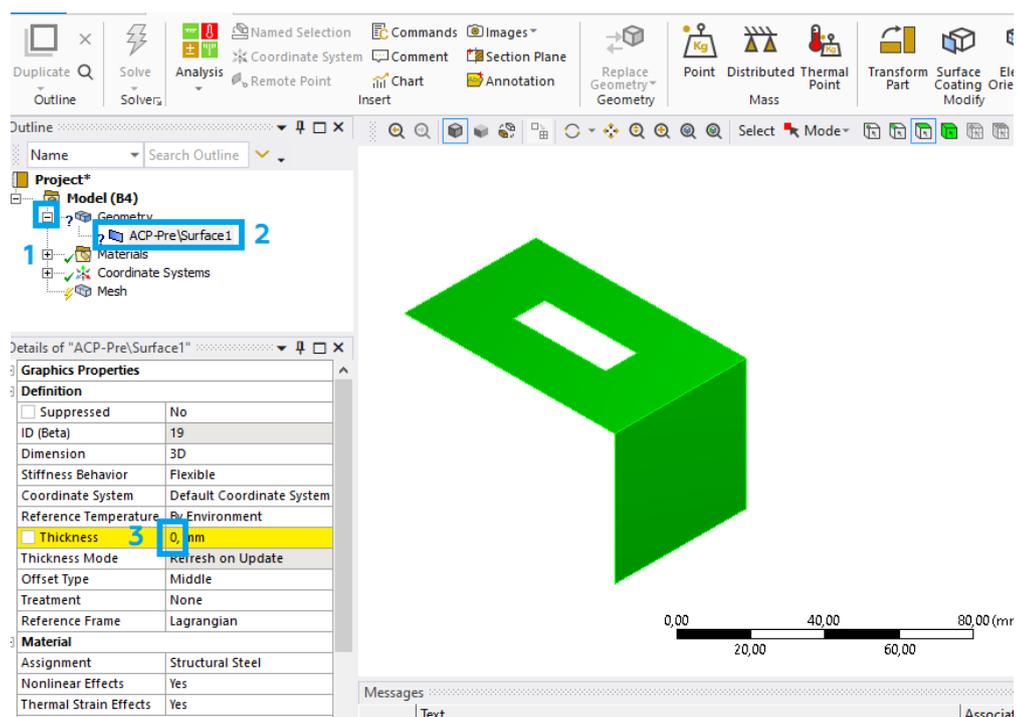


Рис. 13. Задание толщины пластины

12.3. Задаем настройки сеточной модели:

– жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Method**, выделяем геометрию и выбираем метод – **Multizone Quad/Tri**;

– жмем ПКМ на **Mesh – Insert – Sizing**, выделяем всю геометрию и задаем величину ячеек 1 мм.

12.4. Нажимаем ПКМ на **Mesh** и выбираем **Generate mesh**. Готовая сеточная модель представлена на рис. 14. Закрываем окно блока **Model**.

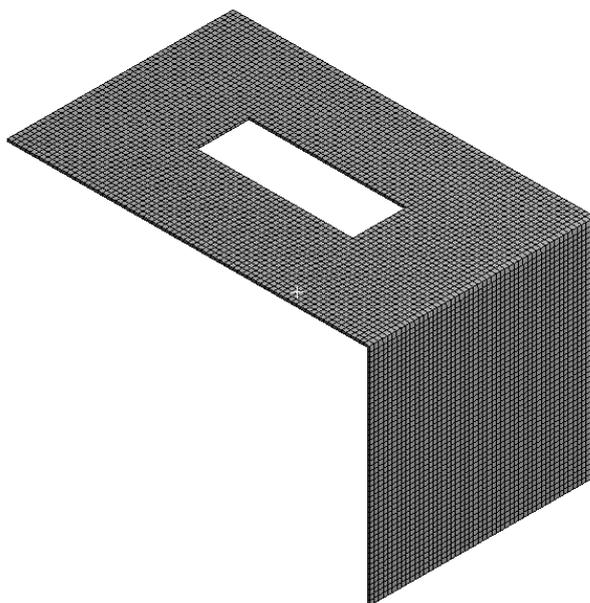


Рис. 14. Генерация сеточной модели

12.5. Присваиваем имя контактной поверхности. Выделяем область ЛКМ, после чего нажимаем на неё ПКМ (1) и выбираем **Create Named Selection...** (2) (рис. 15). В итоге две поверхности будут иметь персональное название (3).

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

13. Настраиваем слои созданных композитных материалов:

13.1. В окне **Workbench** дважды нажимаем на **Setup** в блоке **ACP (Pre)**. После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 16.

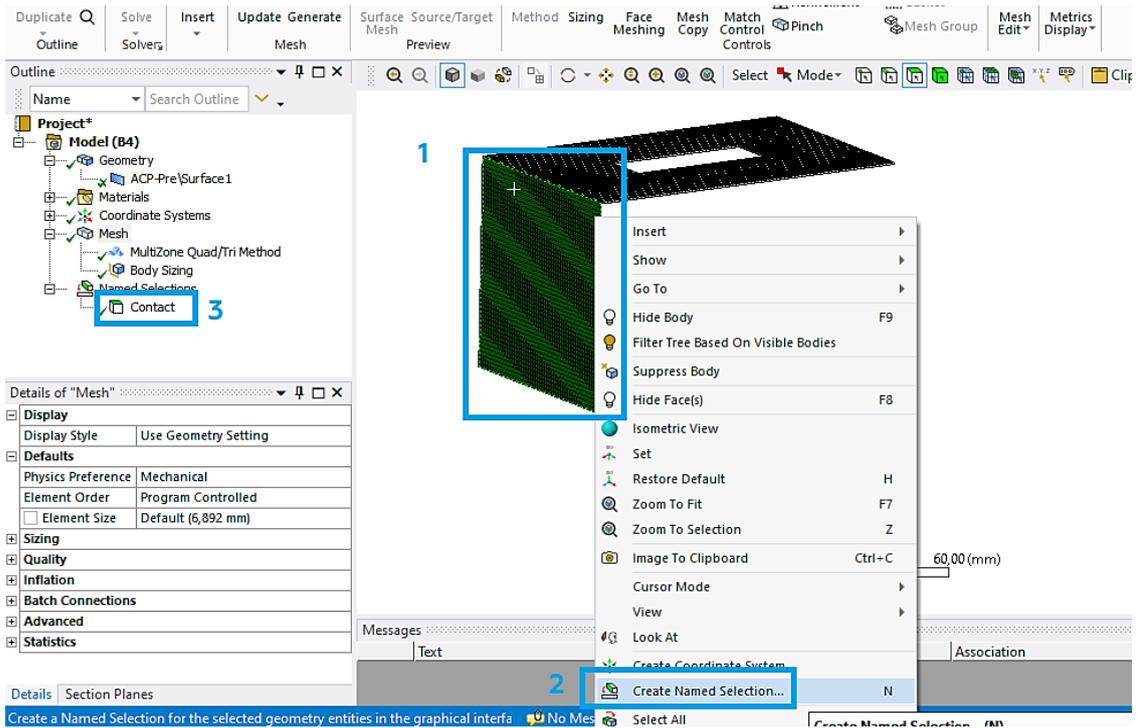


Рис. 15. Присвоение имен для поверхностей

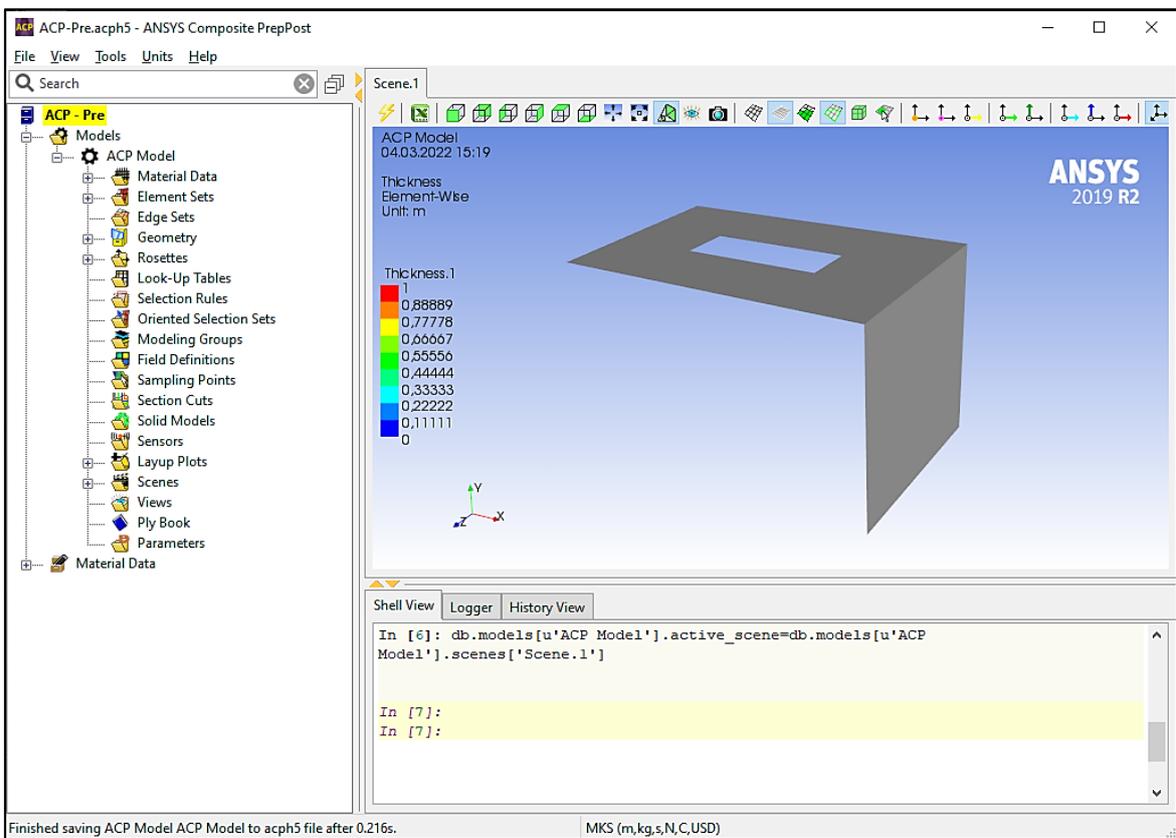


Рис. 16. Окно ANSYS Composite PrepPost

13.2. Сразу изменяем единицы измерения на мм. Для этого нажимаем на *Units* в верхней панели и выбираем *MPA (mm,t,s,N,C,USD)*.

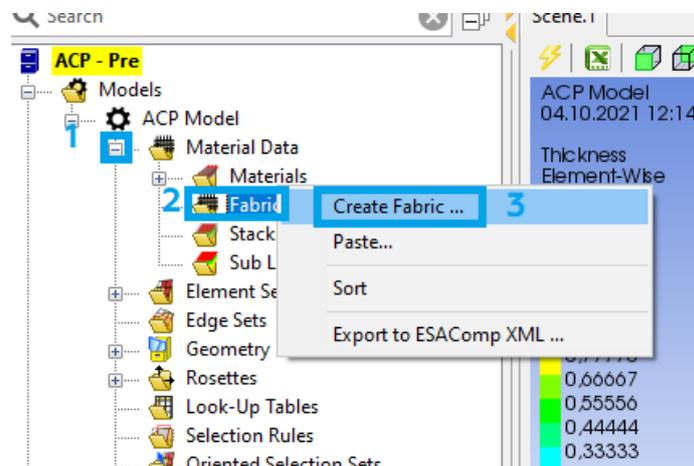
13.3. Создаем слой волокон композитного материала (рис. 17):

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

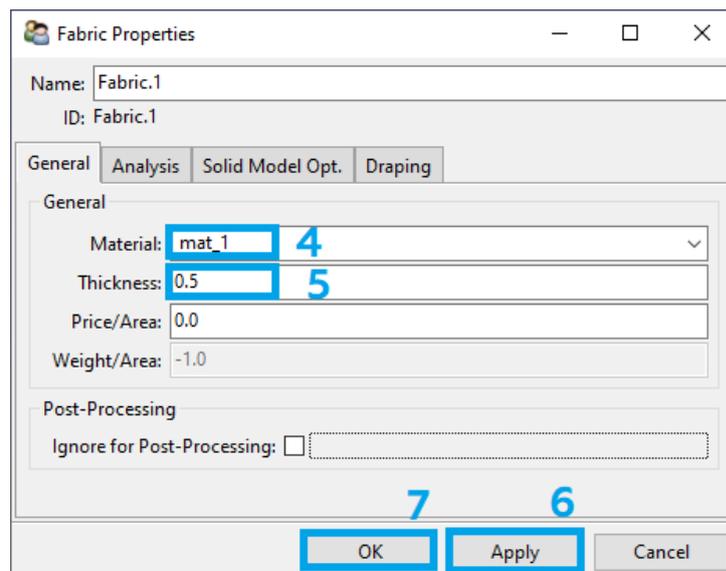
– выбираем материал (4), задаем толщину 0.5 мм (5) и жмем *Apply* (6).

Если на экране появится окно с предупреждением, то его можно закрыть.

После этого окно можно закрыть (7).



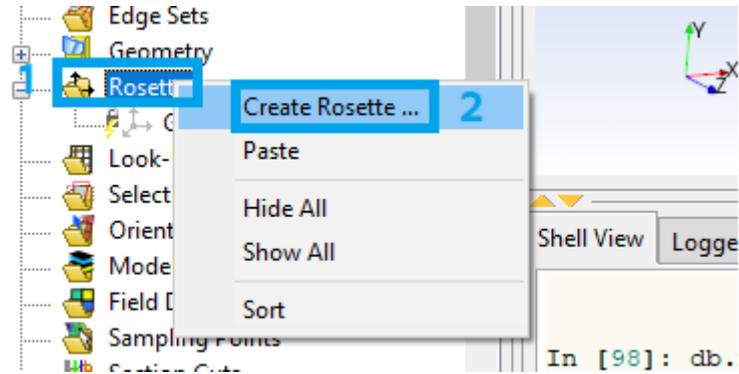
a



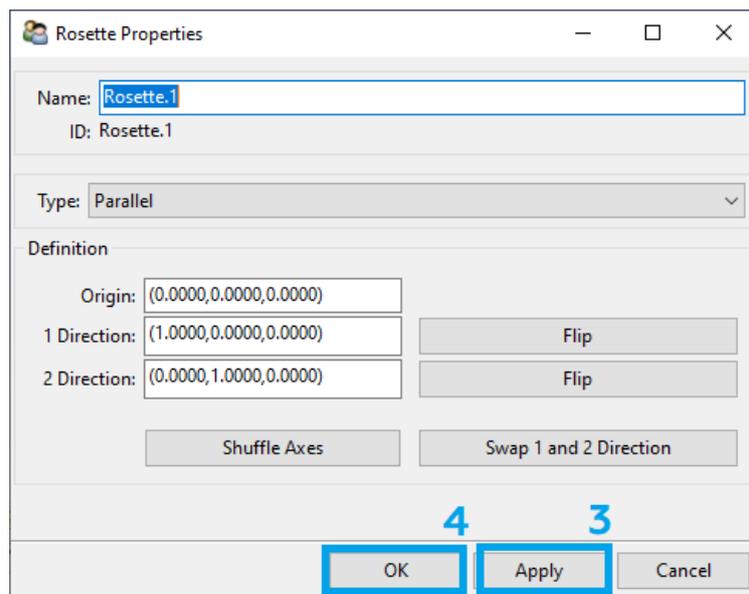
б

Рис. 17. Создание слоя волокон

13.4. Создаем ось координат (рис. 18). Нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1) и выбираем **Create Rosette...** (2), ждем **Apply** (3). После этого окно можно закрыть (4).



а



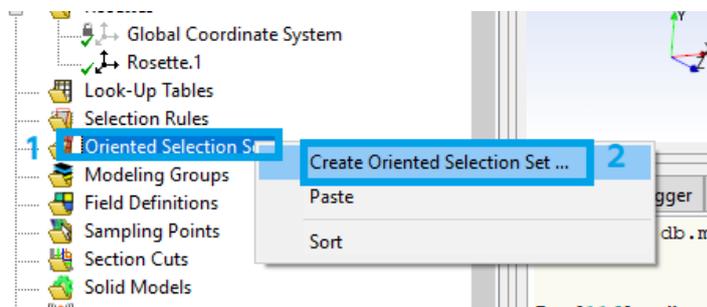
б

Рис. 18. Создание оси координат

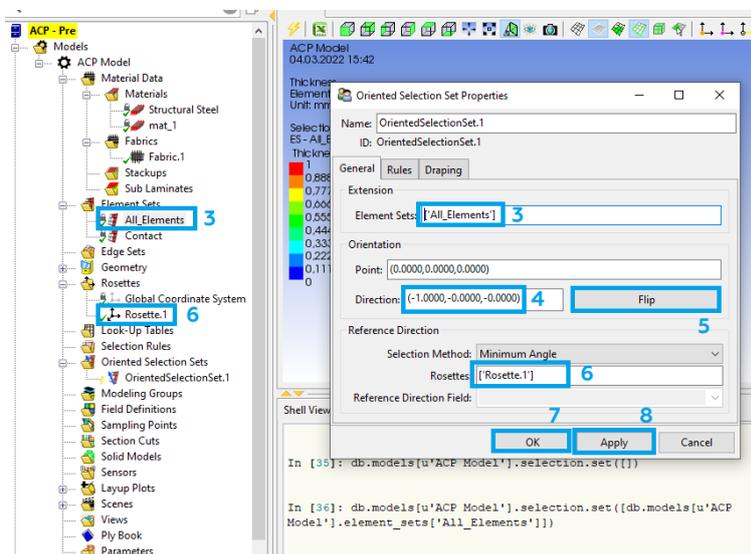
13.5. Создаем ориентированный блок (рис. 19):

- нажимаем ПКМ на **Rosettes** (1) и выбираем **Create Rosette...** (2);
- выбираем элемент/геометрию (выбираем его в дереве построения в разделе **Element Sets**) (3), настраиваем ориентацию (4), нажимаем **Flip** (5) (чтобы толщина пластины задавалась вовнутрь), после чего выбираем со-

зданную ось координат (6) и ждем *Apply* (7). После этого окно можно закрыть (8).



a

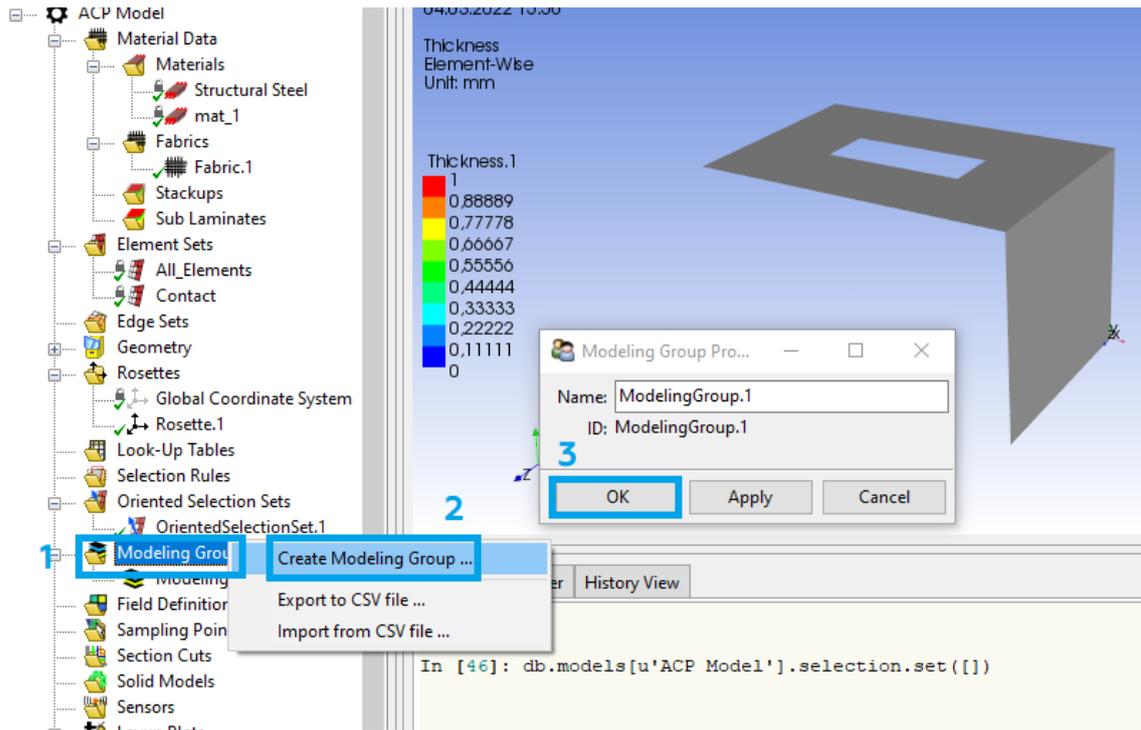


б

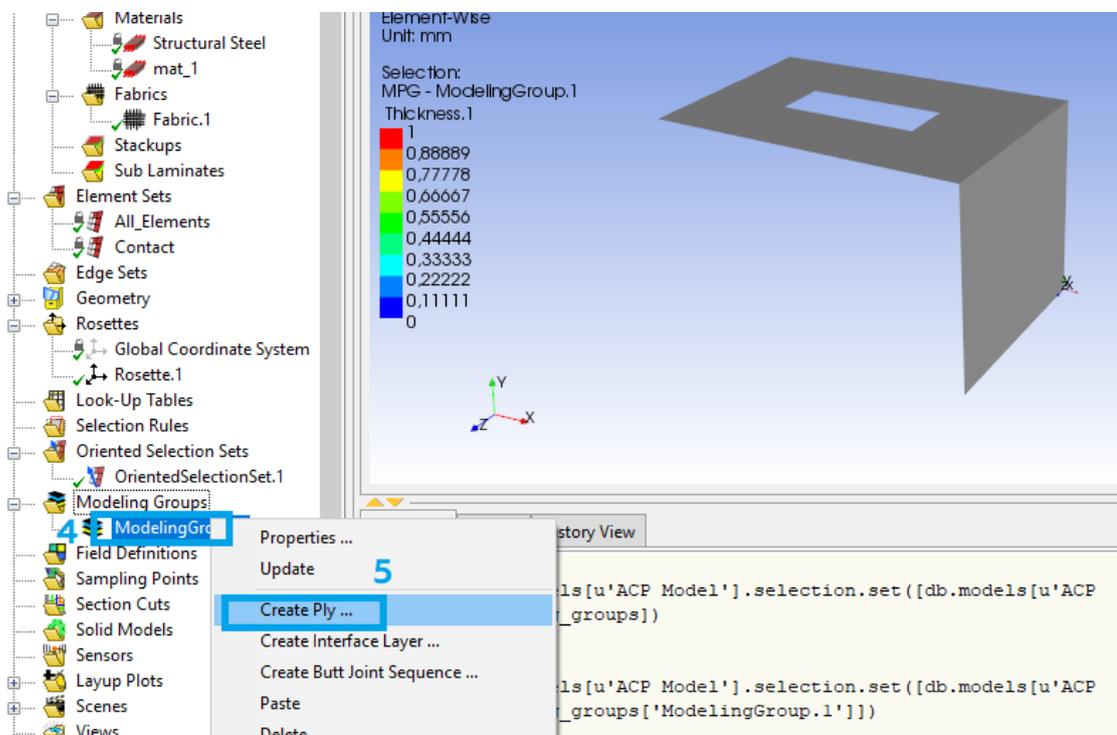
Рис. 19. Создание ориентированного блока

13.6. Создаем модельную группу (объединение ориентированного элемента и пакета слоев) (рис. 20):

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

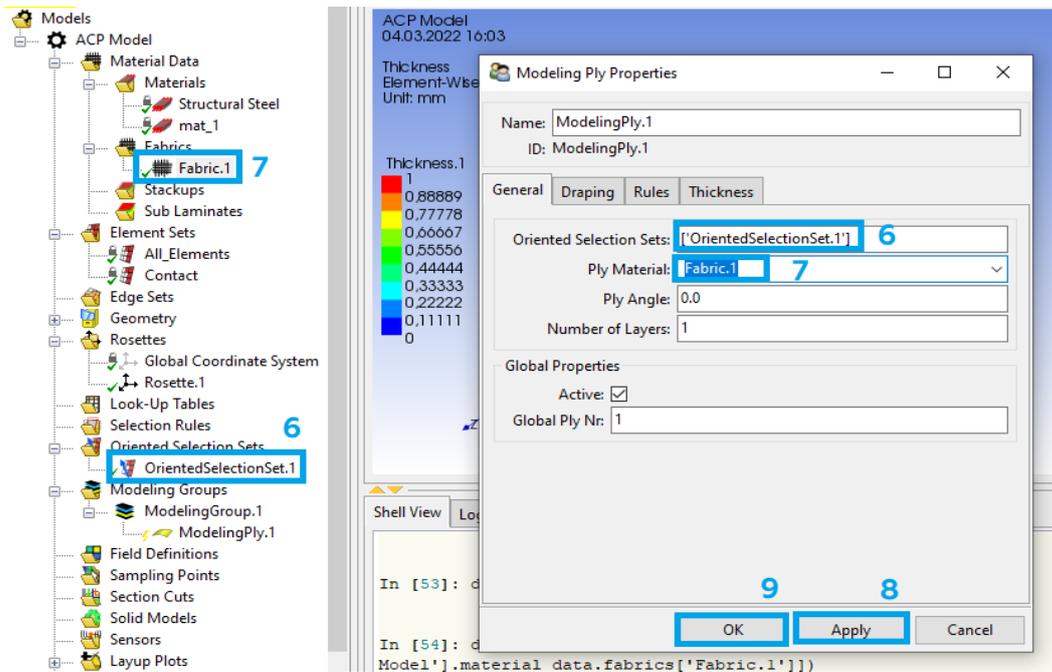


a



б

Рис. 20. Создание модельной группы
(начало)



6

Рис. 20. Создание модельной группы
(окончание)

13.7. Включаем отображение сетки (1) и направление волокон (2) в верхней панели (рис. 21). Выбрав модельную группу (3), видим зеленые стрелочки, показывающие направление волокон (4).

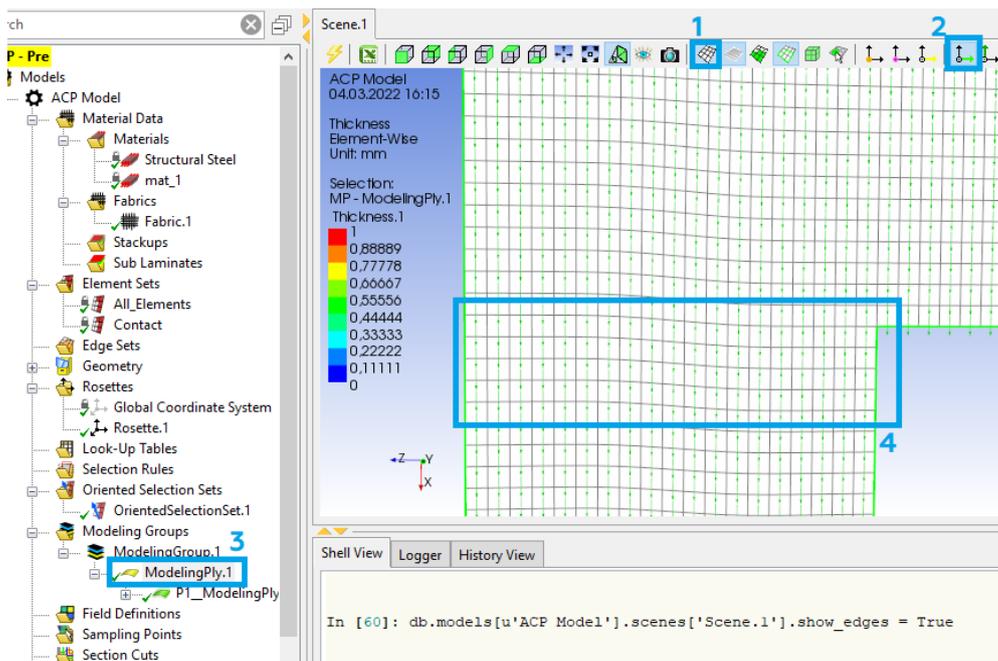
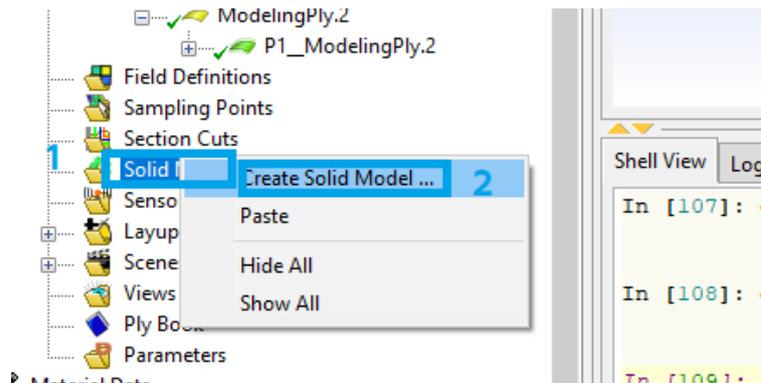


Рис. 21. Отображение направления волокон

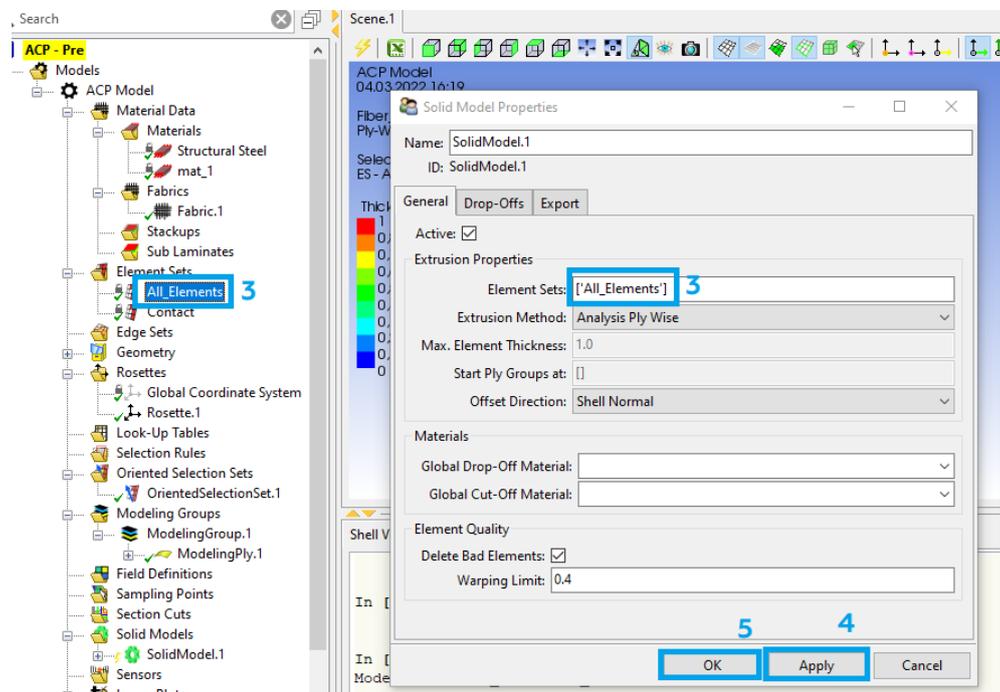
13.8. Создаем твердотельную модель (рис. 22):

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

– выбираем 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. 22. Создание твердотельной модели

13.9. Закрываем окно *ANSYS Composite PrepPost*.

14. Подготавливаем модель второй геометрии:

14.1. Для второго модуля АСР (Pre) повторяем шаги 10.2–13.9 с рядом исключений:

– для пункта 11.3 выбираем вторую геометрию (рис. 23).

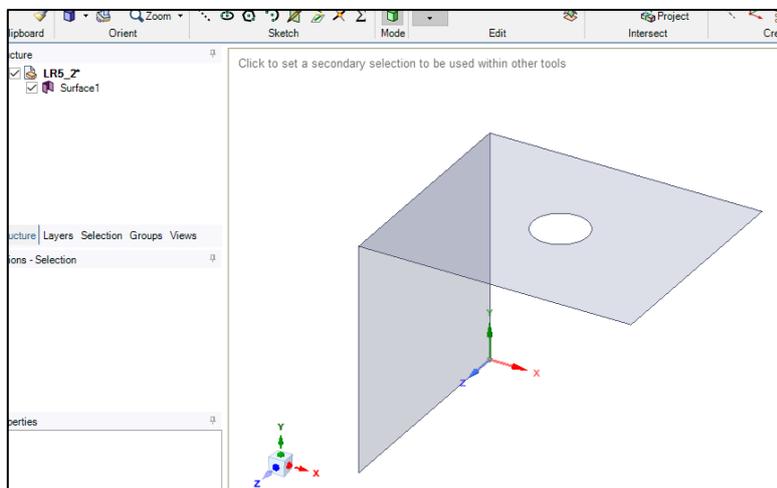


Рис. 23. Импорт геометрии

– для пункта 13.5 не нажимаем кнопку **Flip** (5).

14.2. В итоге получаем проект, как показано на рис. 24.

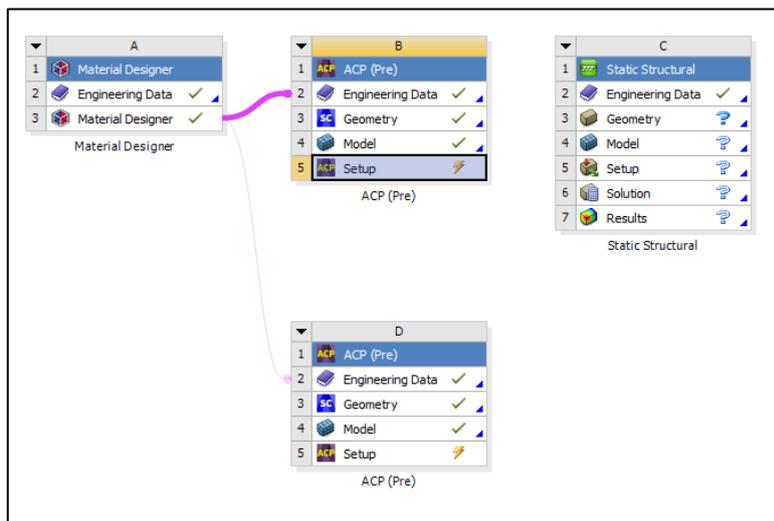


Рис. 24. Промежуточный проект

15. Поочередно зажимаем ЛКМ блок **Setup** (1) в обоих модулях **ACP (Pre)** и перетаскиваем его на блок **Model** (2) в модуле **Static Structural**. После этого появляется окно с двумя вариантами (рис. 25): первый пере-

стит твердотельную модель (есть возможность анализировать каждый слой выбранного сегмента, но 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*.

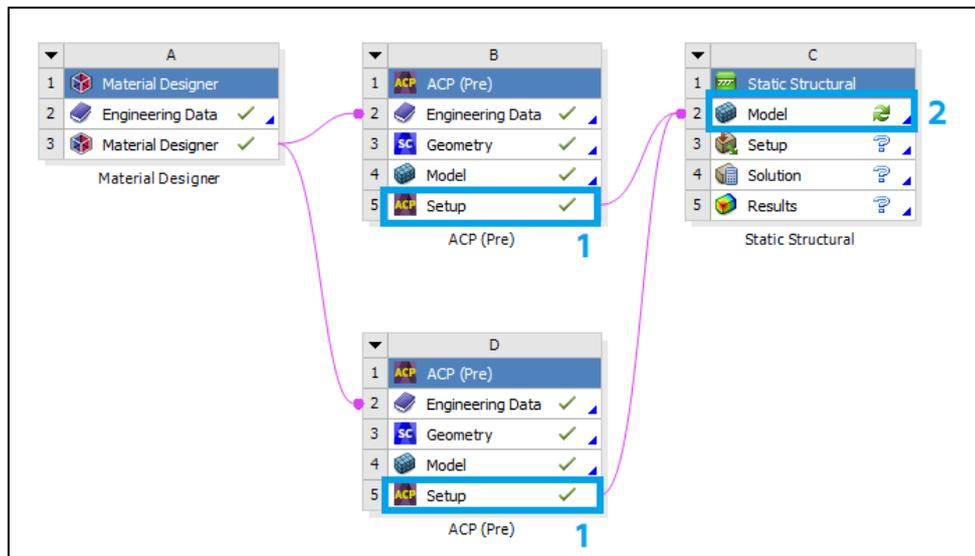


Рис. 25. Импорт данных в Static Structural

16. Приступаем к подготовке и проведению прочностного расчета:

16.1. В окне Workbench дважды нажимаем на *Model* в блоке *Static Structural*. После этого перед нами появится окно, представленное на рис. 26.

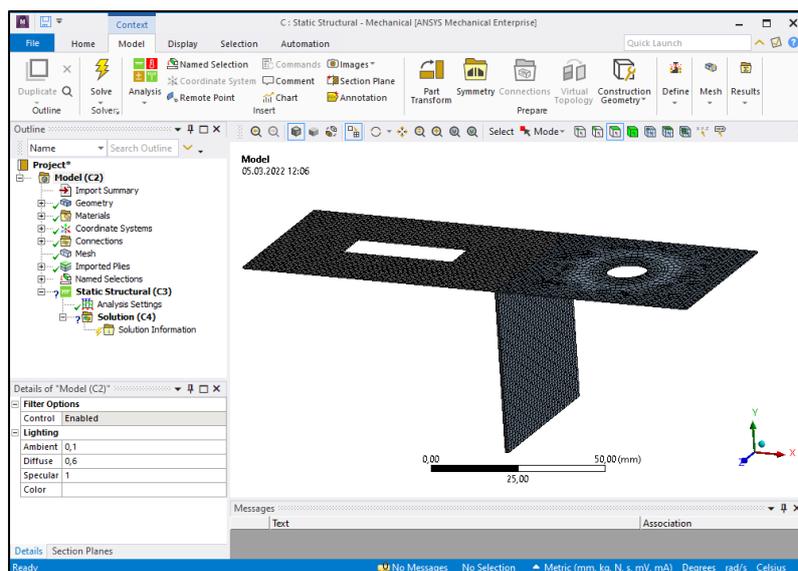
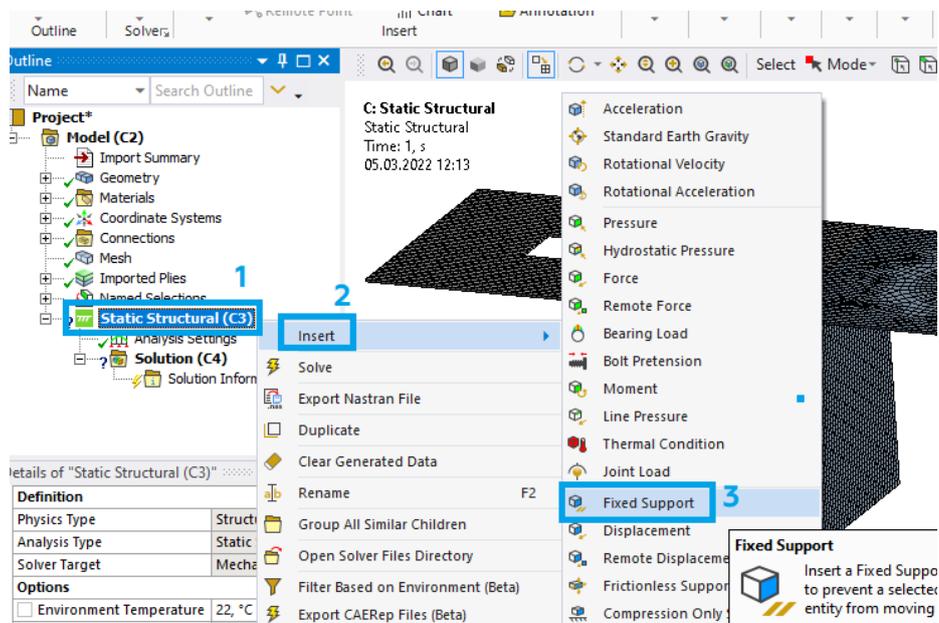


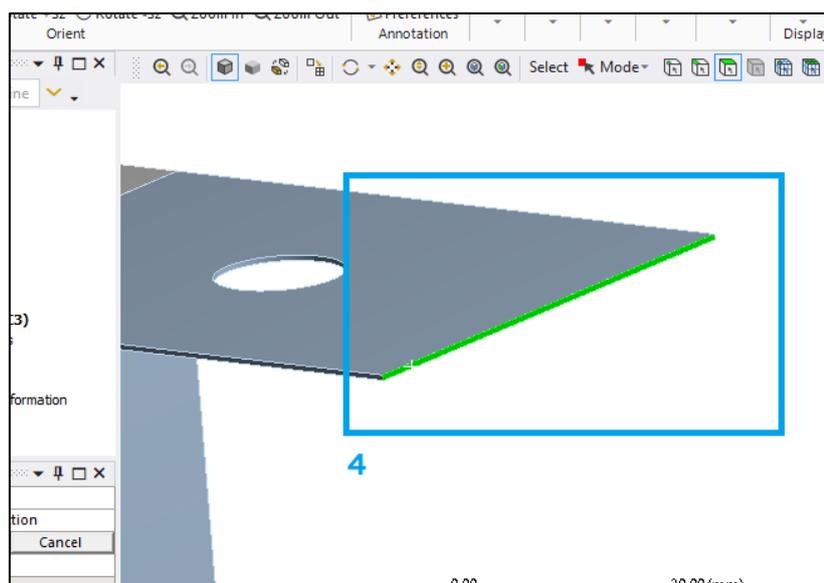
Рис. 26 Окно Mechanical

16.2. Задаем граничные условия:

– чтобы зафиксировать геометрию в пространстве, нажимаем ПКМ на *Static Structural* (1) и выбираем *Insert* (2) – *Fixed Support* (3) (рис. 27, а). После чего, удерживая кнопку *Ctrl*, указываем нужные поверхности (4) и нажимаем *Apply* (5) (рис. 27, б, в);

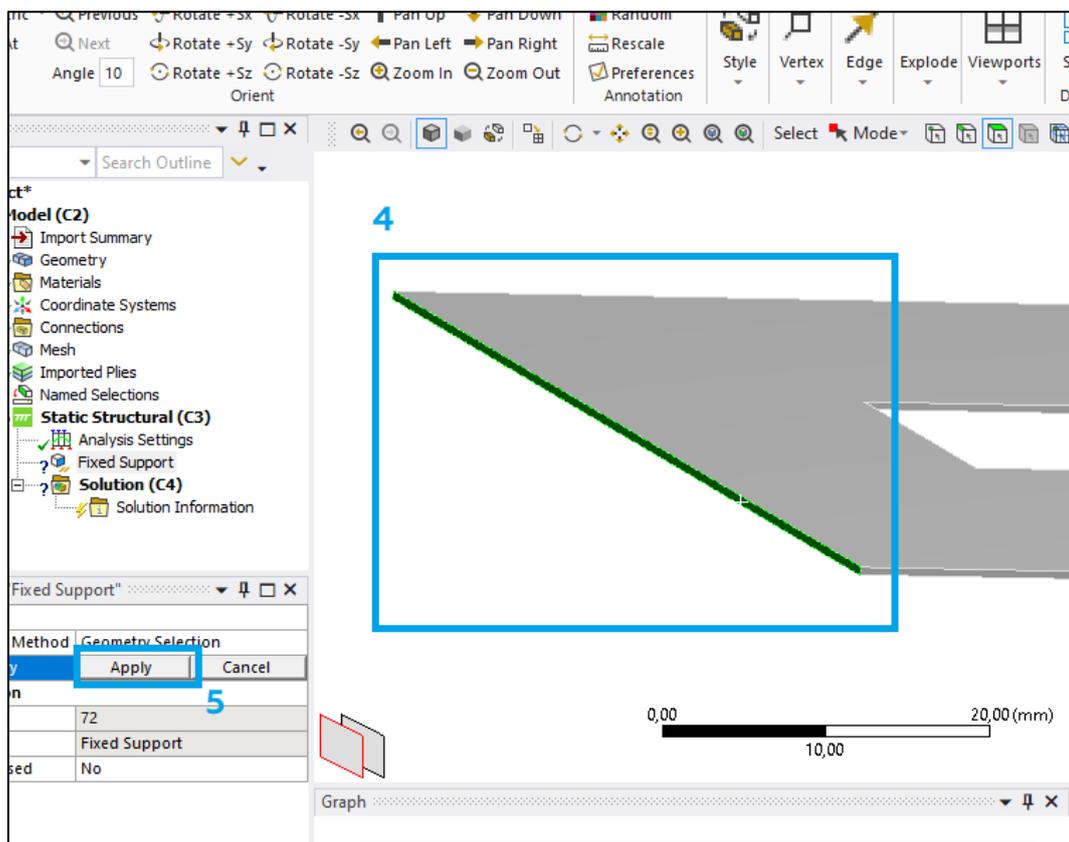


а



б

Рис. 27. Фиксация геометрии в пространстве
(начало)

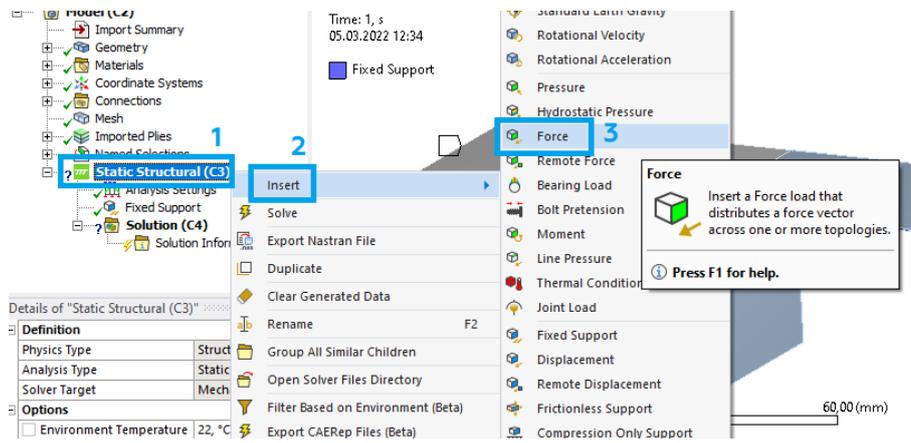


6

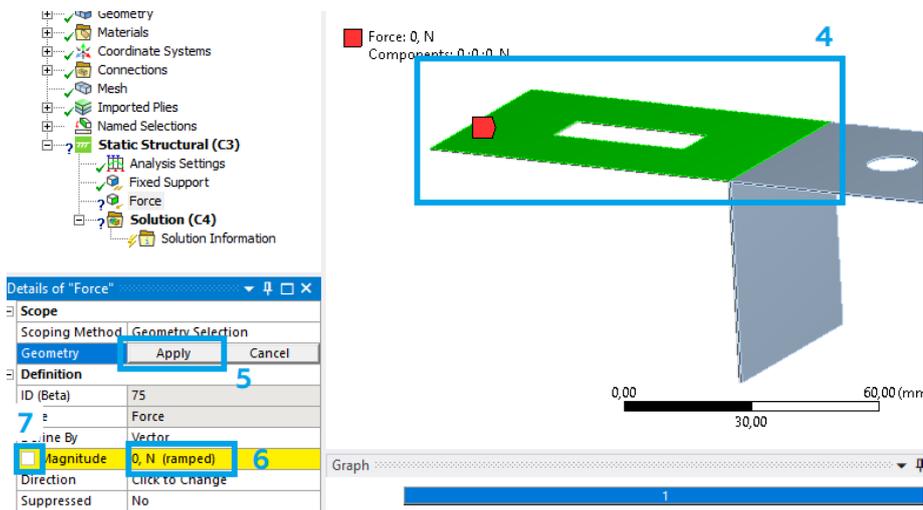
Рис. 27. Фиксация геометрии в пространстве
(окончание)

– чтобы задать силу для первой поверхности, нажимаем ПКМ на **Static Structural** (1) и выбираем **Insert** (2) – **Pressure** (3) (рис. 28, а). После чего указываем нужную поверхность (4), нажимаем **Apply** (5), задаем первое значение силы F_1 (примечание: числовое значение задается через «←» для того, чтобы направить силу вниз) (6) и нажимаем на ячейку параметра (7) (рис. 28, б);

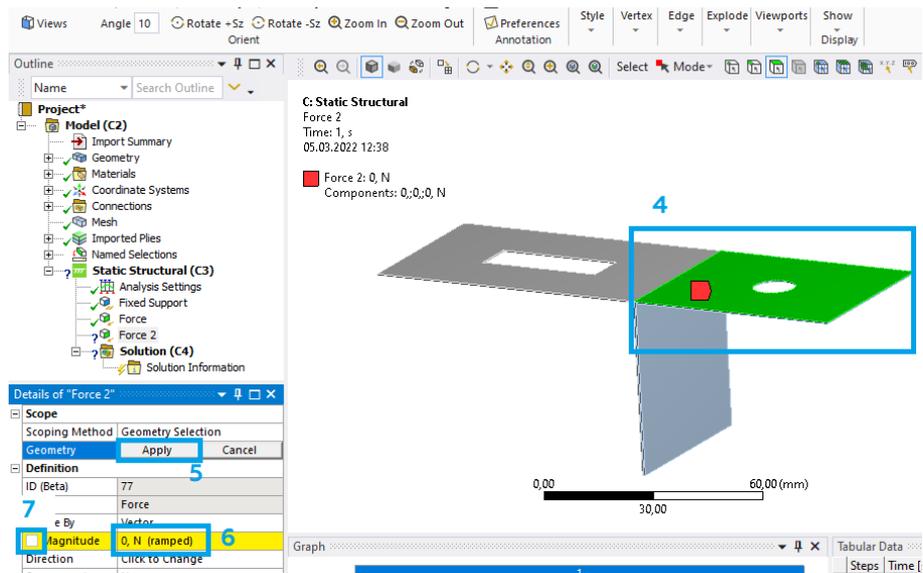
– чтобы задать силу для второй поверхности, нажимаем ПКМ на **Static Structural** (1) и выбираем **Insert** (2) – **Pressure** (3) (рис. 28, а). После чего указываем нужную поверхность (4), нажимаем **Apply** (5), задаем первое значение силы F_2 (примечание: числовое значение задается через «←» для того, чтобы направить силу вниз) (6) и нажимаем на ячейку параметра (7) (рис. 28, в).



a



b



b

Рис. 28. Подвод силы

16.3. Выбираем параметры, для этого:

– нажимаем ПКМ на *Solution*, выбираем *Insert – Deformation – Total*;
– нажимаем ПКМ на *Solution*, выбираем *Insert – Stress – Equivalent (von-Mises)*. После чего нажимаем на желтую область напротив *Ply* (1) и указываем первую модельную группу (2) (рис. 29), затем нажимаем *Apply*;

– нажимаем ПКМ на *Solution*, выбираем *Insert – Stress – Equivalent (von-Mises)*. После чего нажимаем на желтую область напротив *Ply* (1) и указываем вторую модельную группу (2) (рис. 29), затем нажимаем *Apply*;

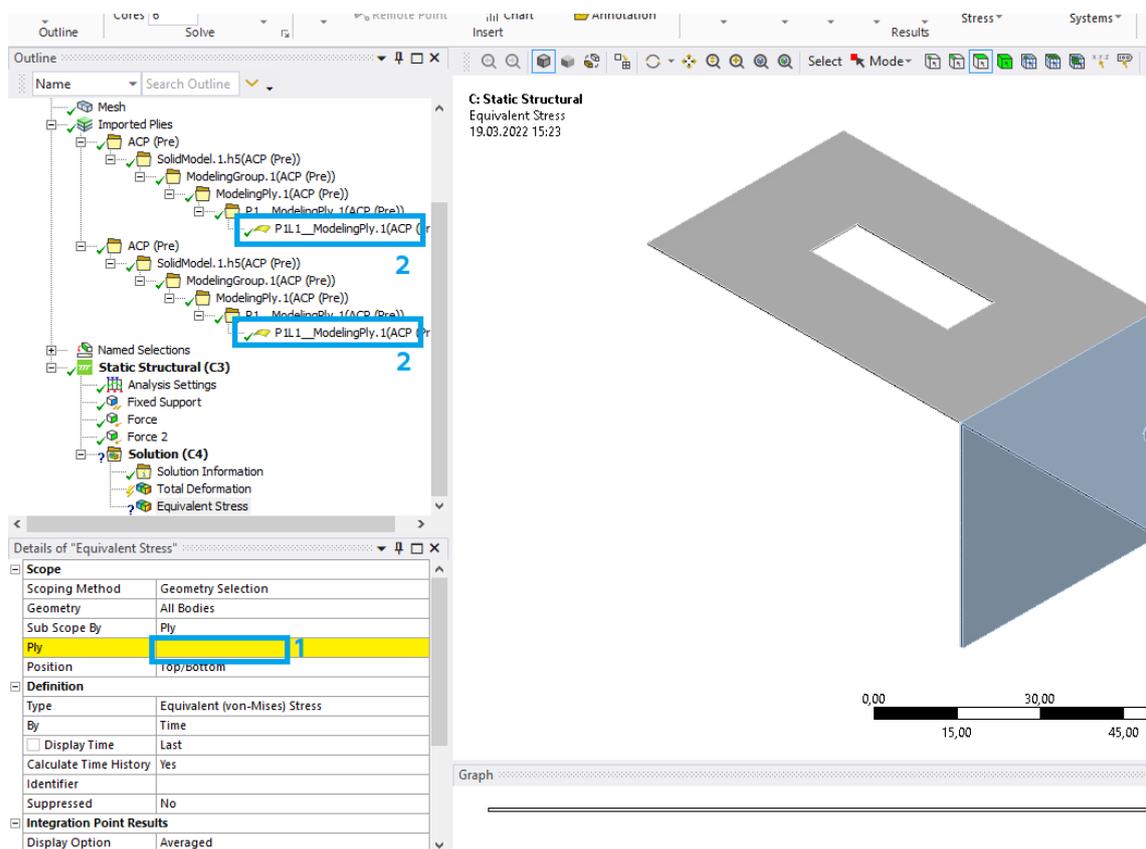


Рис. 29. Выбор модельных групп

– поочередно переходим в *Total Deformation* и оба параметра *Equivalent Stress* (1) и нажимаем на ячейку параметра напротив максимального значения (2) (рис. 30).

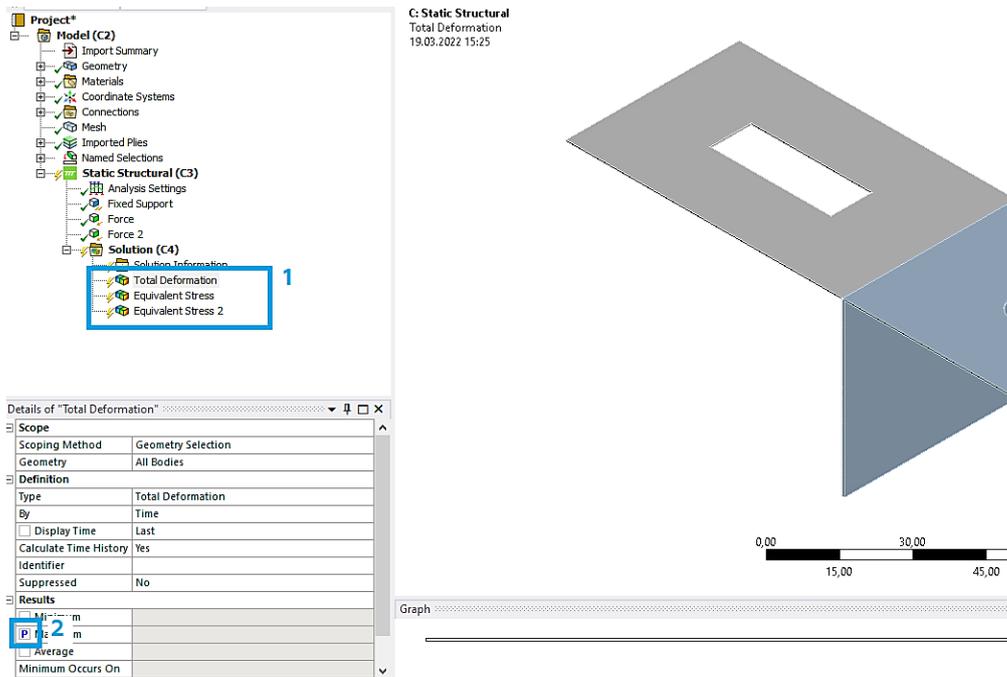


Рис. 30. Включение параметра

16.4. Указываем интервалы рассчитываемых сил:

– сворачиваем окно *Mechanical* и дважды нажимаем ЛКМ на ячейку *Parameter set (1)* (рис. 31);

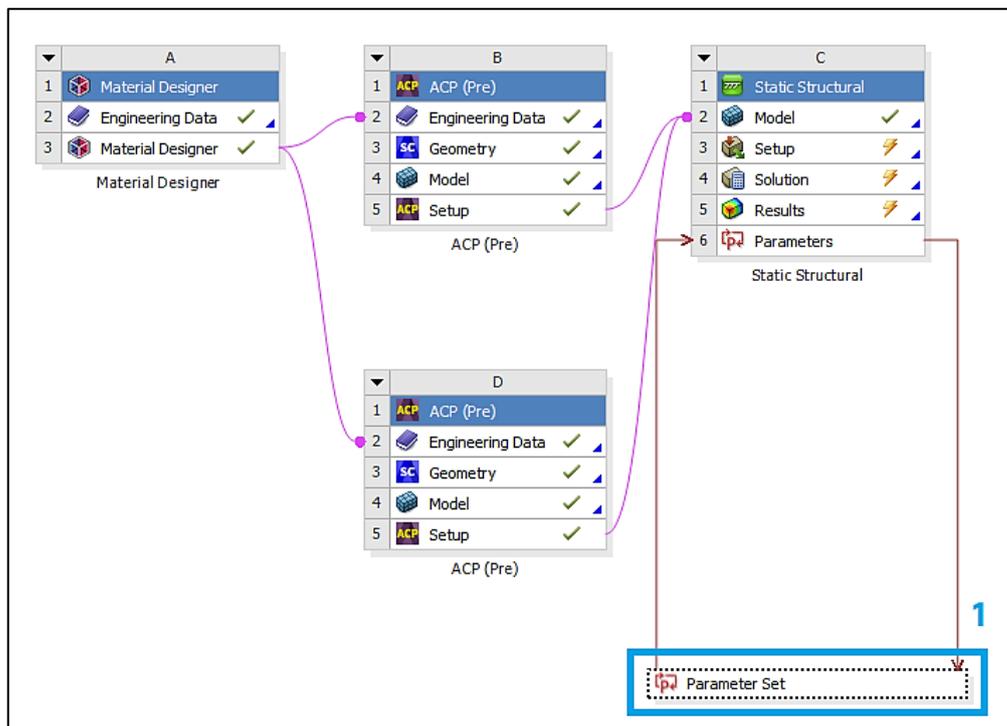


Рис. 31. Переход в набор параметров

– задаем силы (пять значений, каждое на 5Н больше предыдущего) (2) и запускаем расчет *Update All Design Points* (3) (рис. 32). В открывшемся окне нажимаем *Yes*;

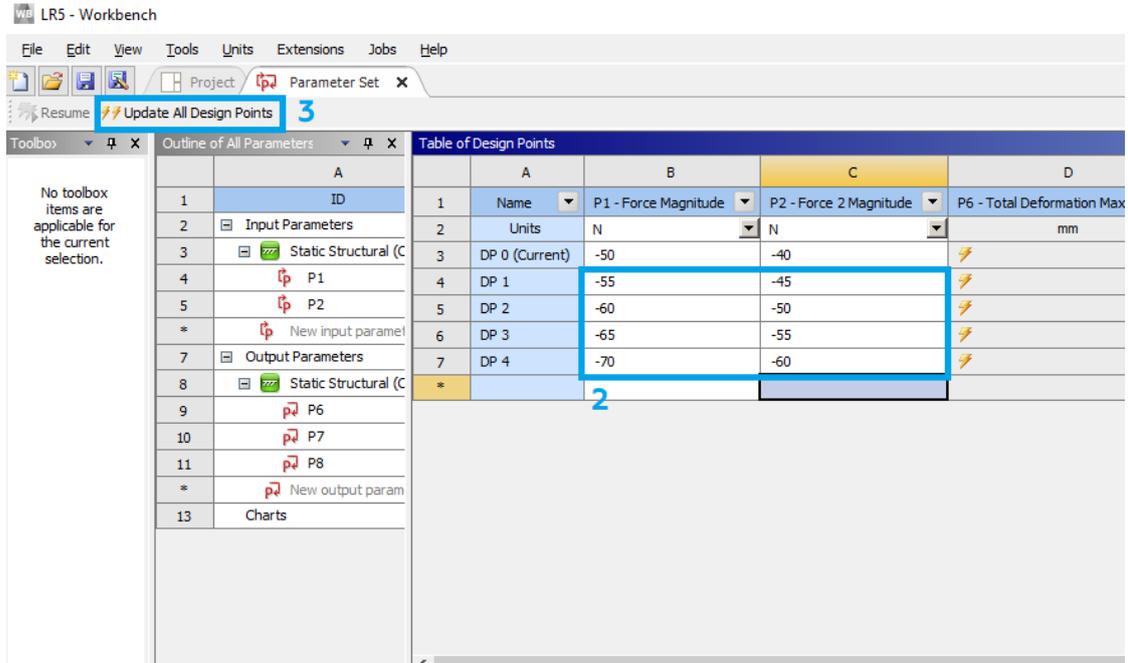
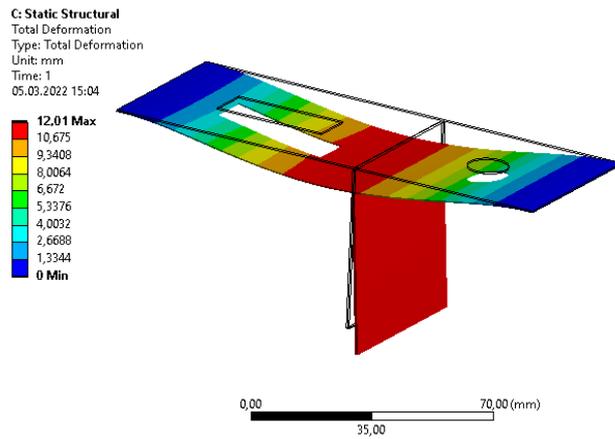


Рис. 32. Задаем силы

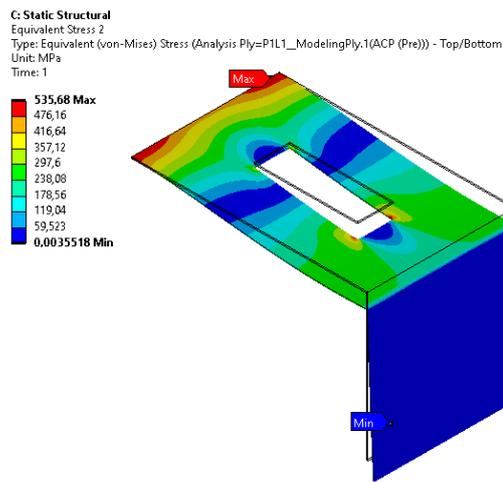
– после того как расчет будет закончен переписываем полученные значения в таблицу (рис. 33) и собираем скриншоты результатов (рис. 34).

	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1 - Force Magnitude	P2 - Force 2 Magnitude	P3 - Equivalent Stress Maximum	P4 - Equivalent Stress 2 Maximum	P5 - Total Deformation Maximum
2	Units	N	N	MPa	MPa	mm
3	DP 0 (Current)	-50	-40	516,72	535,68	8,1482
4	DP 1	-55	-45	575,94	592,22	9,0314
5	DP 2	-60	-50	635,17	649,05	9,9147
6	DP 3	-65	-55	694,4	705,89	10,798
7	DP 4	-70	-60	753,62	762,72	11,682
*						

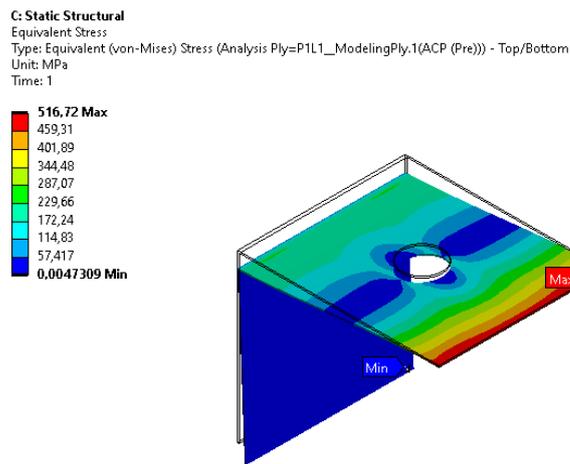
Рис. 33. Результаты расчета в Parameter set



a



б



в

Рис. 34. Результаты расчета:
a – полное перемещение; *б* – эквивалентное напряжение первой модели;
в – эквивалентное напряжение второй модели

17. 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, создаем 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, ACP (Pre) – Geometry, ACP (Pre) – Model, ACP (Pre) – Setup, Mechanical – граничные условия, Parameter set – результаты; Mechanical – результаты, таблица по основе данных из Parameter set).
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое сеточная модель?
2. Краткая характеристика CAE-систем. Примеры.
3. Для чего нужен Material Designer?
4. В каком блоке происходит настройка сеточной модели?
5. Как создавать связь между модулями?
6. Для чего нужна операция Fixed Support?
7. Для чего используется инструмент Parameters?
8. Основные этапы выполнения работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем практикуме приведены пять лабораторных работ, которые могут быть использованы при изучении 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» для студентов, обучающихся по направлениям 28.03.02 «Наноинженерия», 15.03.02, 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» и 16.03.03, 16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

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

Студент в ходе выполнения лабораторных работ может продемонстрировать свой уровень квалификационной подготовки и наиболее глубоко изучить теорию на примере: статического прочностного анализа пластины из композиционных материалов; динамического прочностного анализа оболочки из композиционных материалов; теплового анализа оболочки из композиционных материалов; проведения комбинированного анализа оболочки из композиционных материалов; использования инструмента Parameters при моделировании деформации оболочки из композиционных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калашников, А. М. Моделирование и анализ объектов с контролируемой микроструктурой композитных конструкционных материалов [Электронный ресурс] : практикум : в 2 ч. / А. М. Калашников. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2021. – ISBN 978-5-8149-3371-3. – Ч. 1 : Компьютерное моделирование. – 2021. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-5-8149-3372-0.

2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. для вузов / А. Г. Касаткин. – 10-е изд., стер., дораб. – Москва : ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

3. Логинов, А. В. Процессы и аппараты химических и пищевых производств : пособие по проектированию / А. В. Логинов, Н. М. Подгорнова, И. Н. Болгова. – Воронеж : ВГТА, 2003. – 264 с.

4. Калашников, А. М. Моделирование и анализ компрессорного и теплообменного оборудования с применением компьютерных технологий [Электронный ресурс] : практикум : в 2 ч. / А. М. Калашников. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – ISBN 978-5-8149-2533-6. – Ч. 1 : Трехмерное моделирование. – 2017. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-5-8149-2534-3.

5. Калашников, А. М. Моделирование и анализ компрессорного и теплообменного оборудования с применением компьютерных технологий [Электронный ресурс] : практикум : в 2 ч. / А. М. Калашников. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – ISBN 978-5-8149-2533-6. – Ч. 2 : Компьютерные технологии в инженерном анализе. – 2017. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – 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 №4
на тему: «ПРОВЕДЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО АНАЛИЗА
ОБОЛОЧКИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Вариант 1

Выполнил: ст. гр. НИ-191
Иванов И. И.
Проверил: ст. пр. каф. ХКТТ
Калашников А. М.

Омск, 2022

Цель работы:

Изучение основных этапов проведения комбинированного анализа в среде ANSYS Workbench. Приобретение студентами навыков в использовании программного инструмента ANSYS Workbench – Steady-State Thermal и Static Structural при проведении комбинированного теплового и прочностного анализа оболочки из композиционных материалов, созданных с помощью Material Designer и ACP (Pre).

Описание работы:

Используя модули Material Designer, ACP (Pre), Steady-State Thermal и Static Structural необходимо рассчитать: распределение температуры по оболочке (Thermal), полное перемещение (Total Deformation) и эквивалентные напряжения (Equivalent Stress) из композиционных материалов (рис. 1). Известны: тип объемного элемента, участки с температурой T_1 , T_2 , давлением P и жесткой заделкой (табл. 1).

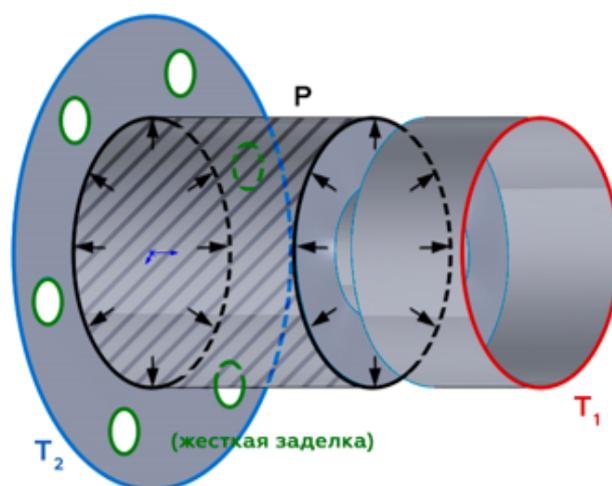


Рис. 1. Исходная схема

Табл. 1. Исходные данные

Вариант	Номер схемы	Тип объемного элемента	T_1 , °C	T_2 , °C	P , кПа
1	1	Сферическая	50	10	10

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Запустим *ANSYS Workbench* и добавляем несколько модулей: *Material Designer*, *ACP (Pre)*, *Steady-State Thermal* и *Static Structural*.

2. Подготовим материал волокна и наполнителя:

2.1. Дважды нажимаем ЛКМ на блок *Engineering Data*, после чего жмем на *Engineering Data Sources*. Выбираем библиотеку *Composite Materials* и подключаем материалы волокна – *Carbon Fiber (290 GPa)* и наполнителя – *Epoxy E-Glass UD*. Нажимаем на *Engineering Data Sources* еще раз, чтобы вернуться к используемым в проекте материалам.

2.2. Добавим коэффициент теплового расширения и теплопроводности для наполнителя и волокна:

– Для волокна коэффициент теплового расширения *Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion* будет равен $1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, а коэффициент теплопроводности *Isotropic Thermal Conductivity* будет равен $0,03 \text{ Вт/(м} \cdot \text{}^\circ\text{C)}$.

– Для наполнителя коэффициент теплового расширения *Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion* будет равен $5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, а коэффициент теплопроводности *Isotropic Thermal Conductivity* будет равен $0,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{}^\circ\text{C)}$.

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

4. В верхней панели инструментов выбираем тип объемного элемента модифицированной микроструктуры 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

Результаты:

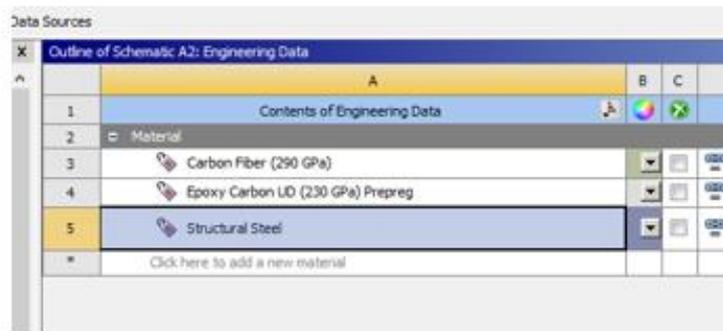


Рис. 2. Выбор материалов

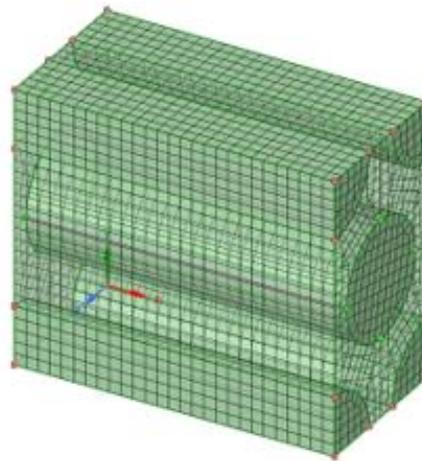


Рис. 3. Создание сетки объемного элемента

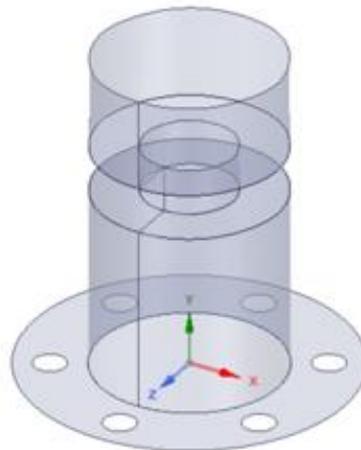


Рис. 4. Импорт 3D-модели

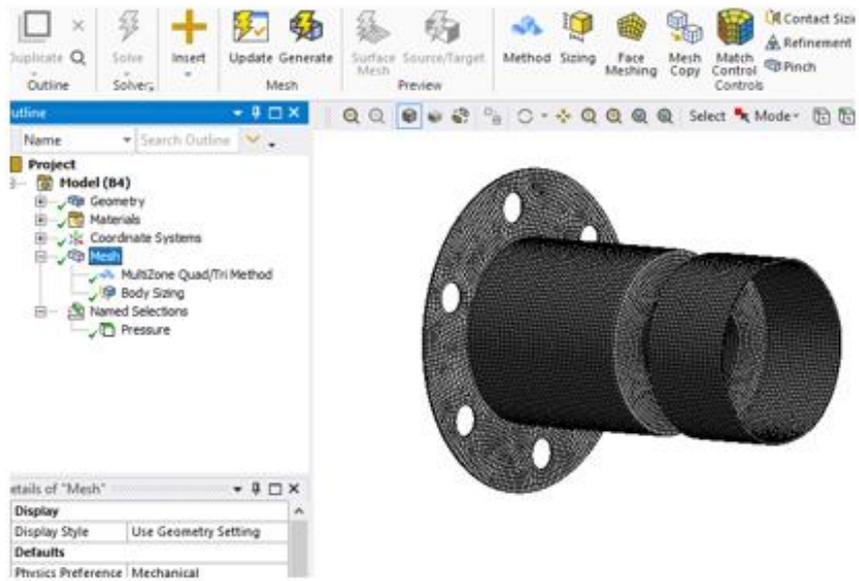


Рис. 5. Окно Model

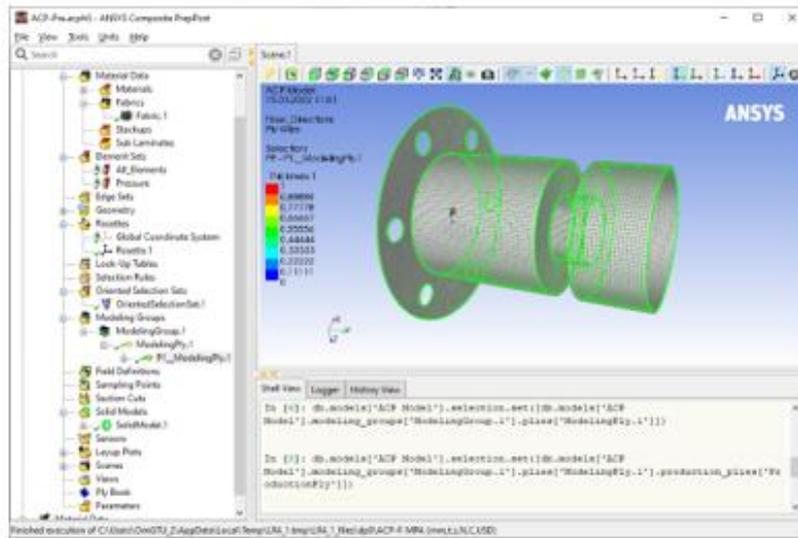


Рис. 6. Окно Setup

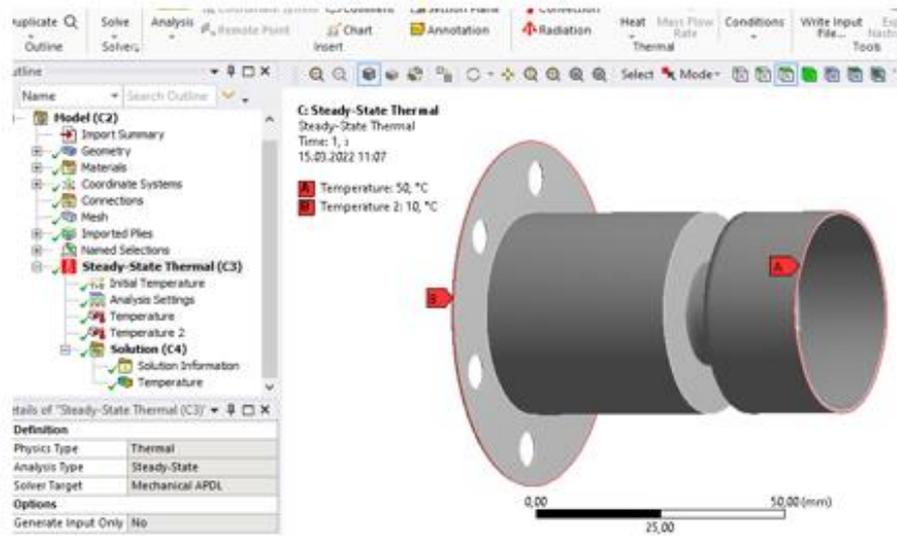


Рис. 7. Граничные условия теплового расчета

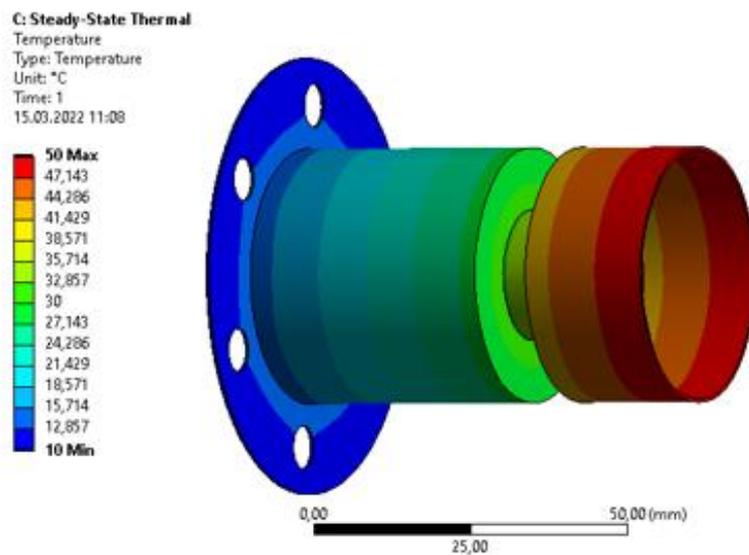


Рис. 8. Температура

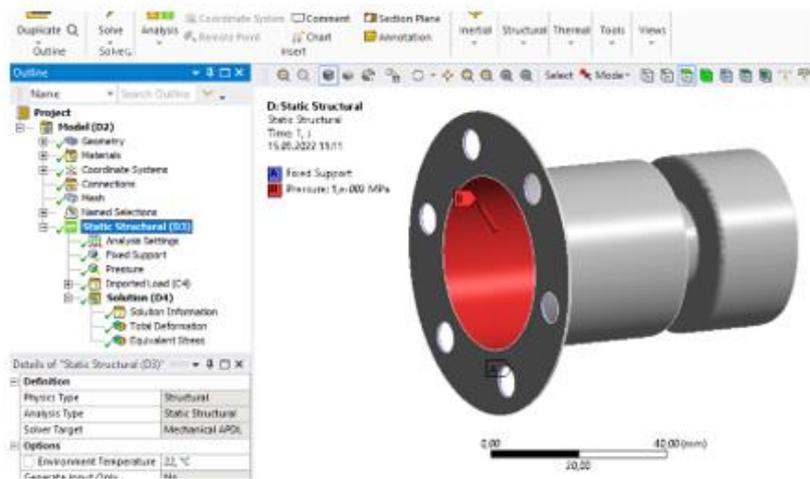


Рис. 9. Граничные условия прочностного расчета

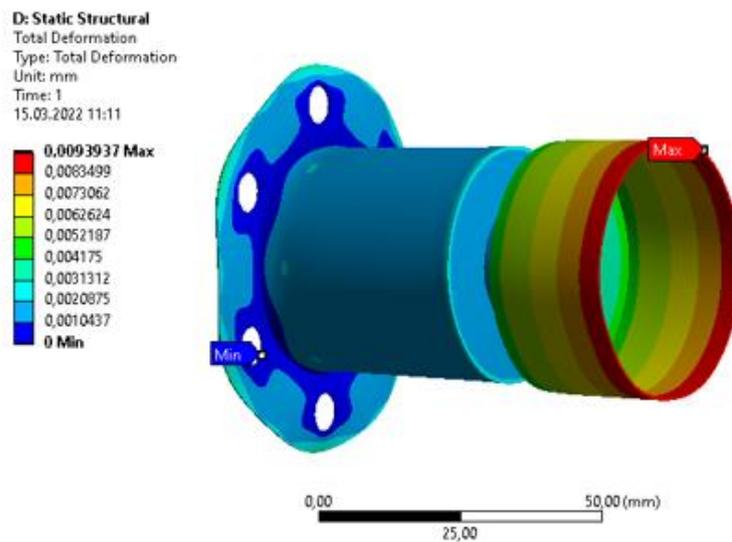


Рис. 10. Полное перемещение

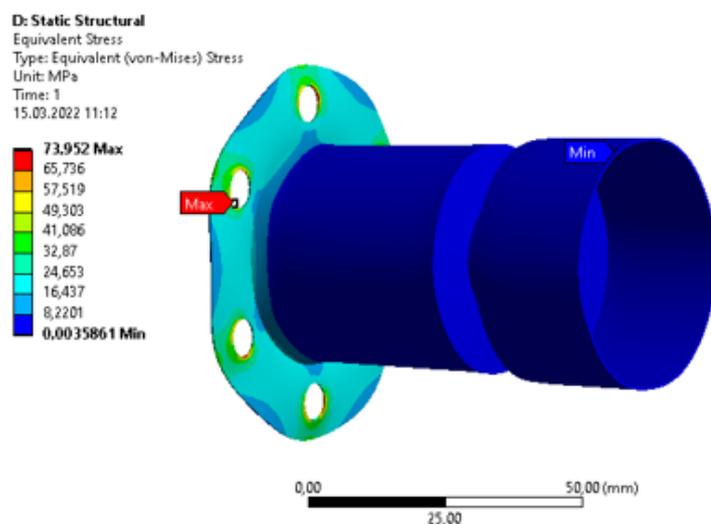


Рис. 11. Эквивалентные напряжения

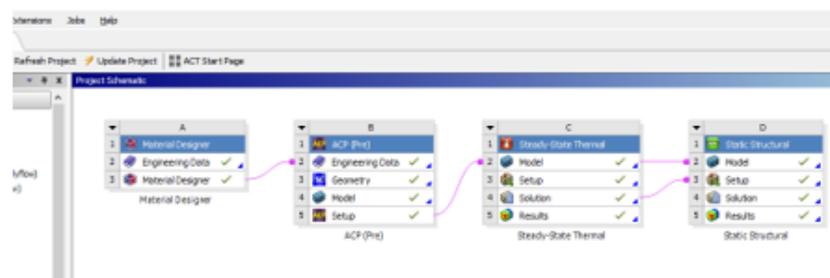


Рис. 12. Окно ANSYS Workbench

Вывод: Изучены основные этапы проведения комбинированного анализа в среде ANSYS Workbench. Приобретены навыки использования программного инструмента ANSYS Workbench – Steady-State Thermal и Static Structural при проведении комбинированного теплового и прочностного анализа оболочки из композиционных материалов, созданных с помощью Material Designer и ACP (Pre).

В результате выполнения лабораторной работы были получены следующие изображения: выбор материалов; создание элементарной ячейки; импорт 3D-модели; окно Model; окно Setup; граничные условия теплового расчета; распределение температуры; граничные условия прочностного расчета; полное перемещение и эквивалентные напряжения.

В результаты вышленых расчетов были полученные следующие интервалы
искомых характеристик:

- 1) температура: $10 - 50$ [°C];
- 2) полное перемещение: $0 - 0,00939$ [мм];
- 3) эквивалентное напряжение: $0,003586 - 73,952$ [МПа].