



*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования*

«Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана»
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Проектирование элементов колесных машин из композиционных материалов

Лекция 6 (Семинар)

«Особенности расчета элементов колесных машин из композиционных материалов с использованием метода конечных элементов»

Составил доцент кафедры «Колесные машины», к.т.н.

Карташов Александр Борисович



Трехслойные конструкции

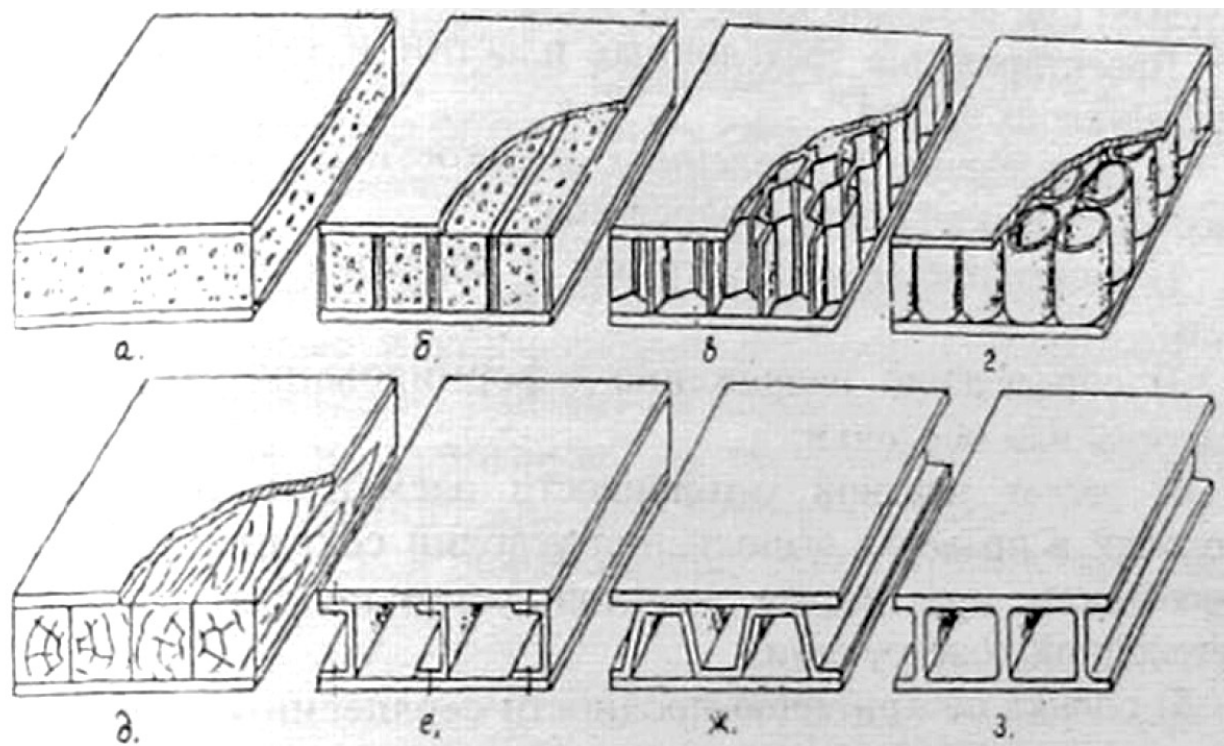


Рисунок 1 – Трехслойные панели с различными заполнителями (срединными слоями): а - с пенопластом; б – армированным пенопластом; в – с шестигранными сотами; г - с трубчатой сердцевиной: д - с деревянными брусками; е - со связями С-образного или другого профиля, ж – с гофрами; з – с ячейками



Свойства трехслойных панелей

Трехслойные панели с разнесенными внешними слоями обладают при небольшой массе высокими характеристиками прочности и жесткости, а также высокой усталостной прочностью данной непрерывностью связей составных частей и отсутствием концентраторов напряжений. При надлежащем выборе трехслойной панели тонкие, работающие на сжатие или сдвиг, внешние слои могут выдерживать высокие напряжения. Кроме того, трехслойные панели обладают хорошими виброизоляционными и радиотехническими характеристиками, а также звуко- и теплоизоляционными свойствами.



Применение трехслойных панелей в кузовах автомобилей

Трехслойные панели широко применяются в гоночных автомобилях и в настоящее время находят все большее применение в дорожных автомобилях.



Porsche 918 Spyder

Lotus F1



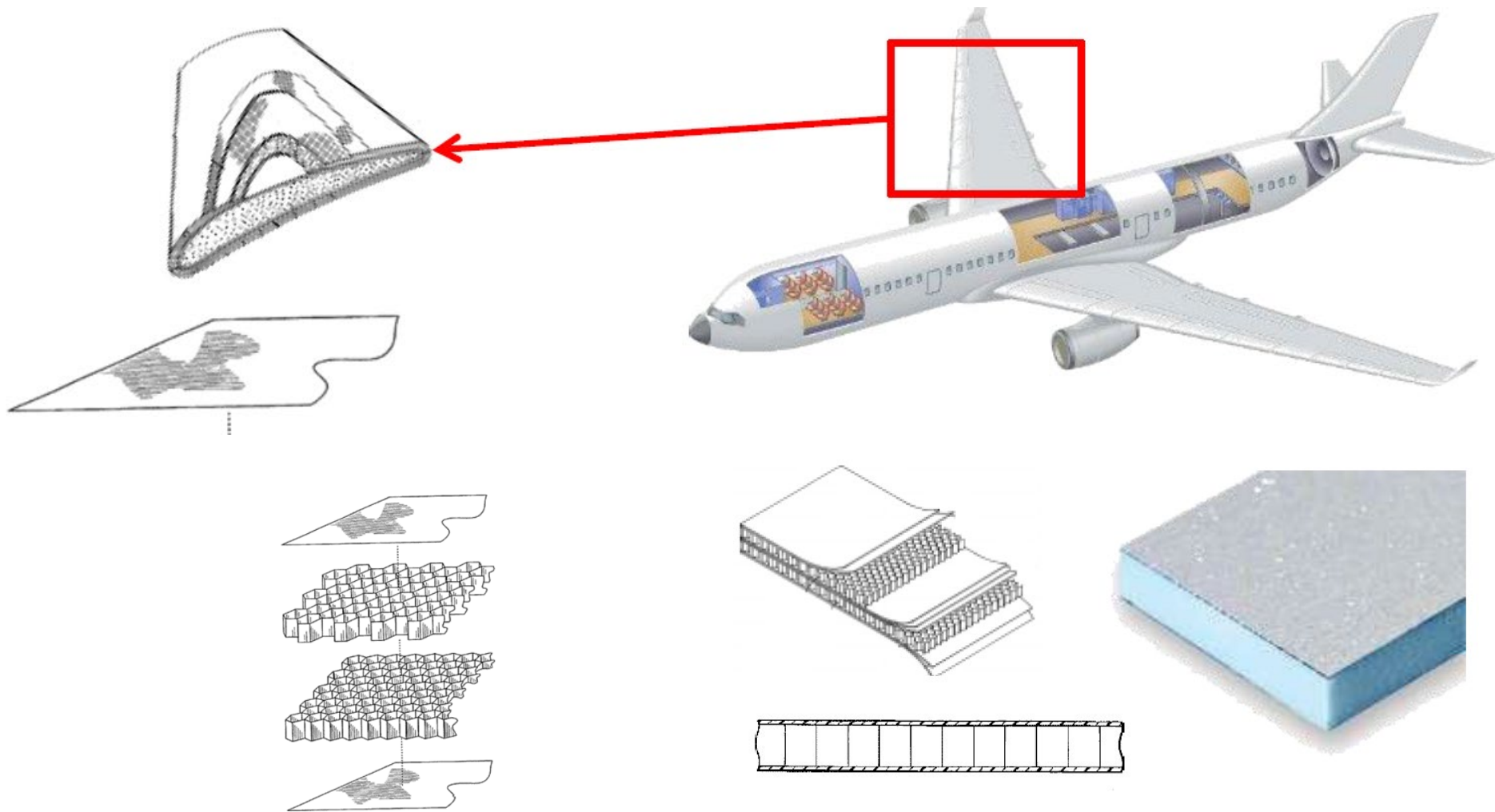


Применение трехслойных панелей в кузовах колесных машин



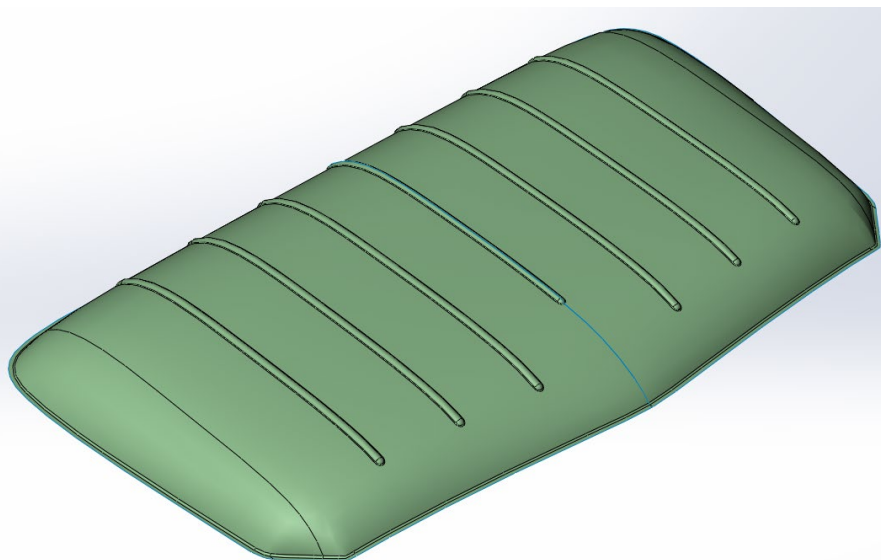


Применение трехслойных панелей в авиакосмической промышленности

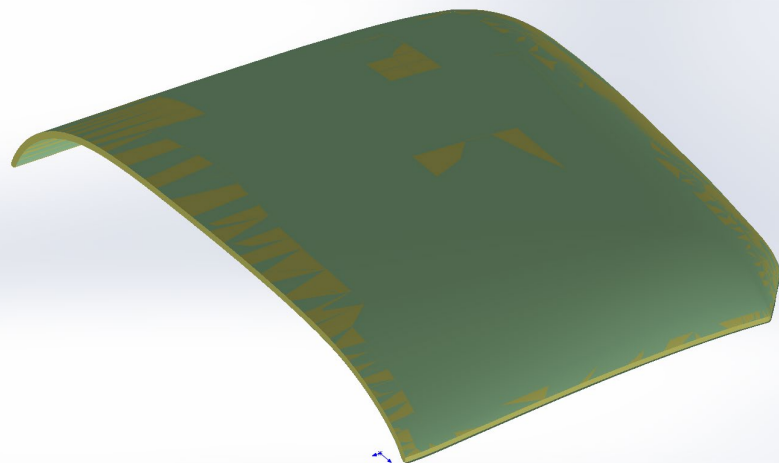
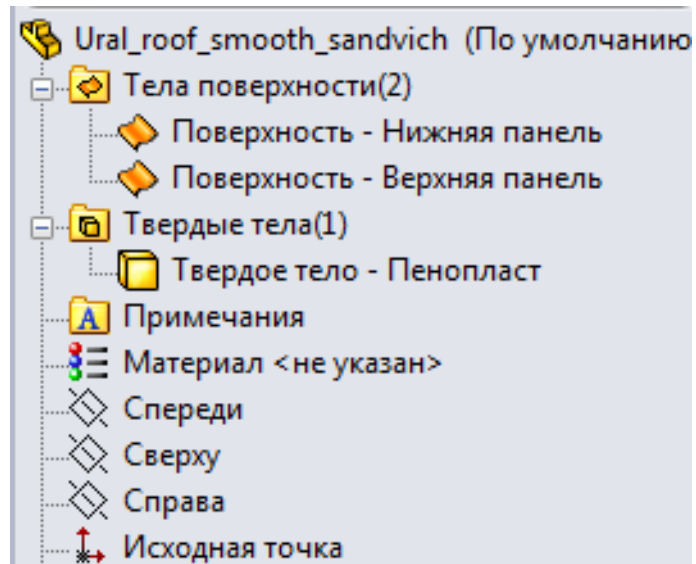




Крыша автомобиля из трехслойных панелей



Расчетная 3D модель





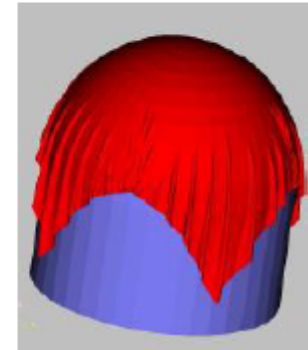
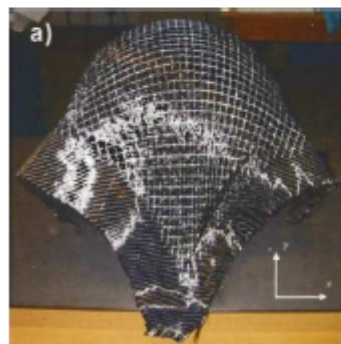
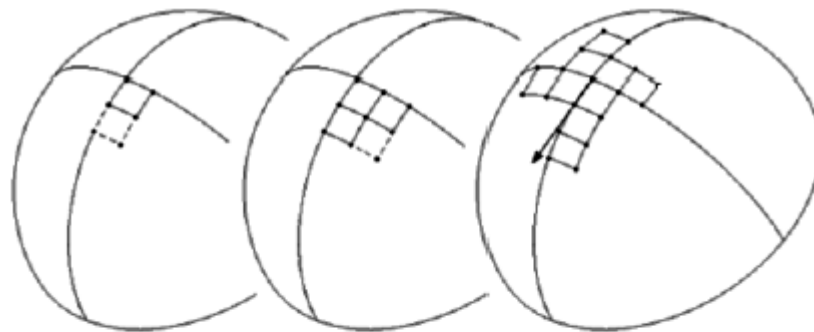
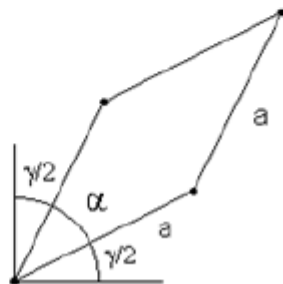
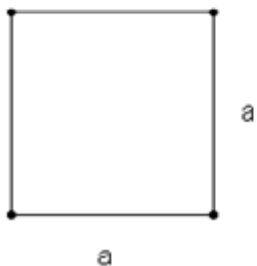
Учет деформации ткани при укладке (draping)

Энергетический алгоритм

$$\min E = \frac{1}{2} G \gamma^2$$

$$\gamma \approx \cos \alpha$$

$$\min E' = \sum_{i=1}^4 \cos^2 \alpha_i$$





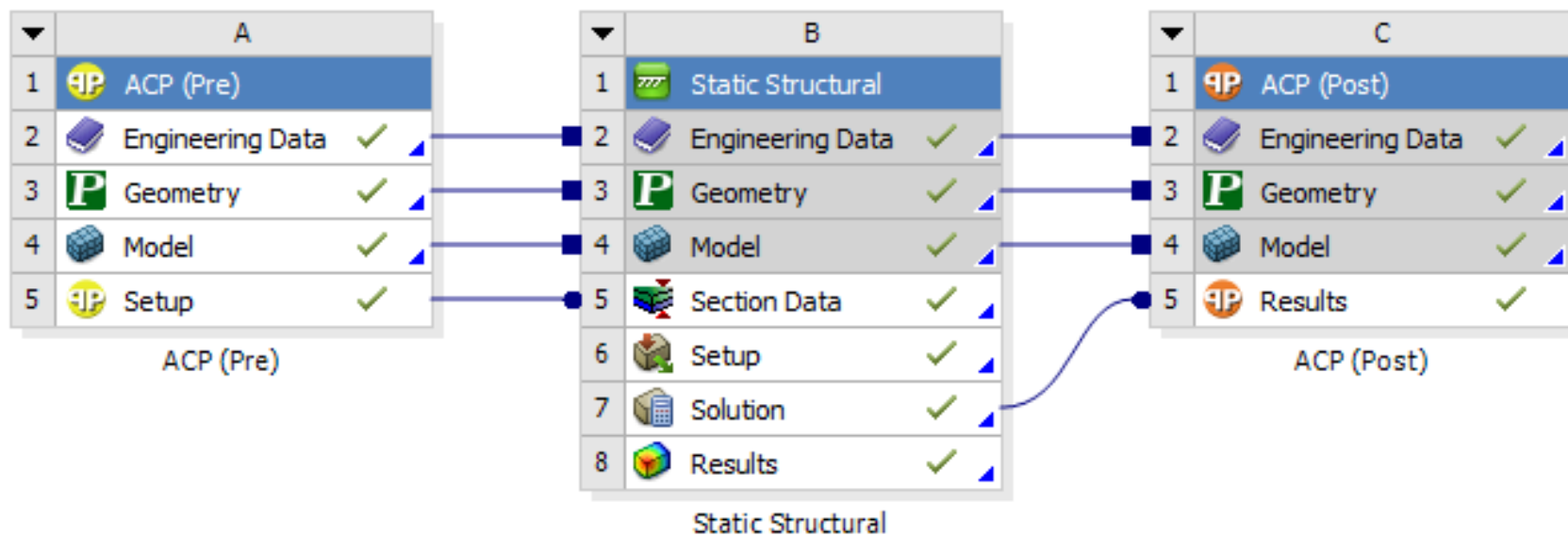
Расчет трехслойной панели

1. Расчет трехслойной панели



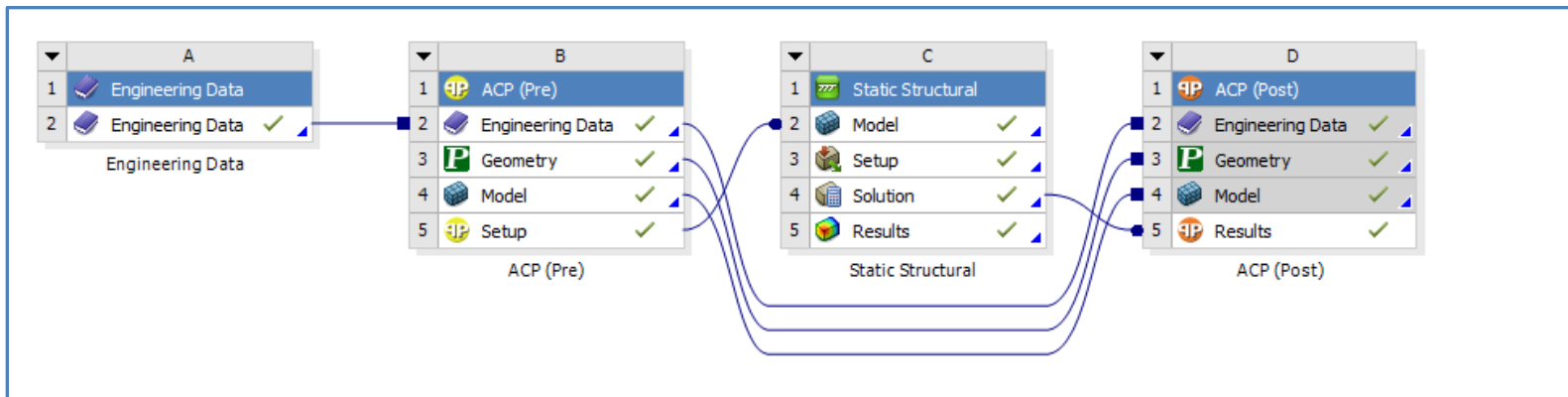
Структура расчета (старая)

Project Schematic





Новая структура расчета в Ansys



Для получения такой структуры рассмотрим последовательность создания блоков расчета далее





Вставляем первые блоки

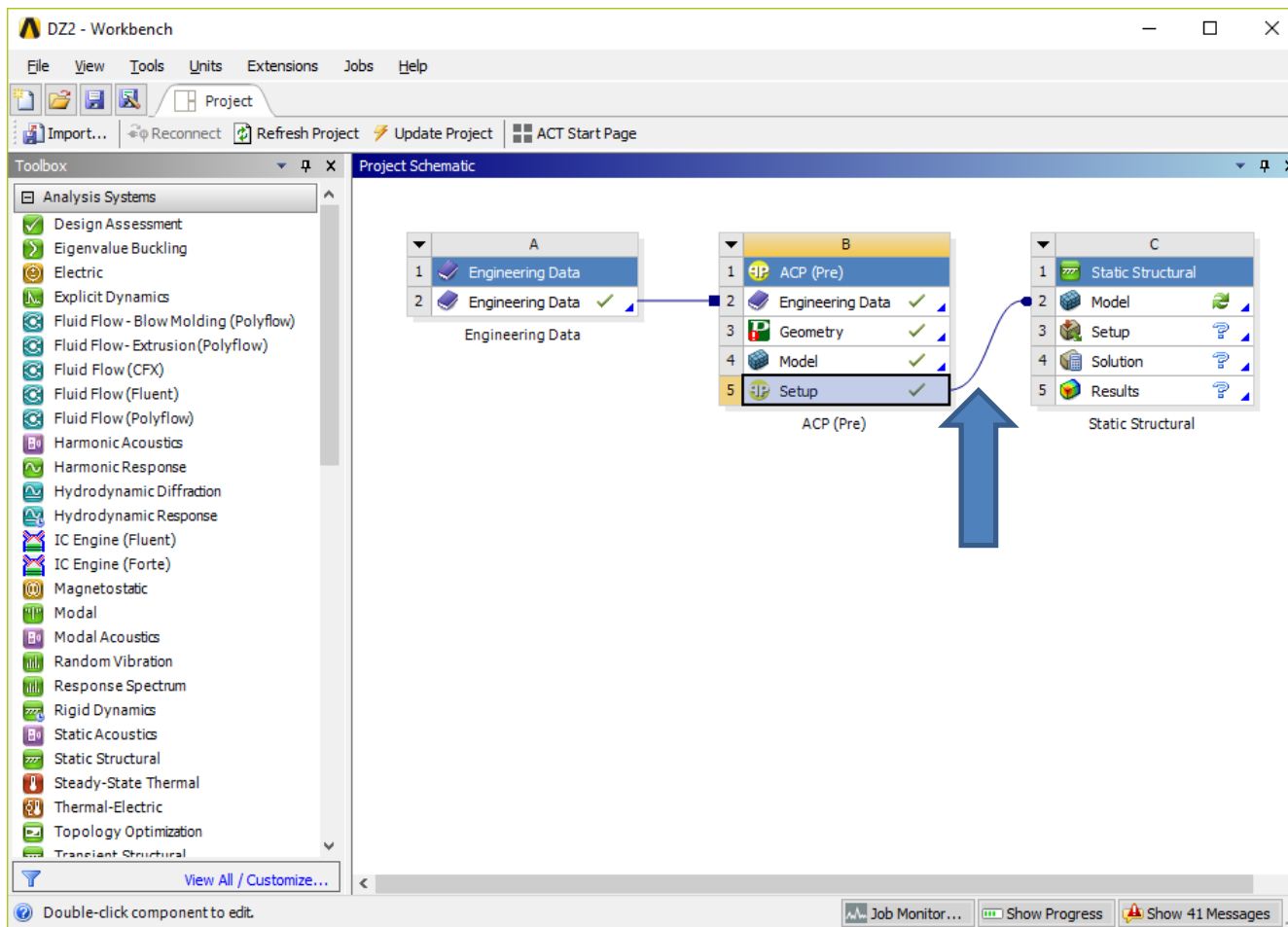
1. Вставляем блок «Static Structural» без связей

The screenshot displays the ANSYS Workbench software interface. The main window is titled "DZ2 - Workbench" and shows the "Project Schematic" view. The schematic contains three analysis systems: A, B, and C. System A is labeled "Engineering Data" and contains two "Engineering Data" blocks. System B is labeled "ACP (Pre)" and contains five blocks: "ACP (Pre)", "Engineering Data", "Geometry", "Model", and "Setup". System C is labeled "Static Structural" and contains seven blocks: "Static Structural", "Engineering Data", "Geometry", "Model", "Setup", "Solution", and "Results". A blue arrow points from the "Engineering Data" block in system A to the "ACP (Pre)" block in system B. The "Static Structural" block in system C is highlighted with a yellow border. The Toolbox on the left lists various analysis systems, with "Static Structural" selected. The bottom status bar shows "Double-click component to edit." and "Show 41 Messages".



Загружаем модель в Static Structural

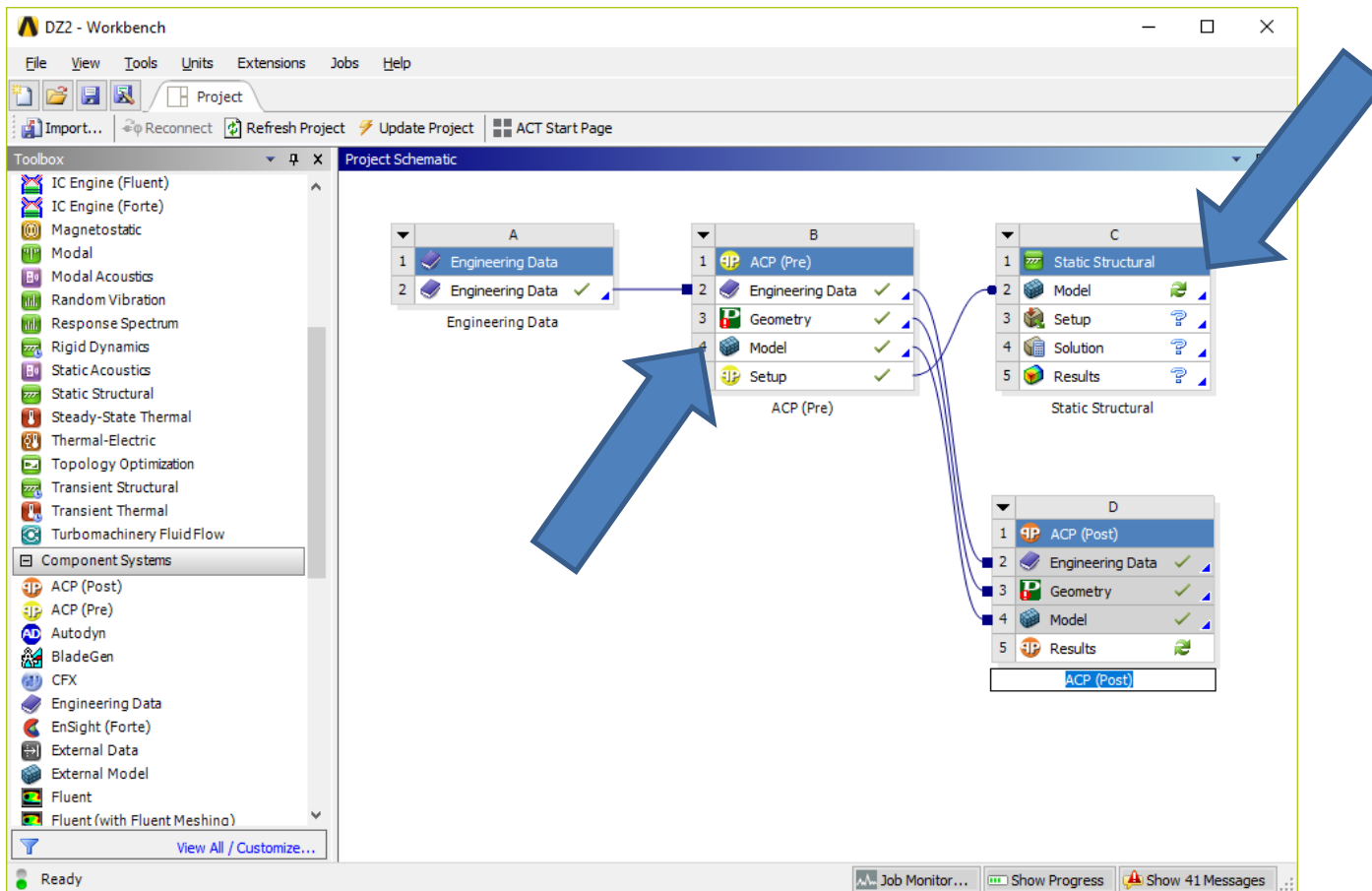
2. Перетаскиваем поле «Setup» ACP на поле «Model» Static Structural»





Добавляем блок АСР (Post)

3. Перетаскиваем новый блок АСР (Post) на поле «Model» АСР (Pre), а поле Setup АСР (Pre) на поле Model Static Structural





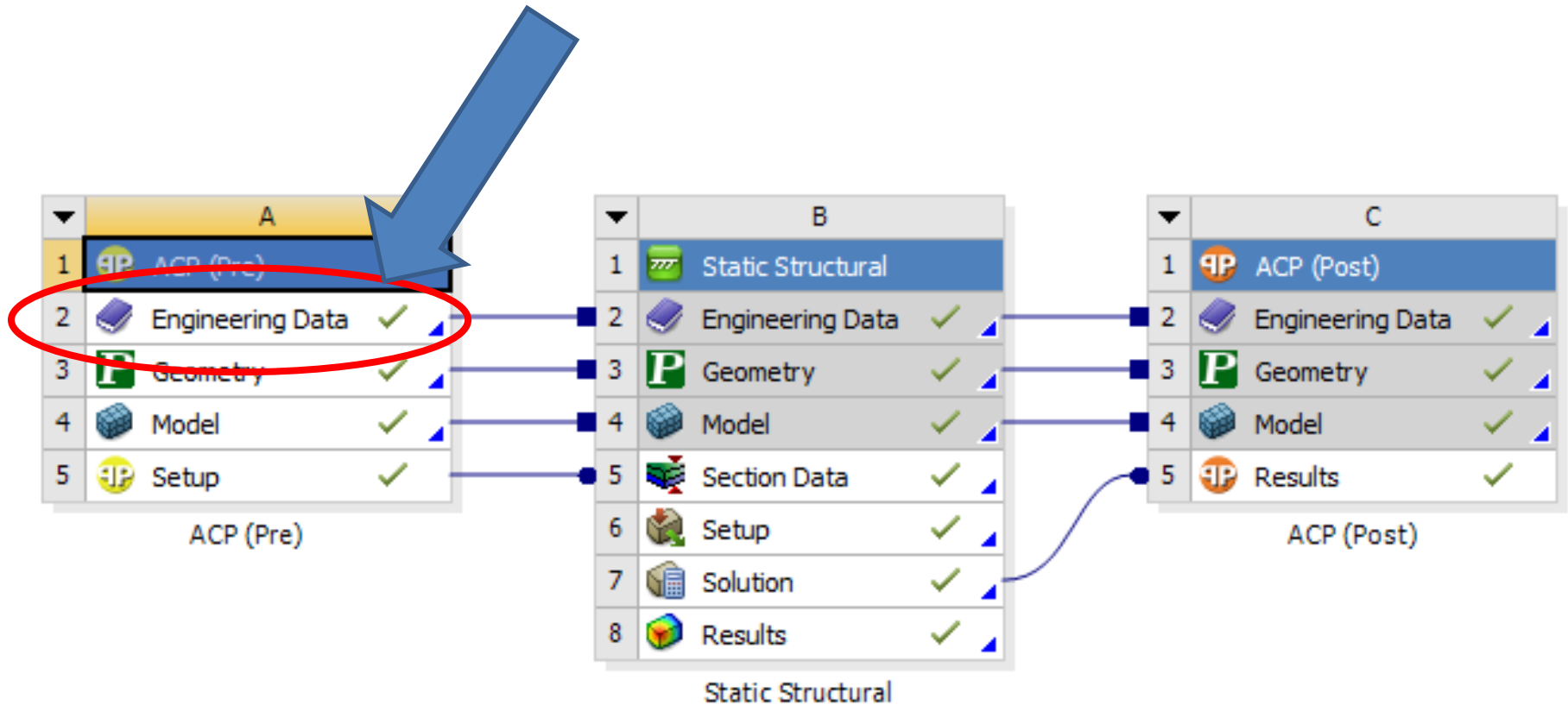
«Считываем» результаты

4. Перетаскиваем поле «Solution» Static Structural на поле «Result» ACP (Post)

The screenshot displays the ANSYS Workbench interface for a project named 'DZ2 - Workbench'. The 'Project Schematic' area shows four components: A, B, C, and D. Component A is 'Engineering Data'. Component B is 'ACP (Pre)' and contains 'Engineering Data', 'Geometry', 'Model', and 'Setup'. Component C is 'Static Structural' and contains 'Model', 'Setup', 'Solution', and 'Results'. Component D is 'ACP (Post)' and contains 'Engineering Data', 'Geometry', 'Model', and 'Results'. Blue arrows indicate the following connections: from 'Engineering Data' in A to 'Engineering Data' in B; from 'Model' in B to 'Model' in C; from 'Setup' in B to 'Setup' in C; from 'Solution' in C to 'Results' in D; and from 'Model' in C to 'Model' in D. Two large blue arrows are overlaid on the image, pointing to the 'Solution' field in component C and the 'Results' field in component D. The 'Toolbox' on the left lists various analysis types, including 'Static Structural' and 'ACP (Post)'. The status bar at the bottom shows 'Ready', 'Job Monitor...', 'Show Progress', and 'Show 41 Messages'.





Задание свойств материала





Упругие характеристики однонаправленного углепластика

Упругие константы однонаправленного углепластика (ортотропная модель)

Property	Value	
  Orthotropic Elasticity		
Young's Modulus X direction	1,2E+11	Pa
Young's Modulus Y direction	7,5E+09	Pa
Young's Modulus Z direction	7,5E+09	Pa
Poisson's Ratio XY	0,25	
Poisson's Ratio YZ	0,4	
Poisson's Ratio XZ	0,25	
Shear Modulus XY	4,5E+09	Pa
Shear Modulus YZ	2,8E+09	Pa
Shear Modulus XZ	4,5E+09	Pa



Прочностные характеристики однонаправленного углепластика

Пределы прочности по напряжениям
(ортотропная модель)

Orthotropic Stress Limits		
Tensile X direction	1,55E+09	Pa
Tensile Y direction	1,4E+07	Pa
Tensile Z direction	1,4E+07	Pa
Compressive X direction	-6,5E+08	Pa
Compressive Y direction	-5,5E+07	Pa
Compressive Z direction	-5,5E+07	Pa
Shear XY	7E+07	Pa
Shear YZ	3E+07	Pa
Shear XZ	7E+07	Pa


Пределы прочности по деформациям
(ортотропная модель)

Orthotropic Strain Limits	
Tensile X direction	0,013
Tensile Y direction	0,002
Tensile Z direction	0
Compressive X direction	-0,005
Compressive Y direction	-0,013
Compressive Z direction	0
Shear XY	0,012
Shear YZ	0
Shear XZ	0




Дополнительные характеристики прочности

Задание дополнительных констант для критерия прочности Пака

☰  Puck Constants	
Material Classification	Material Specific
Compressive Inclination XZ	0
Compressive Inclination YZ	0
Tensile Inclination XZ	0
Tensile Inclination YZ	0
Degradation Parameter M	0
Degradation Parameter s	0
Interface Weakening Factor	0

Задание дополнительных констант для модифицированного критерия прочности Пака

☰  Additional Puck Constants	
Interface Weakening Factor	0,8
Degradation Parameter s	0,5
Degradation Parameter M	0,5

Задание регулярного расположения слоев композита

☰  Ply Type	
Type	Regular



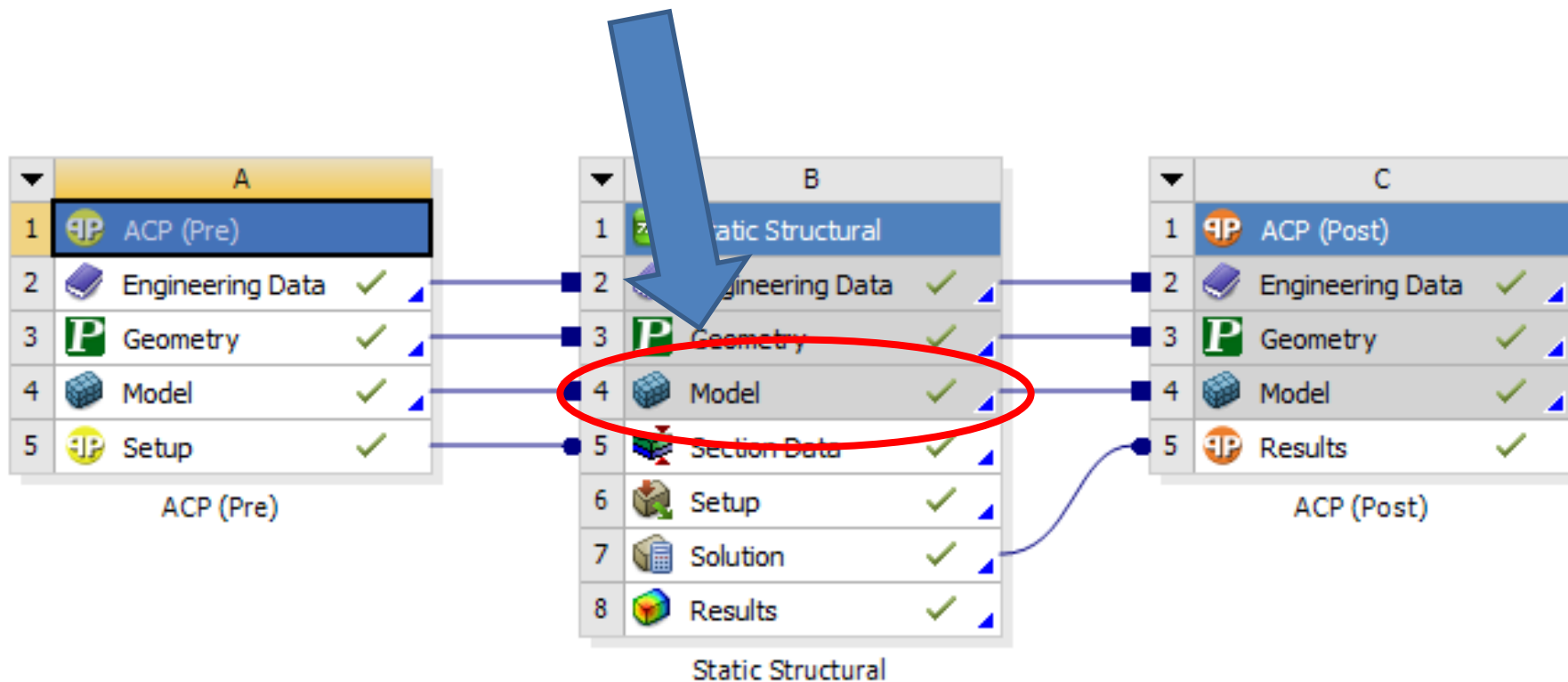
Характеристики пенного наполнителя

Будем считать пенный наполнитель квазиизотропным со следующими характеристиками:

Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulus...	
Young's Modulus	6E+07	Pa
Poisson's Ratio	0,3	
Bulk Modulus	5E+07	Pa
Shear Modulus	2,3077E+07	Pa



Запуск Design Modeler





Создание ткани

Fabric Properties

Name:

ID: Fabric.1

General | Draping Coefficients | Analysis | Solid Model Opt.

General

Material:

Thickness:

Price/Area:

Mass/Area:

Post-Processing

Ignore for Post-Processing:

OK Apply Cancel

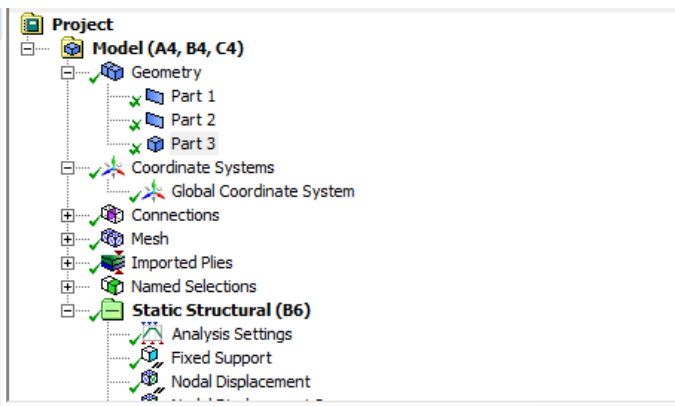
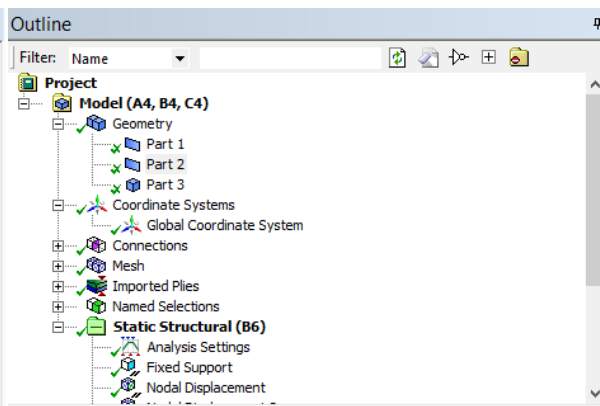
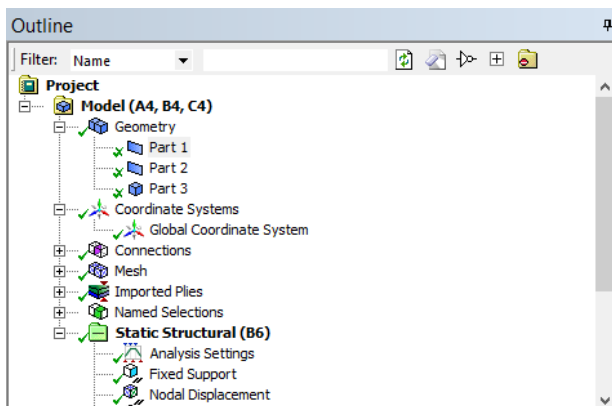


Задание толщин и назначение материалов

Верхняя панель

Нижняя панель

Заполнитель





Настройки для разбиения сетки

Панели

Outline

Filter: Name

- Part 3
 - Coordinate Systems
 - Global Coordinate System
 - Connections
 - Mesh
 - MultiZone Quad/Tri Method
 - MultiZone Quad/Tri Method 2
 - Hex Dominant Method
 - Body Sizing
 - Imported Plies
 - Named Selections
 - Static Structural (B6)
 - Analysis Settings
 - Fixed Support
 - Nodal Displacement
 - Nodal Displacement 2

Details of "MultiZone Quad/Tri Method" - Method

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	MultiZone Quad/Tri
Surface Mesh Method	Uniform
Element Midside Nodes	Use Global Setting
Free Face Mesh Type	Quad/Tri
<input type="checkbox"/> Element Size	20, mm
Advanced	
Preserve Boundaries	Protected
Mesh Based Defeaturing	Off
Sheet Loop Removal	No
Minimum Edge Length	11,156 mm
Write ICEM CFD Files	No

Заполнитель

Outline

Filter: Name

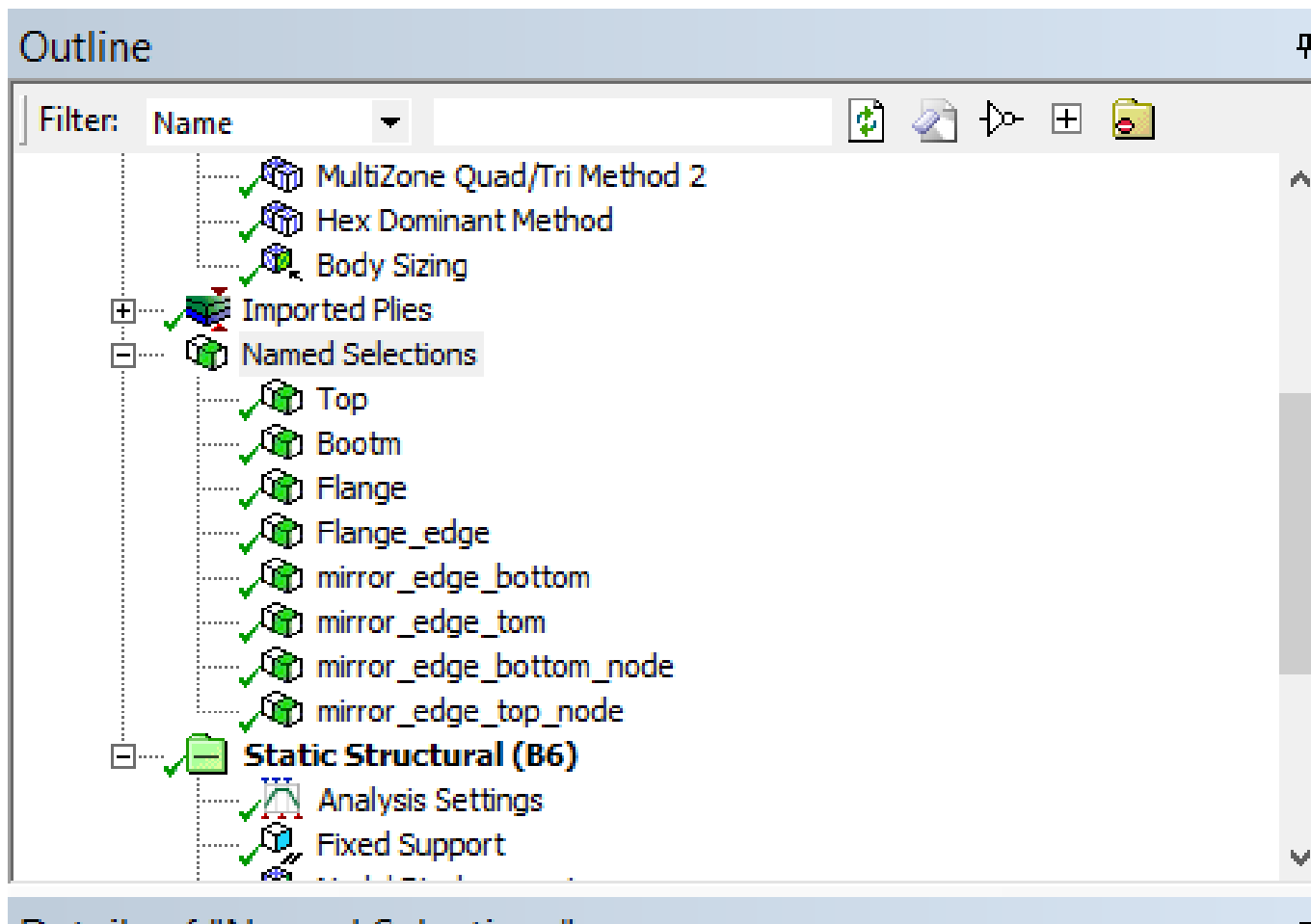
- Part 3
 - Coordinate Systems
 - Global Coordinate System
 - Connections
 - Mesh
 - MultiZone Quad/Tri Method
 - MultiZone Quad/Tri Method 2
 - Hex Dominant Method
 - Body Sizing
 - Imported Plies
 - Named Selections
 - Static Structural (B6)
 - Analysis Settings
 - Fixed Support
 - Nodal Displacement
 - Nodal Displacement 2

Details of "Body Sizing" - Sizing

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	20, mm
Behavior	Soft
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default
<input type="checkbox"/> Local Min Size	Default (9,6698 mm)



Поименованные выборки компонентов





Граничные условия и нагрузки

B : Static Structural - Mechanical [ANSYS Multiphysics]

File Edit View Units Tools Help | Solve Show Errors Worksheet

Show Vertices Wireframe Show Mesh Random Colors Annotation Preferences

Reset Explode Factor: Assembly Center

Edge Coloring Thicken Annotations

Environment Inertial Loads Supports Conditions Direct FE Mass Flow Rate

Outline

Filter: Name

- mirror_edge_bottom
- mirror_edge_top
- mirror_edge_bottom_node
- mirror_edge_top_node
- Static Structural (B6)**
 - Analysis Settings
 - Fixed Support
 - Nodal Displacement
 - Nodal Displacement 2
 - Nodal Rotation
 - Nodal Rotation 2

Details of "Static Structural (B6)"

Definition

Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL

Options

<input type="checkbox"/> Environment Temperature	22, °C
<input type="checkbox"/> Generate Input Only	No

B: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s
22.09.2015 19:57

- A** Fixed Support
- B** Nodal Displacement
- C** Nodal Displacement 2
- D** Nodal Rotation: 0, °
- E** Nodal Rotation 2: 0, °
- F** Frictionless Support
- G** Pressure: 2,5e-002 MPa

0,00 250,00 500,00 (mm)

Geometry | Print Preview | Report Preview

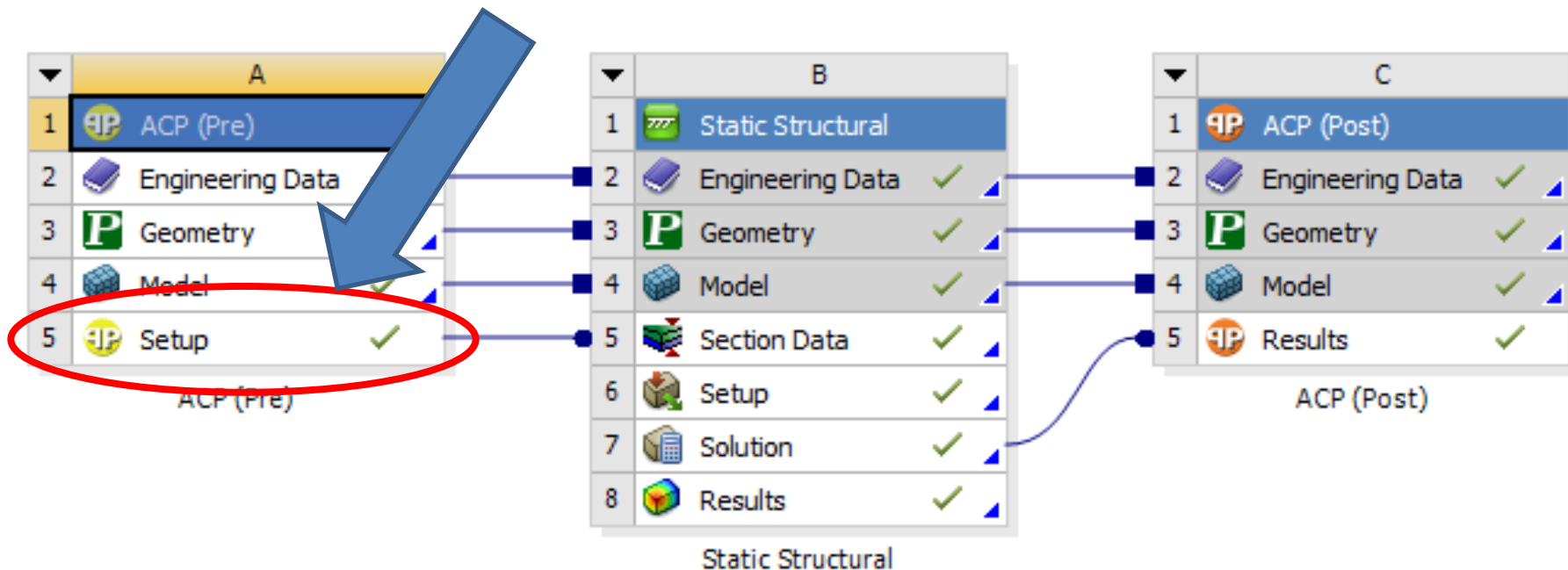
Graph | Tabular Data

Messages | Graph

8 Messages | No Selection | Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/



Запуск ACP (Pre)





Создание пакета материала

Stackup Properties

Name: Stackup.1
ID: Stackup.1

General | Draping Coefficients | Analysis | Solid Model Opt.

Fabrics

Symmetry: No Symmetry Even Symmetry Odd Symmetry
Layup Sequence: Top-Down Bottom-Up

Fabric	Angle
Fabric.1	30.0
Fabric.1	0.0
Fabric.1	-30.0

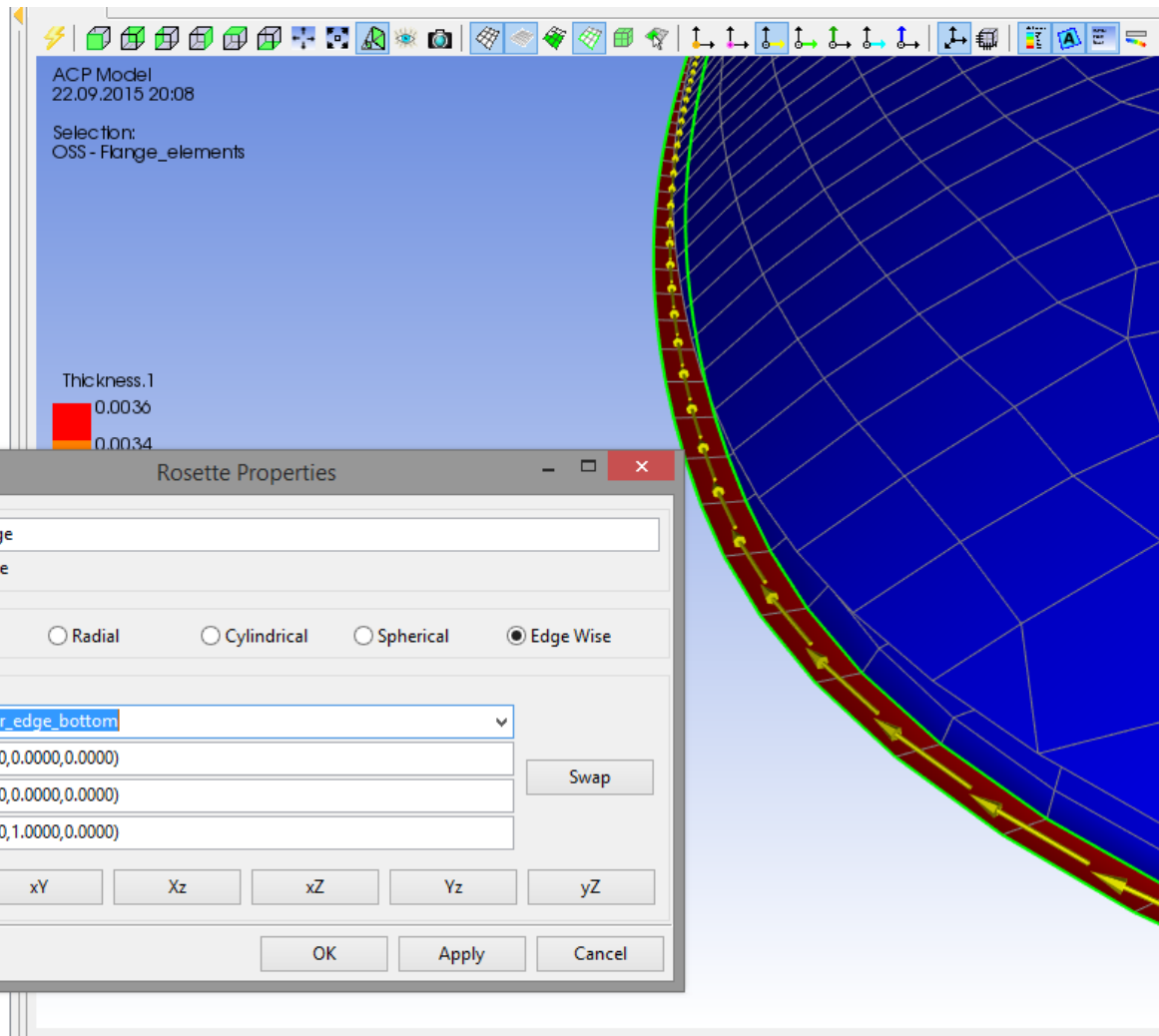
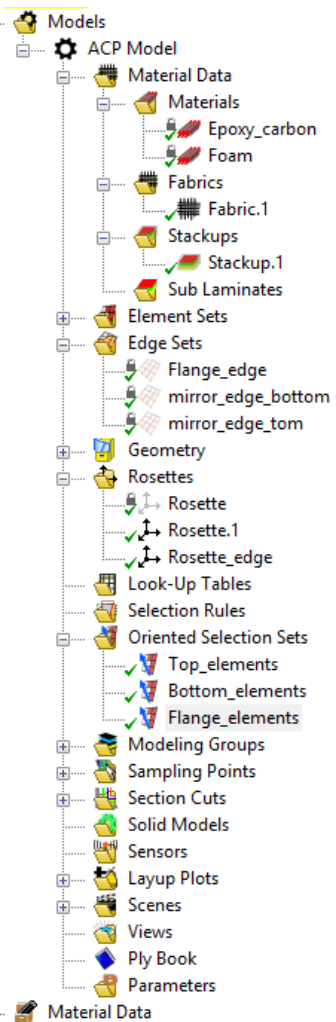
Stackup Properties

Thickness: 0.0006
Price/Area: 0.0
Weight/Area: 0.9

OK Apply Cancel



Создание криволинейной системы координат





Создаем ориентированные наборы элементов для всех компонентов

Oriented Selection Set Properties

Name: ID: Top_elements

General Rules Draping

Extension

Element Sets: []

Orientation

Point:

Direction: Flip

Reference Direction

Selection Method:

Rosettes: []

Reference Direction Field:

OK Apply Cancel

Oriented Selection Set Properties

Name: ID: Flange_elements

General Rules Draping

Extension

Element Sets: []

Orientation

Point:

Direction: Flip

Reference Direction

Selection Method:

Rosettes: []

Reference Direction Field:

OK Apply Cancel

Oriented Selection Set Properties

Name: ID: Bottom_elements

General Rules Draping

Extension

Element Sets: []

Orientation

Point:

Direction: Flip

Reference Direction

Selection Method:

Rosettes: []

Reference Direction Field:

OK Apply Cancel



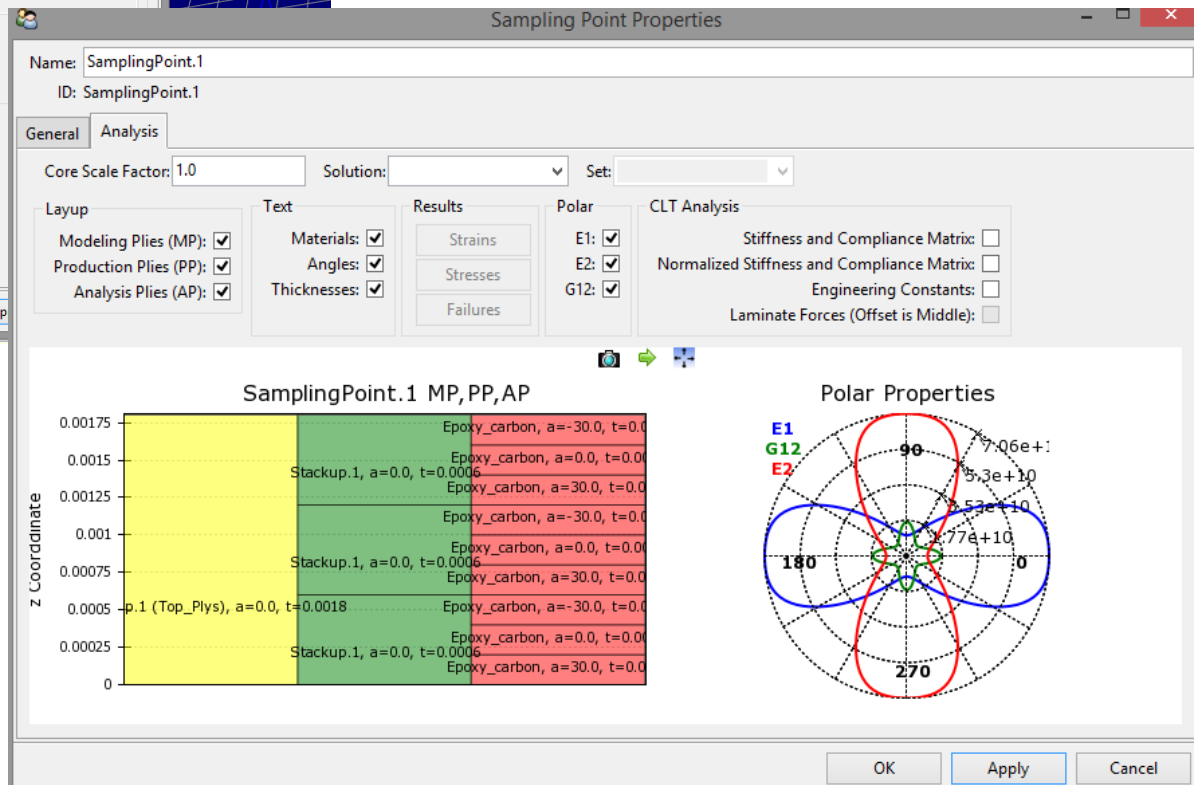
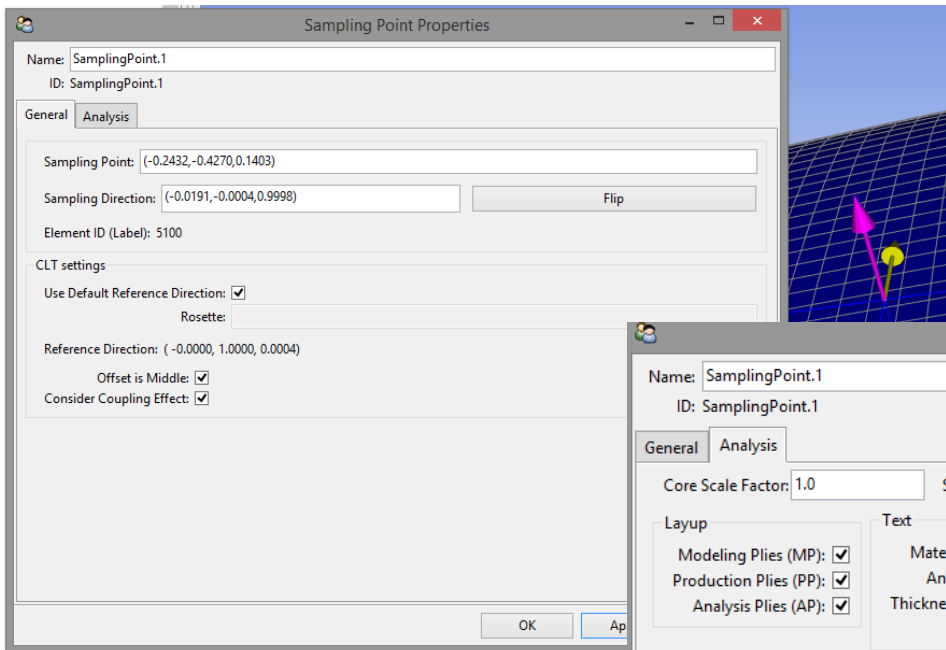
Создаем ModelingGroups

При создании ModelingGroups мы группируем ориентированные наборы элементов с подготовленными слоями материала и выбираем количество этих слоев.

The image illustrates the software interface for creating ModelingGroups. On the left, a tree view shows the hierarchy: Materials (Epoxy_carbon, Foam), Fabrics (Fabric.1), Stackups (Stackup.1), Sub Laminates, Element Sets, Edge Sets (Flange_edge, mirror_edge_bottom, mirror_edge_tom), Geometry, Rosettes (Rosette, Rosette.1, Rosette_edge), Look-Up Tables, Selection Rules, Oriented Selection Sets (Top_elements, Bottom_elements, Flange_elements), and Modeling Groups (Top_ModelingGroup, Bottom_ModelingGroup, Flange_ModelingGroup). The central dialog box 'Modeling Ply Properties' for 'Top_Ply' shows 'Oriented Selection Sets: [Top_elements]', 'Ply Material: Stackup.1', 'Ply Angle: 0.0', and 'Number of Layers: 3'. The right dialog box for 'ModelingPly.2' shows 'Oriented Selection Sets: [Flange_elements]', 'Ply Material: Stackup.1', 'Ply Angle: 0.0', and 'Number of Layers: 3'. A thickness scale on the right ranges from 0.0018 to 0.0036.



Проверка модели с использованием Sampling Points (Пробных точек)





Проверка модели с использованием Section Cuts (секущих плоскостей)

Stackup.1

- Sub Laminates
- Element Sets
- Edge Sets
 - Flange_edge
 - mirror_edge_bottom
 - mirror_edge_top
- Geometry
- Rosettes
 - Rosette
 - Rosette.1
 - Rosette_edge
- Look-Up Tables
- Selection Rules
- Oriented Selection Sets
 - Top_elements
 - Bottom_elements
 - Flange_elements
- Modeling Groups
 - Top_ModelingGroup
 - Top_Plys
 - Bottom_ModelingGroup
 - ModelingPly.1
 - P1_ModelingPly.1
 - P2_ModelingPly.1
 - P3_ModelingPly.1
 - Flange_ModelingGroup
 - ModelingPly.2
 - P1_ModelingPly.2
 - P2_ModelingPly.2
 - P3_ModelingPly.2
- Sampling Points
- Section Cuts
 - SectionCut.1
- Solid Models

Thickness.1

- 0.0036
- 0.0034
- 0.0032
- 0.003
- 0.0028
- 0.0026
- 0.0024
- 0.0022
- 0.002
- 0.0018

ACP Model
22.09.2015 20:19
Selection:
SeC - SectionCut.1

Section Cut Properties

Name: SectionCut.1
ID: SectionCut.1

Position

Interactive Plane:

Origin: (-0.4741, -0.4681, 0.0547)
Normal: (0.9869, 0.0066, 0.1613)
Reference Direction 1: (0.1614, -0.0401, -0.9861)

Configuration

Scale Factor: 0.000 11.000 1.000

Core Scale Factor: 1.0

Section Cut Type: Modeling Ply Wise Production Ply Wise Analysis Ply Wise

Intersection Type: Normal To Surface In Plane

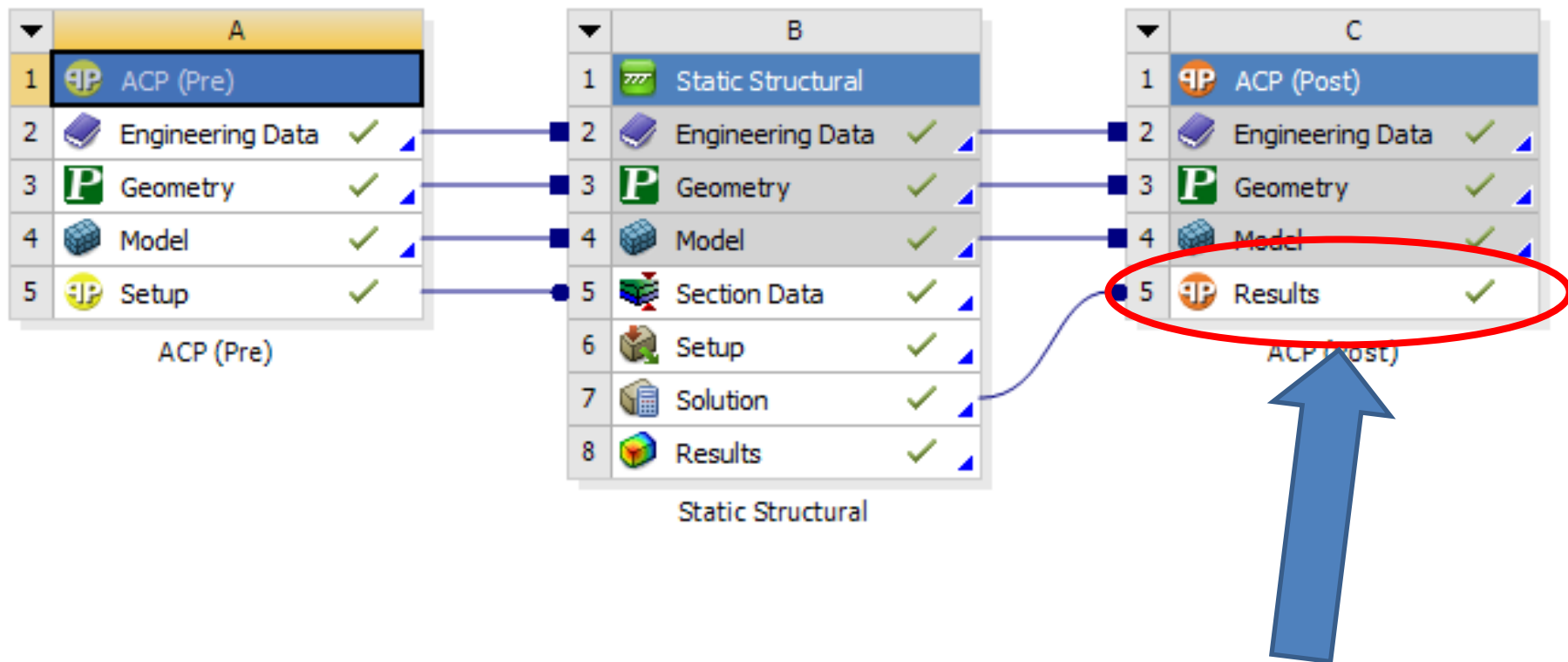
Show Plane:

OK Apply Cancel



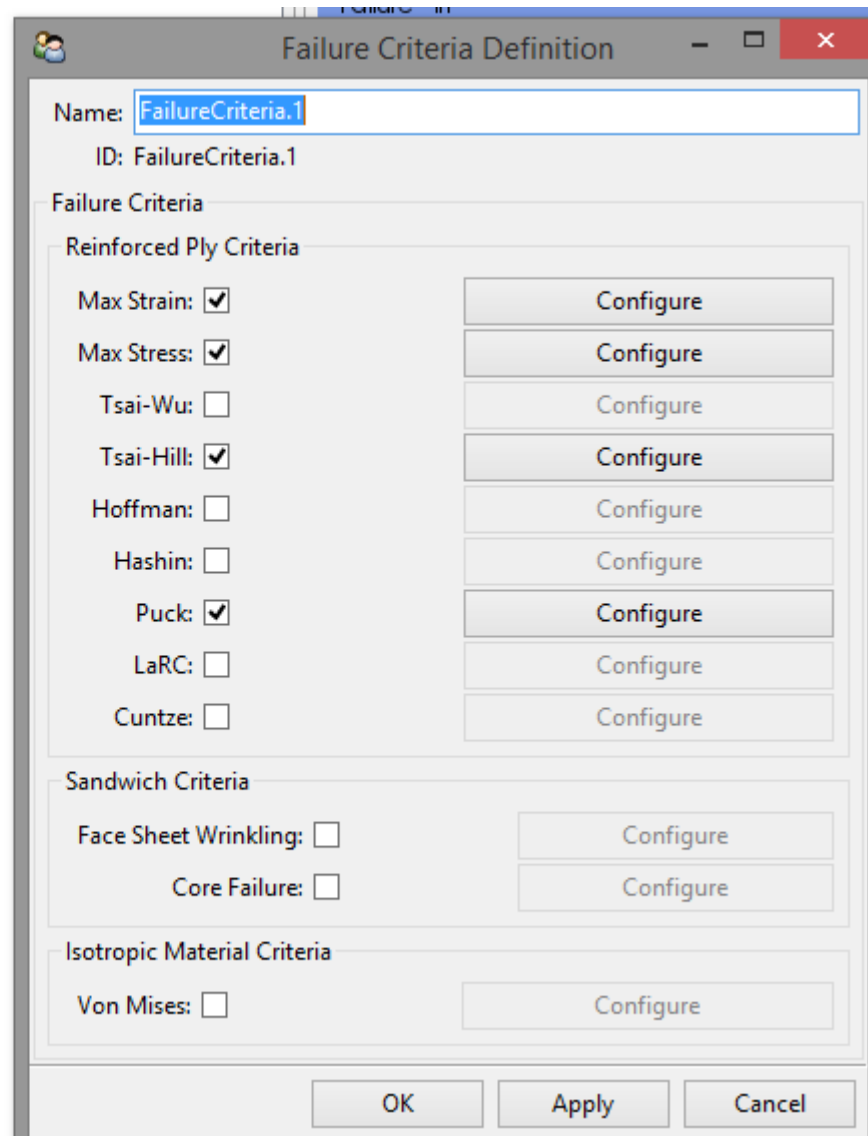
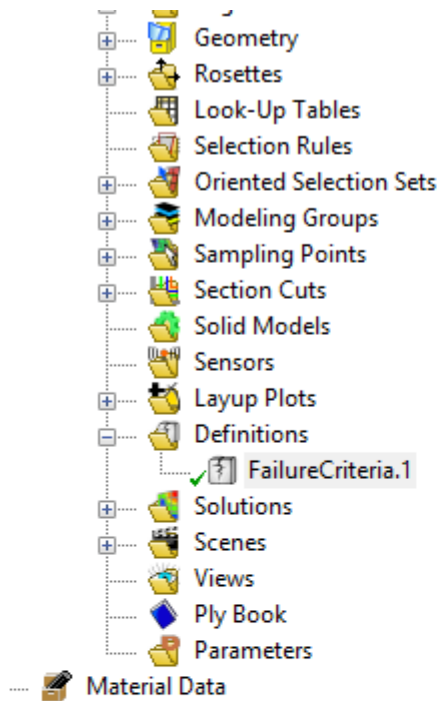
Запуск АСР (Post)

Запускаем решение (Update Project) после завершения процесса заходим в АСР (Post)





В пункте «Definitions» выбираем критерии разрушения





Связываем полученное решение с выбранными критериями разрушения

The image shows a software interface with a tree view on the left and a 'Failure' dialog box on the right.

Tree View (Left):

- Element Sets
- Edge Sets
- Geometry
- Rosettes
- Look-Up Tables
- Selection Rules
- Oriented Selection Sets
- Modeling Groups
- Sampling Points
- Section Cuts
- Solid Models
- Sensors
- Layup Plots
- Definitions
 - FailureCriteria.1
- Solutions
 - Solution 1
 - Failure.1
- Scenes
- Views
- Ply Book
- Parameters
- Material Data

The 'Failure.1' item is circled in red.

Failure Dialog Box (Right):

Name: Failure.1
ID: Failure.1

General Legend

Active:

Data Scope: [All_Elements]

Ply-Wise:

Show on Solids:

Spot: [Dropdown]

Component: Inverse Reserve Factors [Dropdown]

Failure Criteria Definition: FailureCriteria.1 [Dropdown]

Show Critical Failure Mode:

Show Critical Layer:

Show Critical Load Case:

Threshold for Text Visualization

Auto: 0.25

Display Solution

Solution Set: Set: 1 - Time/Freq: 1.0 (Last) [Dropdown]

Ply Offsets

Show:

Scale Factor: -9,000 [Slider] 11,000 1,000

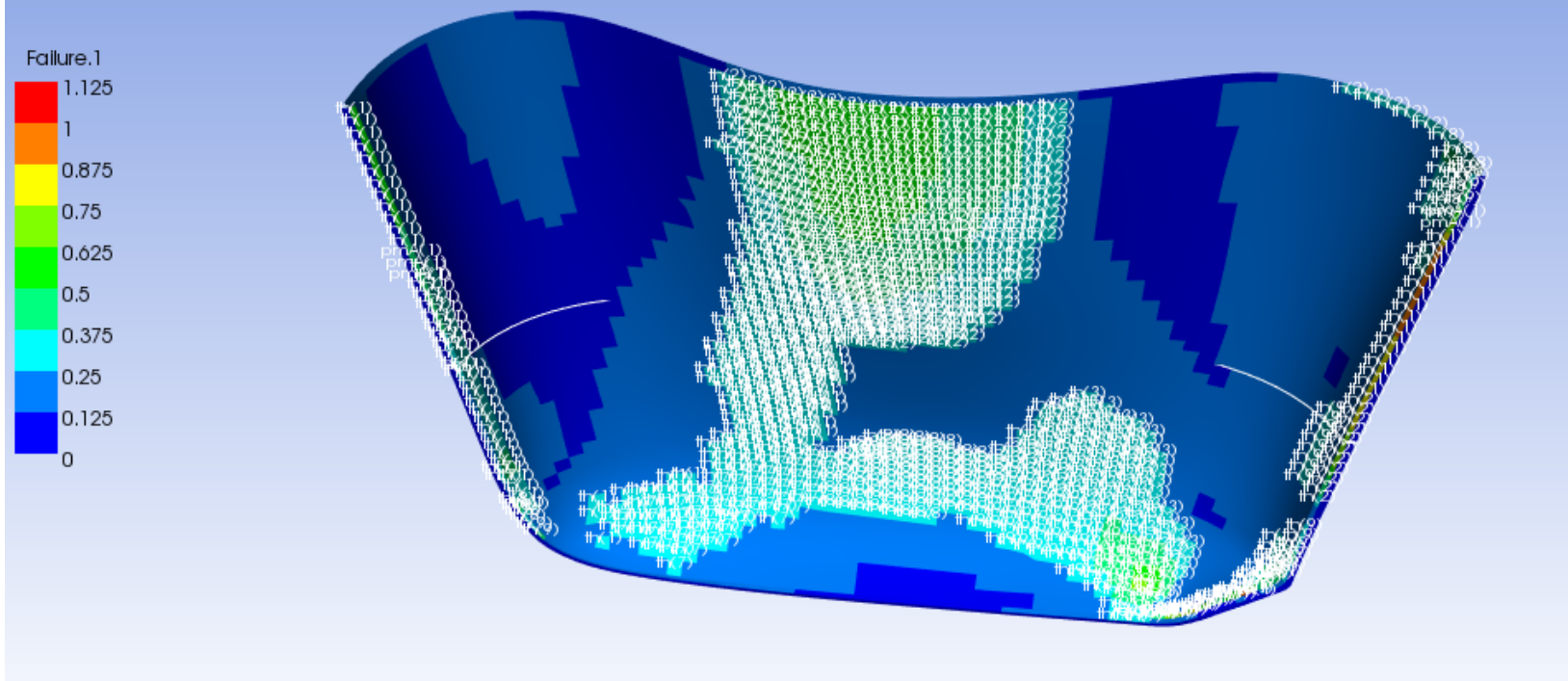
Buttons: OK, Apply, Cancel



Просматриваем результаты

ACP Model
22.09.2015 20:30

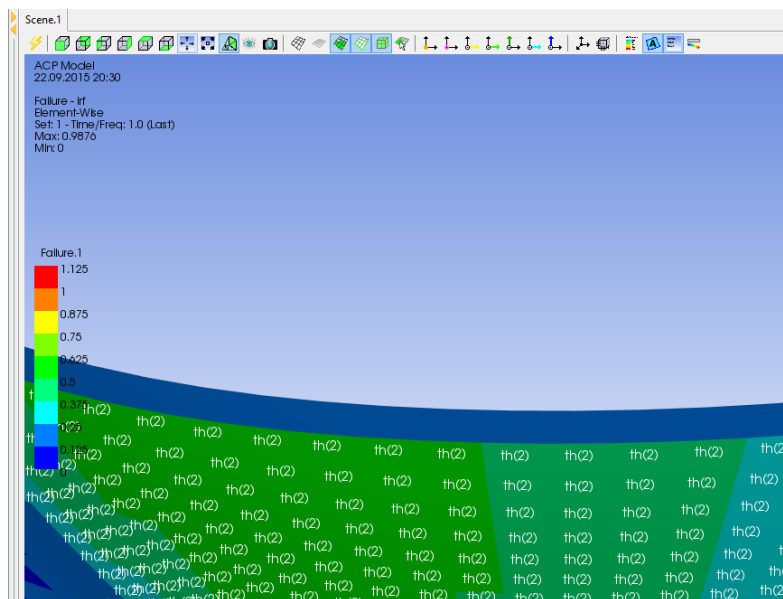
Failure - Irf
Element-Wise
Set: 1 - Time/Freq: 1.0 (Last)
Max: 0.9876
Min: 0





Просматриваем результаты

Просмотр «сработавшего» критерия разрушения



Расшифровка обозначений

All available failure criteria are listed together with their failure mode abbreviations as used in failure mode plots.

Terms:

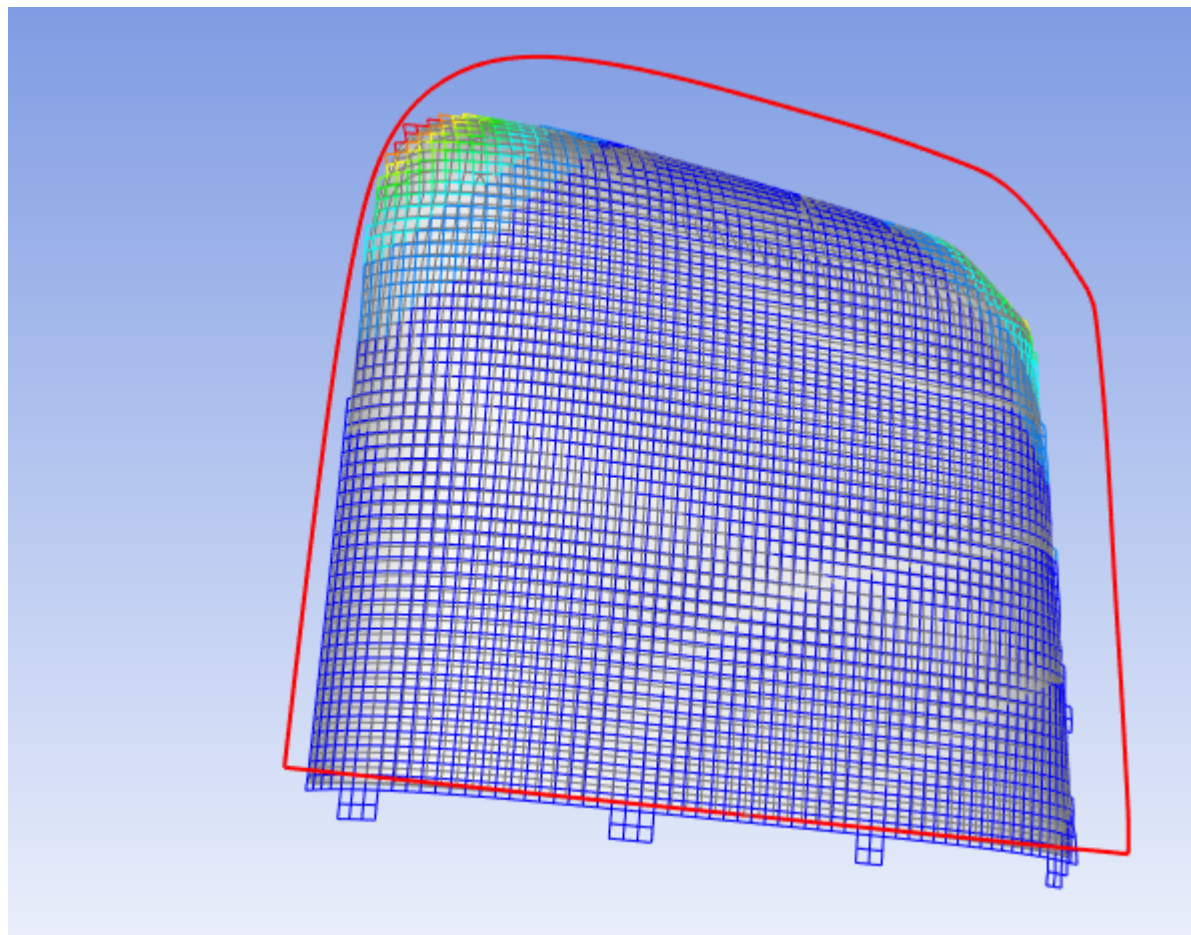
- e = strain, s = stress
- 1 = material 1 direction, 2 = material 2 direction, 3 = out-of-plane normal direction, 12 = in-plane shear, 13 and 23 = out-of-plane shear terms
- I = principal I direction, II = principal II direction, III = principal III direction
- t = tension, c = compression

Criteria:

- Maximum Strain: e1t, e1c, e2t, e2c, e12
- Maximum Stress: s1t, s1c, s2t, s2c, s3t, s3c, s12, s23, s13
- Tsai-Wu 2-D and 3-D: tw
- Tsai-Hill 2-D and 3-D: th
- Hashin: hf (fiber failure), hm (matrix failure), hd (delamination failure)
- Puck (simplified, 2-D and 3-D Puck implementations are available): pf (fiber failure), pmA (matrix tension failure), pmB (matrix compression failure), pmC (matrix shear failure), pd (delamination)



Анализ смятия сетки и получения выкройки





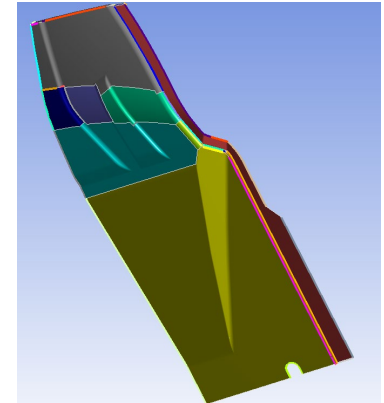
Порядок расчета слоистых композитных конструкций в Ansys Workbench с использованием модуля Composite PrepPost

1. В окне Project Schematic вставляется модуль ACP (Pre).
2. В ячейке Engineering Data создается новый материал с ортотропными характеристиками:
 - упругие характеристики материала (Orthotropic Elasticity);
 - пределы прочности материала по напряжениям (Orthotropic Stress Limits);
 - пределы прочности материала по деформациям (Orthotropic Strain Limits);
 - константы Пака (Puck Constants);
 - тип слоя (Ply Type – Regular);
 - константы для модифицированного критерия Пака (Additional Puck Constants).
3. Загружается заранее подготовленная поверхностная модель (или поверхностная и твердотельная модель).
4. В ячейке model задается толщина оболочки и тип материала (на этом этапе условно – любой материал и толщина).
5. Создается конечно-элементная сетка.
6. Создаются необходимые поименованные выборки (Named Selection).
7. В окне Project Schematic в модуле ACP запускается ячейка «Setup».
8. Создается монослой материала (Fabric) с заданными ранее в Engineering Data упругими характеристиками и толщиной (Thickness).
9. Создается пакет материала (Stackups) из необходимого количества слоев с заданными углами укладки.
10. Создаются необходимые системы координат (Rosettes) для создания ориентированной укладки пакетов материала.
11. Создаются ориентированные наборы элементов (Oriented Element Set).
12. Создаются группы слоев материала (Modeling Ply Groups) с учетом направления укладки и количества пакетов.
13. Проверяется правильность укладки слоев при помощи инструментов (Sampling Elements и Section Cuts).
13. В окне Project Schematic вставляется необходимый тип расчета (например, Static Structural) с созданием связей соответствующих ячеек с ячейками ACP.
14. В окне Static Structural задаются все необходимые нагрузки и граничные условия.
15. В окне Project Schematic вставляется модуль ACP (Post) с созданием связи между ячейками Solution (Static Structural) и Results (ACP (Post)).
16. В окне Results (ACP (Post)) в элементе дерева Definitions выбираются необходимые критерии разрушения композита (например, критерий Puck'a).
17. В элементе дерева Solution выбирается имеющееся решение и критерий разрушения, анализируется результат.
18. В элементе дерева Sampling Elements проверяется прочность слоев в любом элементе.
19. При помощи инструментов Draping анализируется смятие ткани и выкройки материала.



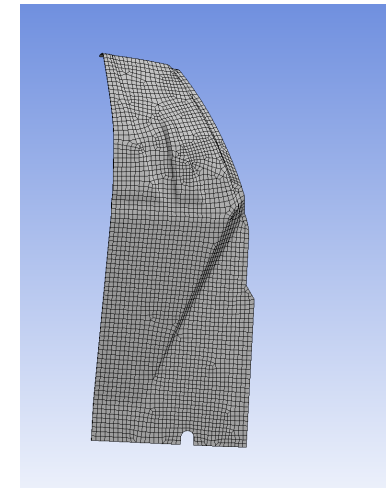
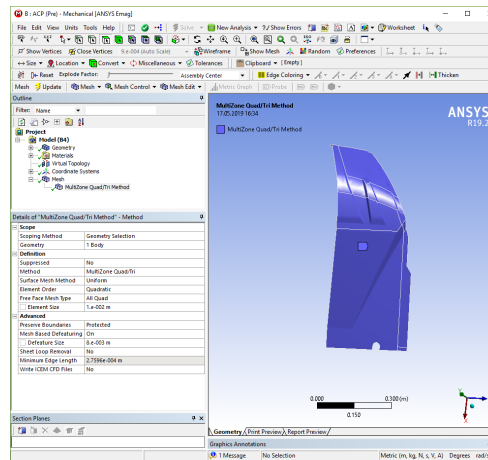
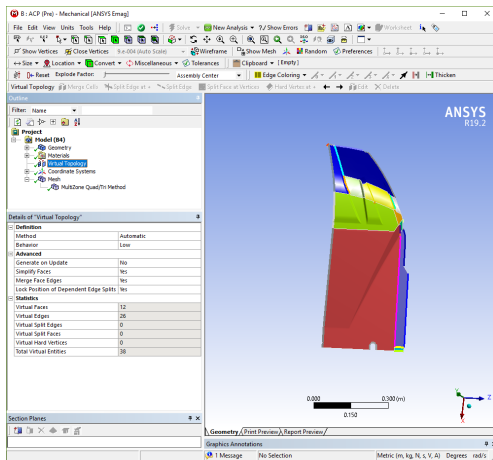
Модель с виртуальной топологией

Модель с виртуальной топологией



Virtual Topology

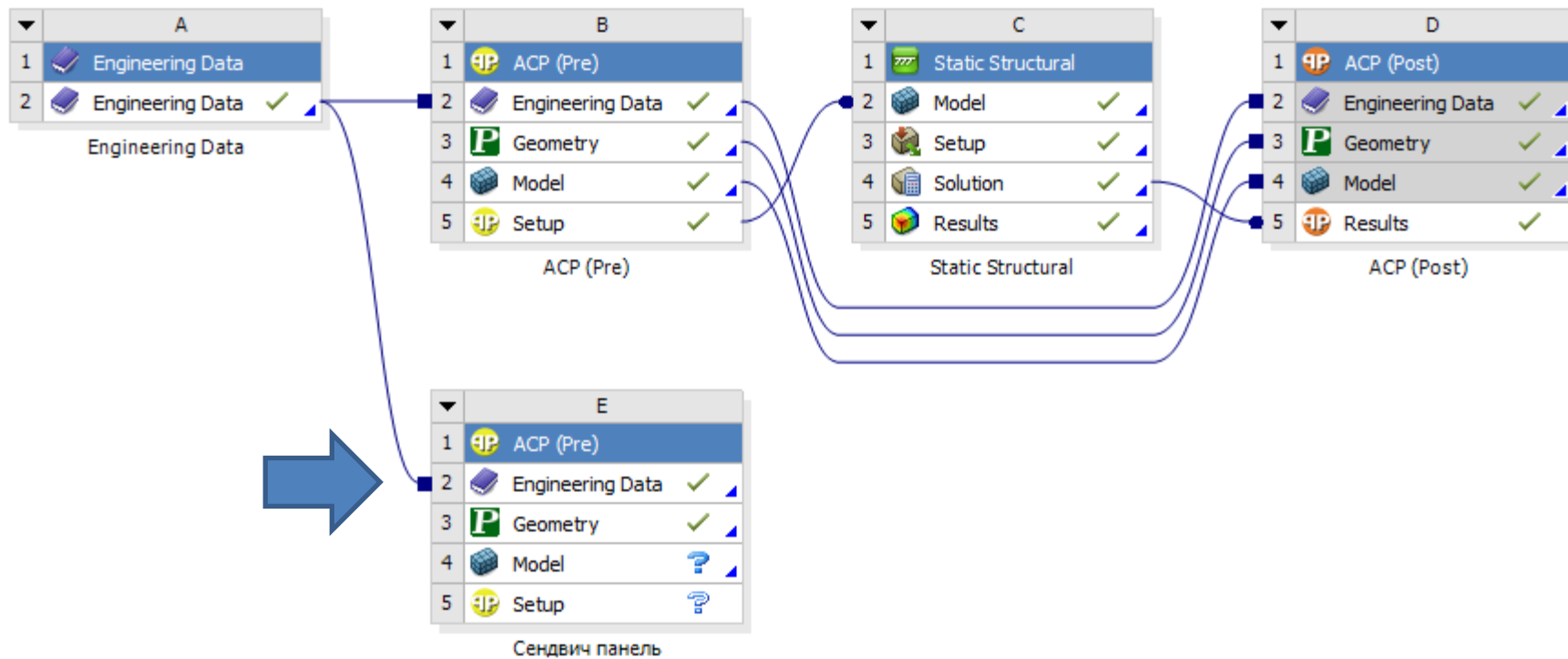
MultiZone Quad





Модель с виртуальной топологией

Загружаем модель *RM_dn_surf_half_dubl2.x_t*





Модель с виртуальной топологией

Задаем толщины оболочкам по 1 мм (далее их переназначит АСР)



Для оболочек задаем материал «ероху_carbon», для прослойки - «foam»

Details of "C40102733(ПО УМОЛЧАНИЮ)"	
Graphics Properties	
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Thickness	1.e-003 m
Thickness Mode	Manual
Offset Type	Middle
Behavior	None
Reference Frame	Lagrangian
Material	Epoxy_Carbon
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	Properties
Statistics	Statistics

Details of "C40102733(ПО УМОЛЧАНИЮ)"	
Graphics Properties	
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Behavior	None
Reference Frame	Lagrangian
Material	Foam
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	Properties
Statistics	Statistics

ANSYS R19.2

Model 28.09.2019 14:05

Outline

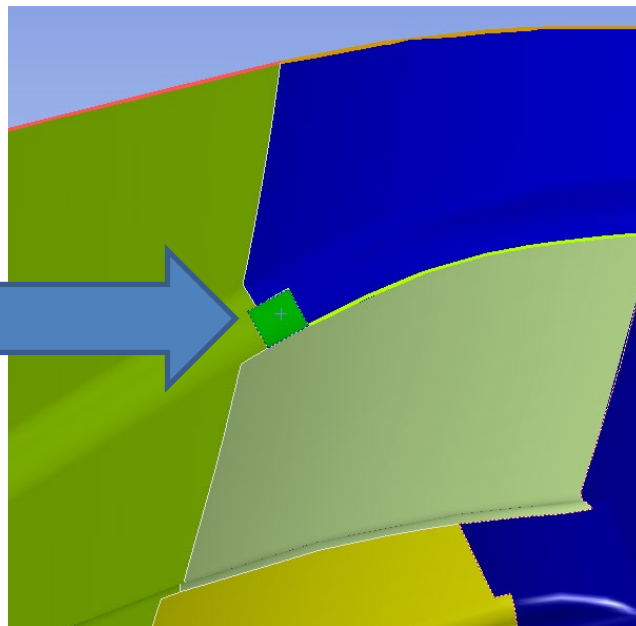
- Project
 - Model (E4)
 - Geometry
 - C40102733(ПО УМОЛЧАНИЮ)
 - C40102733(ПО УМОЛЧАНИЮ)
 - C40102733(ПО УМОЛЧАНИЮ)
 - Materials
 - Coordinate Systems
 - Connections
 - Mesh

Details of "Model (E4)"	
Filter Options	
Control	Enabled
Lighting	
Ambient	0.1
Diffuse	0.6
Specular	1
Color	



Создание виртуальной топологии

Удаляем мелкие
виртуальные
ячейки

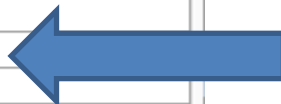




Настройка сетки для панелей

Details of "MultiZone Quad/Tri Method" - Method	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Bodies
Definition	
Suppressed	No
Method	MultiZone Quad/Tri
Surface Mesh Method	Uniform
Element Order	Use Global Setting
Free Face Mesh Type	Quad/Tri
<input type="checkbox"/> Element Size	1.5e-002 m
Advanced	
Preserve Boundaries	Protected
Mesh Based Defeaturing	On
<input type="checkbox"/> Defeature Size	8.e-003 m
Sheet Loop Removal	No
Minimum Edge Length	5.4089e-005 m
Write ICEM CFD Files	No

Допустимое искажение сетки

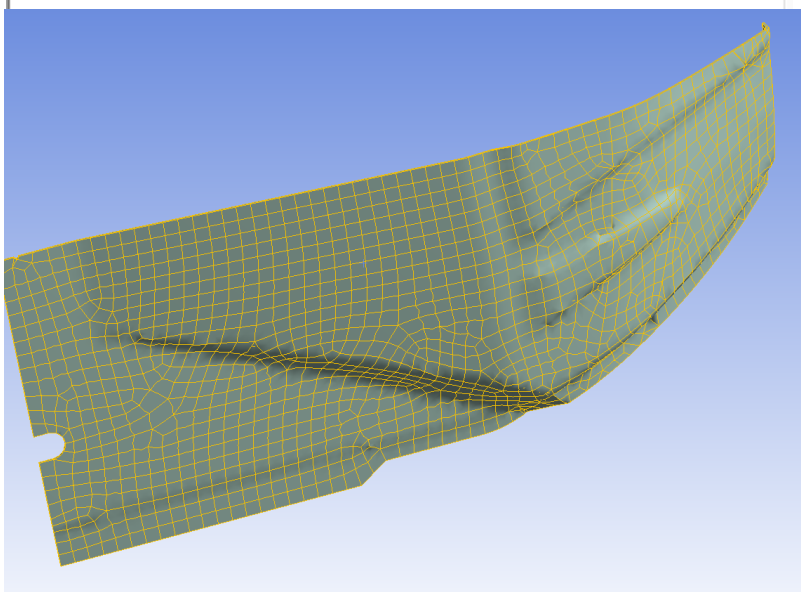




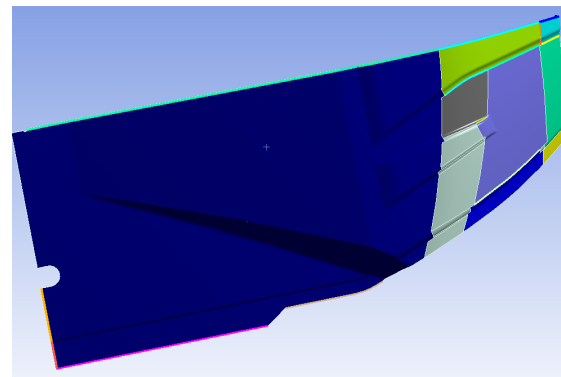
Настройка сетки для заполнителя

Метод разбиения

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (4.4854e-002 m)
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	



Виртуальные ячейки



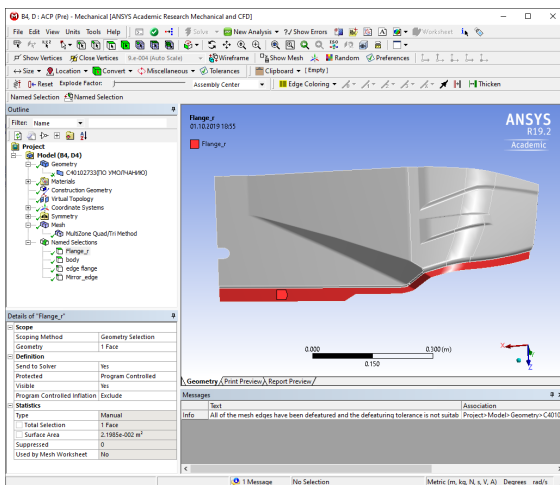
Размер элемента

Details of "Body Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	1.5e-002 m
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2.2427e-004 m)
Behavior	Soft
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.85)
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No

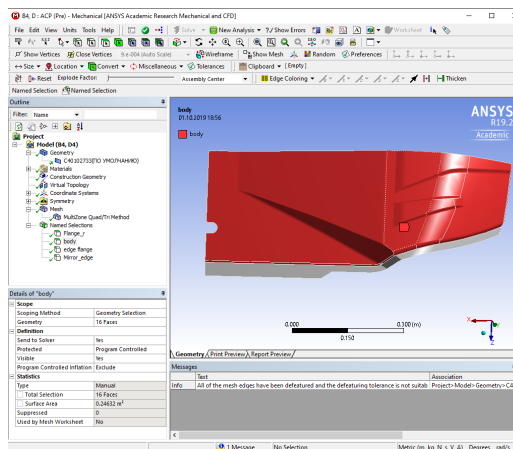


Создание выборок

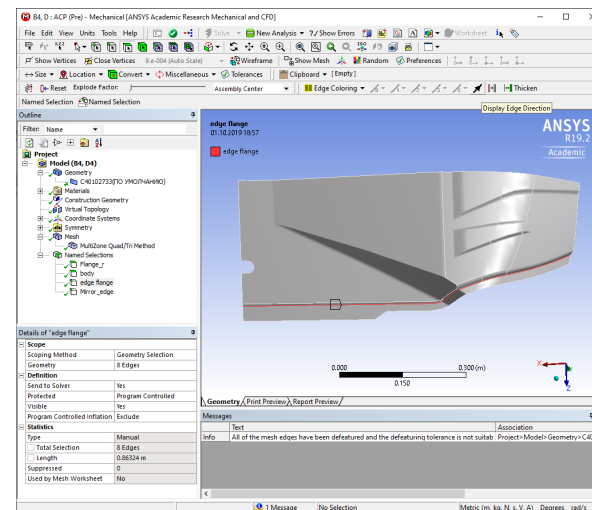
Фланец



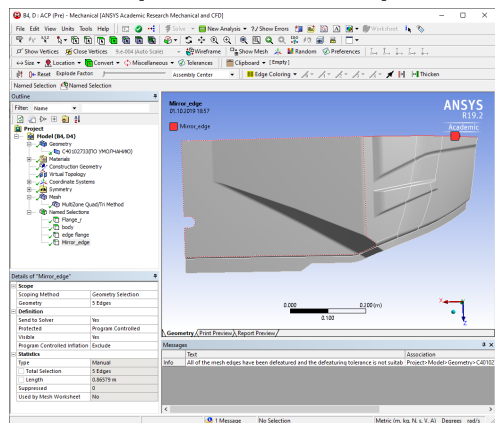
Корпус



Криволинейная кромка



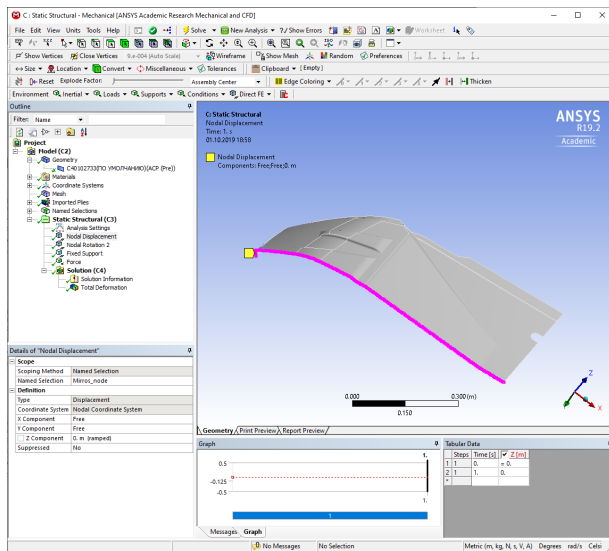
Зеркальная кромка



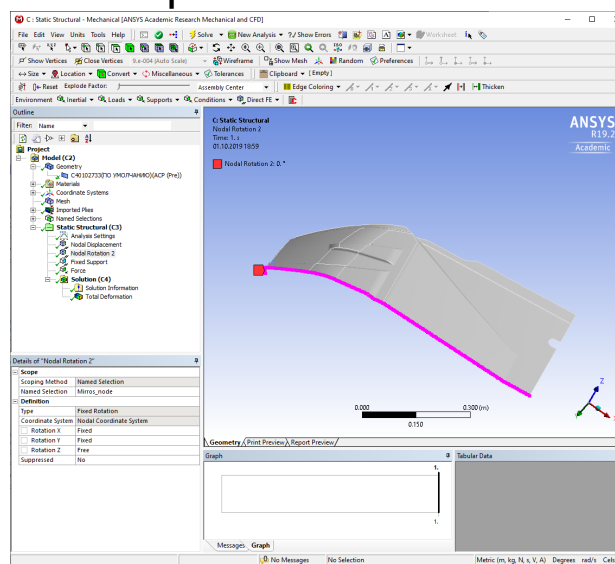


Граничных условий

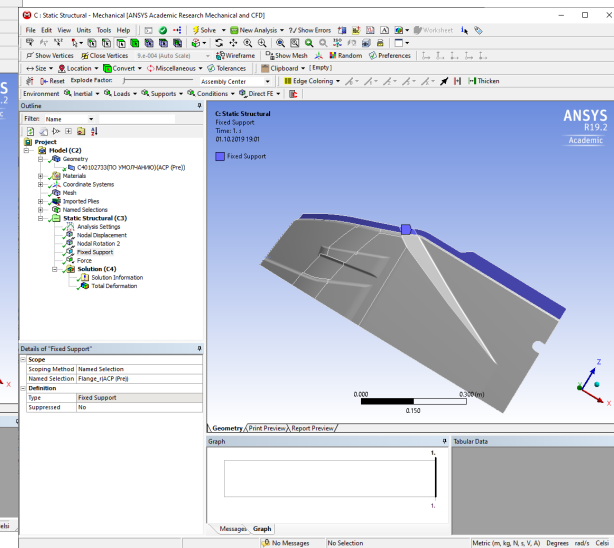
Условие симметрии узлов,
Перемещения



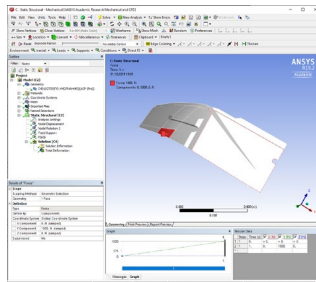
Условие симметрии узлов,
повороты



Заделка



Сила





Задаем состав композита



Гармонический анализ композитных конструкций

Знание параметров собственных колебаний становится важным в условиях динамического нагружения и при моделировании вибраций и переходных процессов в конструкциях. Частотный анализ является линейным и может учитывать эффекты затухания, но игнорирует пластическое течение материала и контактную жесткость.

Расчет параметров собственных колебаний конструкции – первый этап вибрационного исследования конструкции. Его целью является определение степени опасности возможных резонансных режимов. Если опасные гармоники не попадают в рабочий диапазон действующих внешних нагрузок, то конструкция обычно считается удовлетворительной с точки зрения прочности при вибрациях. В противном случае предпринимаются попытки изменить конструкцию таким образом, чтобы вывести ее собственные частоты за рабочий диапазон и (или) производится оценка опасности резонансных колебаний по величине возникающих деформаций и напряжений в конструкции.



Гармонический анализ композитных конструкций

При гармоническом анализе оценивается напряженно-деформированное состояние конструкции при вынужденных колебаниях, которые возбуждаются внешними периодически изменяющимися силами. Особенно опасными являются резонансные колебания, возникающие при совпадении собственной частоты конструкции и частоты внешних сил.

Одним из возбудителей резонансных явлений как в трансмиссии автомобиля, так и в его несущей системе, является двигатель внутреннего сгорания с его периодически меняющимся крутящим моментом.



Гармонический анализ композитных конструкций

Частота основной гармоники опрокидывающего момента для двигателя с равномерным чередованием рабочих ходов может быть определена по формуле [1]:

$$f_{\text{в}} = \frac{ni}{60\tau}, \quad (1)$$

где n – частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин; i – число цилиндров двигателя; $\tau = 1$ для двухтактного двигателя; $\tau = 2$ для четырехтактного двигателя.



Гармонический анализ композитных конструкций

Некоторые двухрядные двигатели, например шести- и десятицилиндровые V-образные двигатели с углом развала 90° имеют неравномерное чередование рабочих ходов. Если в пределах каждого ряда цилиндров такого двигателя интервалы между вспышками в цилиндрах одинаковы (как, например, у двигателя ЯМЗ-236), то частота основной гармоники опрокидывающего момента

$$f_{\text{в}} = \frac{0,5ni}{60\tau}. \quad (2)$$



Гармонический анализ композитных конструкций

Влияние крутящего момента, создаваемого силами инерции, обычно приходится учитывать в четырехцилиндровых четырехтактных двигателях и двигателях с неравномерным чередованием вспышек, где он вносит вклад в гармоники второго и более высокого порядков.

В данной работе анализ форм и частот собственных колебаний рассматривается для переднего правого кронштейна двигателя ЯМЗ-238М2 автомобиля Урал-4320 (номер детали по каталогу 4320Я2-1001012-10). Для этого двигателя диапазон частот вращения коленчатого вала при холостом ходе лежит в диапазоне 550...2275 об/мин, поэтому частота основной гармоники опрокидывающего момента (см. (1)) лежит в пределах 36,7...151,7 Гц.



Контактная информация

e-mail: abkartashov@mail.ru;
рабочий телефон : 18-09;
мобильный телефон: +7(926)275-0886.

Спасибо за внимание!