

Явные вычисления в программе ANSYS Workbench LS-Dyna

Оформил Илюшкин М.В.
fzbn@mail.ru

1. Процесс моделирования с использованием Ansys Workbench / LS Dyna для явных вычислений.....	3
1.1. Структура, описание программы.....	3
1.2. Предпроцессор Ansys Workbench.....	4
1.2.1. Типы элементов.....	5
1.2.2. Модели материалов.....	10
1.2.3. Сетка для явных вычислений, элементы формулировки.....	14
1.2.4. Контактные алгоритмы (типы, настройки контактов).....	18
1.2.5. Начальные условия.....	25
1.2.6. Граничные условия.....	25
1.2.7. Joints.....	30
1.2.8. Контрольные карты.....	30
1.3. Интеграция LS Dyna в Ansys Workbench.....	35
1.4. Анализ результатов в Ansys.....	36
1.5. LS-Dyna: преимущества и недостатки.....	43
1.6. ANSYS Workbench/LS-Dyna: преимущества и недостатки.....	44
1.7. Формулировки Shell элементов в Ansys Workbenck LS-DYNA.....	50
1.8. Формулировки Solid элементов в Ansys Workbenck LS-DYNA.....	53
1.9. Модели материалов доступные в Ansys Workbenck LS-DYNA.....	56
1.10. Формулировки Hourglass в Ansys Workbenck LS-DYNA.....	57
1.11. Контакты в Ansys Workbenck LS-DYNA.....	59
1.12. Формулировки Beam в Ansys Workbenck LS-DYNA.....	61
1.13. Формулировки Discrete в Ansys Workbenck LS-DYNA.....	62
Приложение 1. Пример моделирования процесса удара сферы об пластину в программе ANSYS WORKBENCH LS-DYNA.....	62
Приложение 2. Пример моделирования процесса деформирования короба об пластину в программе ANSYS WORKBENCH LS-DYNA.....	98

1. Процесс моделирования с использованием Ansys Workbench/LS Dyna для явных вычислений.

1.1. Структура, описание программы

Программа LS-DYNA в ANSYS WORKBENCH подключается при помощи АСТ расширения Workbench ls-dyna. Начиная с 19-й версии ANSYS данный модуль входит в стандартное обеспечение и не требует отдельной загрузки из базы приложений АСТ.

Данное расширение позволяет решать задачи динамики в явной постановке с помощью LS-DYNA в среде Ansys Workbench. Настройка модели LS-DYNA и просмотр полученных результатов решения выполняются в графическом интерфейсе аналогичном интерфейсу ANSYS Mechanical.

Преимущества работы в данном интерфейсе:

- импорт геометрических моделей из большинства современных САД-пакетов;
- «чистка» и исправление геометрии для построения качественной сетки;
- параметризация модели;
- мощный сеточный редактор с множеством гибких настроек и функций;
- создание сеток в параллельном режиме;
- выполнение расчетов в параллельном режиме;
- широкие возможности по обработке результатов

Решателем ANSYS LS-DYNA поддерживается полный набор команд, описанных в руководстве пользователя LS-DYNA версии 971. Однако в графическом интерфейсе расширения представлен ограниченный набор наиболее часто используемых команд, необходимых для большинства расчетов. В основном это расчеты, связанные с деформированием твердых тел. Существует возможность по определению контактов, начальных и граничных условий, нагрузок, контролю количества точек интегрирования в элементах, настройке ана-

лиза, а также контроль эффекта hourglass. Кроме того, пользователи могут дополнять выходной командный файл собственными ключевыми словами.

Области применения Ansys Workbench/LS-Dyna:

- технологические процессы деформирования твердых тел и процессы обработки металлов давлением;
- низкоскоростные удары и разрушения конструкций;
- баллистика боеприпасов и средств поражения;
- тесты на падения (дроп-тесты).

По моделям материала программа Ansys Workbench/LS-Dyna уже имеет встроенные модели с константами (параметрами) (более 200 материалов).

1.2. Предпроцессор Ansys Workbench

Ansys Workbench поддерживает объемные, оболочечная, балочные и пружинные типы элементов.

Подробно про типы элементов описано в первой части. В данной части описывается способ определения типов элементов применительно к программе Ansys Workbench/LS-Dyna

Для выбора программы Ansys Workbench/LS-Dyna требуется включения расширение LS-DYNA (подробная последовательность действий приведена в примерах).

В результате появляется окно Workbench LS-DYNA

▼	A	
1	 Workbench LS-DYNA	
2	 Engineering Data	✓
3	 Geometry	?
4	 Model	?
5	 Setup	?
6	 Solution	?
7	 Results	?
Workbench LS-DYNA		

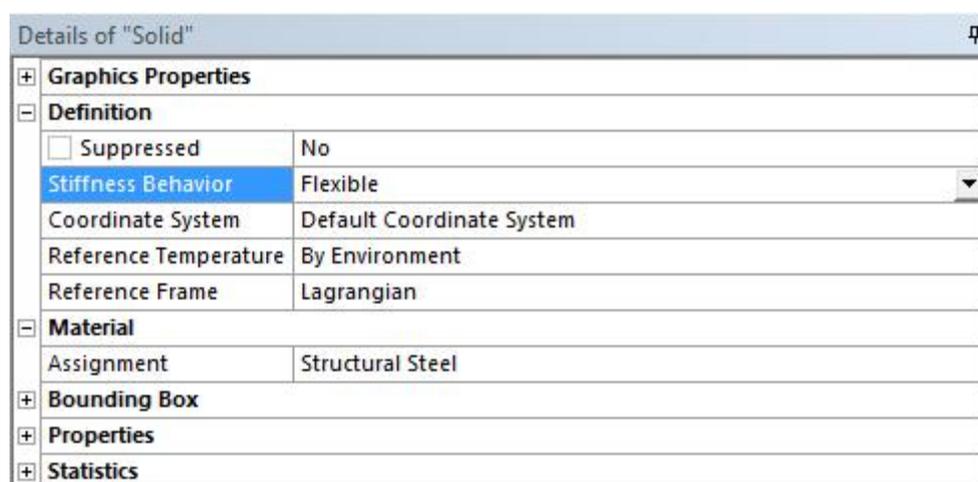
Engineering Data – определение параметров моделей материала;
 Geometry – создание геометрии в программе Design Modeler или SpaceClaim;
 Model, Setup, Solution – определение параметров моделирования используя программу Ansys Mechanical;
 Results – просмотр результатов моделирования.

1.2.1. Типы элементов.

1.2.1.1. Объемные элементы

Присвоение свойств для solid геометрии осуществляется командой

Project → Model → Geometry → Solid



Данное меню позволяет выбрать:

Stiffness Behavior – поведение материала (Flexible или Rigid).

Assignment – выбор модели материала для данной геометрии.

Для определения параметра Hourglass используется следующая команда:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Hourglass control

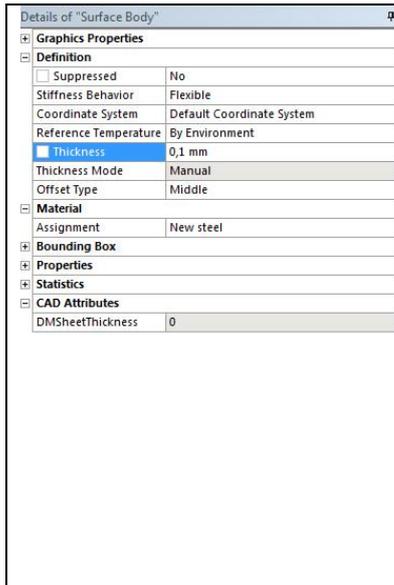
Details of "Hourglass Control"	
[-] Geometry	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Bodies
[-] Definition	
Hourglass Type	Exact Volume Flanagan-Belytschko Stiffness
LS-DYNA ID	5
[-] Coefficients	
<input type="checkbox"/> Hourglass	0,05
<input type="checkbox"/> Quadratic Bulk	0
<input type="checkbox"/> Linear Bulk	0

Hourglass Type – тип контроля параметра Hourglass.
Hourglass, Quadratic Bulk, Linear Bulk – Коэффициенты Hourglass.

1.2.1.2. Оболочечные элементы

Присвоение свойств для плоскостной геометрии осуществляется командой:

Project → Model → Geometry → Surface Body



Данное меню позволяет выбрать:

Stiffness Behavior – поведение материала (Flexible или Rigid);

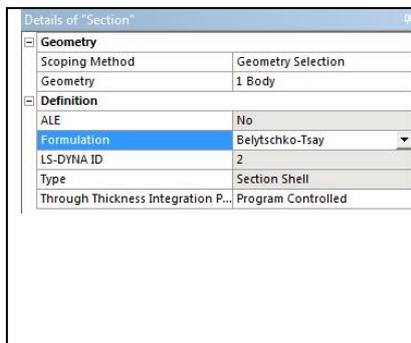
Thickness – толщину элемента;

Offset Type – выбор плоскости (Middle, Top или Bottom);

Assignment – выбор модели материала для данной геометрии.

Также можно использовать дополнительные элементы управления формулировкой элемента и контролем Hourglass:

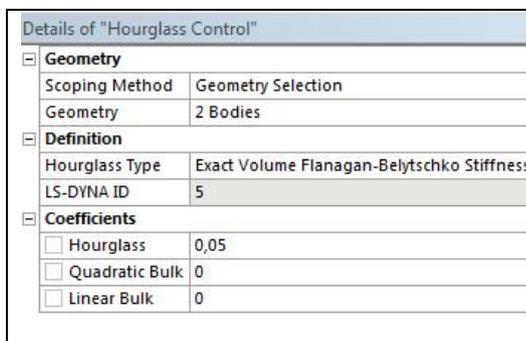
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Section



Formulation – выбор элементной формулировки;

Through Thickness integration – количество точек интегрирования по толщине.

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Hourglass control



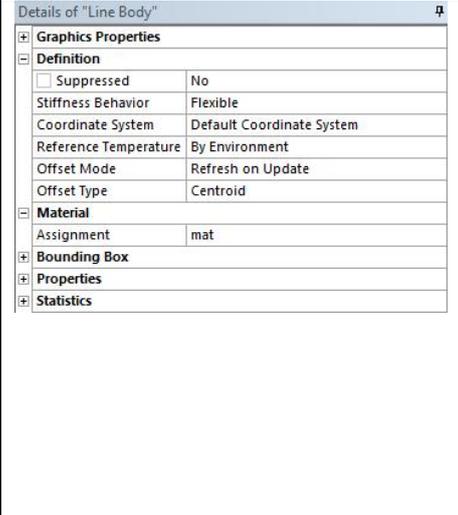
Hourglass Type – тип контроля параметра Hourglass;

Hourglass, Quadratic Bulk, Linear Bulk – Коэффициенты Hourglass.

1.2.1.3. Балочные элементы

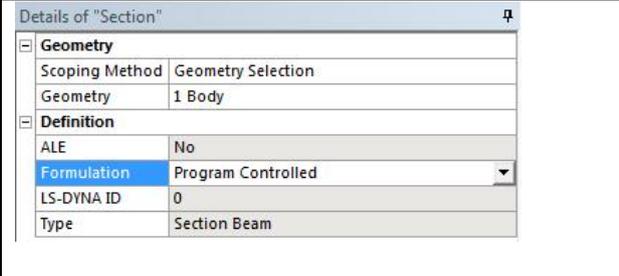
Присвоение свойств для балочной геометрии осуществляется командой:

Project → Model → Geometry → Line Body

	<p>Данное меню позволяет выбрать:</p> <p>Stiffness Behavior – поведение материала (Flexible или Stiff beam);</p> <p>Thickness – толщину элемента;</p> <p>Offset Type – вид балки;</p> <p>Assignment – выбор модели материала для данной геометрии.</p>
--	--

Выбор элементных формулировок для балочных элементов осуществляется следующей командой:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Section

	<p>Formulation – выбор формулировки балочного элемента (beam, truss, cable).</p>
---	--

Для построения круглых балок также может использоваться команда:

Project → Model → Connection → Beam

Details of "Circular - Surface Body To Surface Body"	
+ Graphics Properties	
[-] Definition	
Material	Structural Steel
Cross Section	Circular
Radius	1, mm
Suppressed	No
Beam Length	24709 mm
[-] Scope	
Scope	Body-Body
[-] Reference	
Scoping Method	Geometry Selection
Applied By	Remote Attachment
Scope	1 Face
Body	Surface Body
Coordinate System	Global Coordinate System
Reference X Coordinate	-11585 mm
Reference Y Coordinate	7745, mm
Reference Z Coordinate	0, mm
Reference Location	Click to Change
Behavior	Rigid
Pinball Region	All
[-] Mobile	
Scoping Method	Geometry Selection
Applied By	Remote Attachment
Scope	1 Face
Body	Surface Body
Coordinate System	Global Coordinate System
Mobile X Coordinate	13102 mm

Radius – радиус балки;

Behavior – жесткая или деформируемая балка;

Body – конечные узлы балки.

1.2.1.4. Дискретные элементы

К дискретным элементам относятся пружинные элементы и демпферы.

Поведение пружин только линейное и поддерживается предварительное нагружение.

Для построения дискретных элементов используется команда:

Project → Model → Connection → Spring

Details of "Longitudinal - Multiple To Surface Body"	
[-] Definition	
Type	Longitudinal
Spring Behavior	Both
<input type="checkbox"/> Longitudinal Stiffness	10, N/mm
<input type="checkbox"/> Longitudinal Damping	20, N·s/mm
Preload	None
Suppressed	No
Spring Length	12679 mm

Longitudinal Stiffness – жесткость пружины;

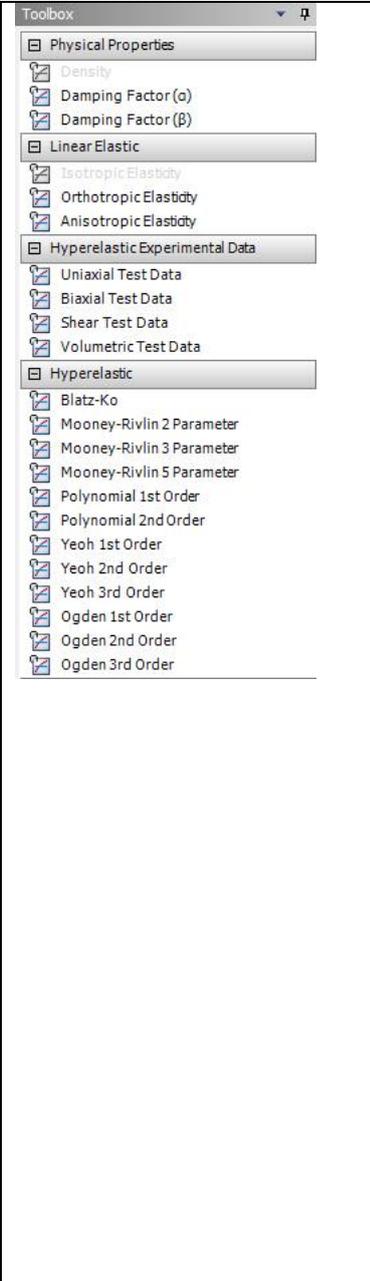
Longitudinal Damping – величина демпфирования;

Preload – наличие преднагружения.

1.2.2. Модели материалов.

Программа ANSYS Workbench LS-DYNA (без включения отдельных ключевых слов) поддерживает не все материалы доступные в LS-DYNA.

Для определения моделей материала используется закладка Engineering Data окне Workbench LS-DYNA. Для ввода требуемых параметров, которыми будет характеризоваться выбираемая модель, используется закладка Filter Engineering Data (выбрана по умолчанию). Параметры представлены в панели Toolbox (слева).

 <p>The image shows a screenshot of the 'Toolbox' panel in ANSYS Workbench. The panel is titled 'Toolbox' and contains a list of material models. The models are grouped into several categories, each with a small icon to its left. The categories and their sub-items are: 'Physical Properties' (Density, Damping Factor (α), Damping Factor (β)), 'Linear Elastic' (Isotropic Elasticity, Orthotropic Elasticity, Anisotropic Elasticity), 'Hyperelastic Experimental Data' (Uniaxial Test Data, Biaxial Test Data, Shear Test Data, Volumetric Test Data), and 'Hyperelastic' (Blatz-Ko, Mooney-Rivlin 2 Parameter, Mooney-Rivlin 3 Parameter, Mooney-Rivlin 5 Parameter, Polynomial 1st Order, Polynomial 2nd Order, Yeoh 1st Order, Yeoh 2nd Order, Yeoh 3rd Order, Ogden 1st Order, Ogden 2nd Order, Ogden 3rd Order).</p>	<p>Physical Properties – физические свойства: плотность и параметры демпфирования;</p> <p>Linear Elastic – параметры упругости для изотропной, ортотропной и анизотропной модели;</p> <p>Hyperelastic Experimental Data – экспериментальные данные с растяжения образцов;</p> <p>Hyperelastic – параметры для моделей резины;</p> <p>Plasticity – параметры для пластических моделей материала;</p> <p>Thermal – параметры для тепловых моделей материала;</p> <p>Equations of State – параметры уравнения состояний;</p> <p>Failure – параметры разрушения материала;</p> <p>Forming Plasticity – параметры пластичности для процессов формования;</p> <p>Foams – параметры для моделирования пены;</p> <p>Eulerian – параметры для моделирования Ейле-</p>
---	--

<ul style="list-style-type: none"> Plasticity <ul style="list-style-type: none"> Bilinear Isotropic Hardening Multilinear Isotropic Hardening Bilinear Kinematic Hardening Johnson Cook Strength Cowper Symonds Power Law Hardening Rate Sensitive Power Law Hardening Cowper Symonds Piecewise Linear Ha Modified Cowper Symonds Piecewise Strength <ul style="list-style-type: none"> Orthotropic Stress Limits Laminate Composite Fabric Constants Thermal <ul style="list-style-type: none"> Isotropic Thermal Conductivity Specific Heat, C_p Equations of State <ul style="list-style-type: none"> Bulk Modulus Shear Modulus Polynomial EOS Shock EOS Linear Shock EOS Bilinear Failure <ul style="list-style-type: none"> Plastic Strain Failure Principal Stress Failure Principal Strain Failure Tensile Pressure Failure Johnson Cook Failure Forming Plasticity <ul style="list-style-type: none"> Bilinear Transversely Anisotropic Harc Multilinear Transversely Anisotropic H Bilinear FLD Transversely Anisotropic Multilinear FLD Transversely Anisotro Bilinear 3 Parameter Barlat Hardening Exponential 3 Parameter Barlat Harder Exponential Barlat Anisotropic Hardeni Foams <ul style="list-style-type: none"> Rate Independent Low Density Foam Eulerian <ul style="list-style-type: none"> Vacuum Custom Material Models <ul style="list-style-type: none"> Create Custom Model ... 	<p>ровых свойств.</p> <p>например, Вакуума</p>
---	--

После выбора требуемых параметров в окне Properties of Outline Row появляются желтые строчки в которых вводятся количественные значения. Единицы, в которых необходимо ввести указываются в правом столбце.

Properties of Outline Row 4: 1			
	A	B	
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density		kg m ⁻³
4	Isotropic Elasticity		
5	Derive from	Young's Modulu...	
6	Young's Modulus		Pa
7	Poisson's Ratio		
8	Bulk Modulus		Pa
9	Shear Modulus		Pa
10	Bilinear Isotropic Hardening		
11	Yield Strength		Pa
12	Tangent Modulus		Pa

Программа ANSYS Workbench LS-DYNA позволяет использовать уже встроенные значения более чем для 200 материалов, которые заложены в базу данных программы.

Данные значения также находятся в Закладке Engineering Data Sources.

	<p>Модели для конкретных материалов: алюминий, воздух, бериллий, латунь, С4, Кадмий, Хром, Кобальт, Бетон, медь, золото, сталь, никель, резина, серебро, титан, TNT, вода, цинк (всего более 200 материалов)</p>
--	--

Примеры моделей материала доступные в ANSYS Workbench LS-DYNA приведены в таблице

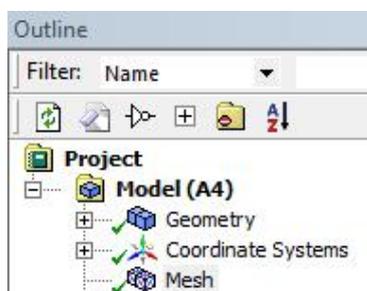
Модели материала	Обозначение через keyword	Номер материала в keyword
Linear Elastic		
- Isotropic	MAT_ELASTIC	*MAT_001
- Orthotropic	MAT_ORTHOTROPIC_ELASTIC	*MAT_002
- Aniso-		

tropic		
Plasticity		
- Bilinear isotropic	MAT_MODIFIED_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY	*MAT_123
- Multy-linear isotropic	MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY	*MAT_024
- Bilinear kinematic	MAT_PLASTIC_KINEMATIC	*MAT_003
- Johnson Cook	MAT_JOHNSON_COOK	*MAT_015
Hyper Elastic		
- Mooney-Rivlin	MAT_HYPERELASTIC_RUBBER	*MAT_007_H
- Polynomial	MAT_HYPERELASTIC_RUBBER	MAT_007_H
- Yeoh	MAT_HYPERELASTIC_RUBBER	MAT_007_H
- Ogden	MAT_OGDEN_RUBBER	MAT_007_O
- Arruda Boyce		
Rigid		
Rigid		*MAT_020
Equatioan of state		
- Linear	EOS_LINEAR_POLYNOMIAL	
- Shock Linear	EOS_GRUNEISEN	
Failure		
- Plastic strain		MAT_ADD_EROSION

- Principal stress		MAT_ADD_EROSION
- Johnson cook Tensile Failure		*MAT_015

1.2.3. Сетка для явных вычислений, элементы формулировки.

Нанесение сетки осуществляется встроенным в Ansys сеточным редактором. Для этих целей в дереве “Проект” имеется пункт Mesh.



Настройки можно осуществить в окне снизу Details of Mesh

	<p>Physics Preference – настройка параметров сетки под тип решателя. В данном случае Explicit;</p> <p>Relevance – шкала меняющая средний размер элементов сетки (от -100 до 100);</p> <p>Element Order – выбор порядка элемента (линейный или квадратичный со средней точкой);</p> <p>Sizing – точные настройки параметров сетки.</p>
--	---

Для выбора метода нанесения сетки используется меню: Верхняя панель → Mesh Control → Method

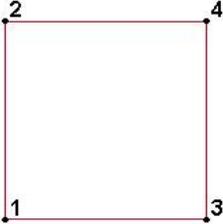
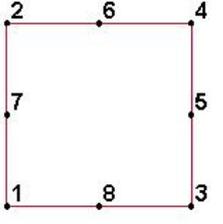
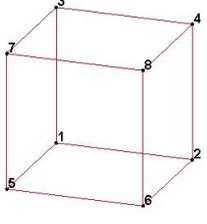
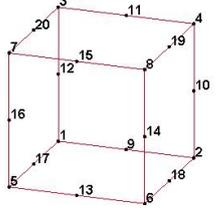
Details of "Automatic Method" - Method	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
[-] Definition	
Suppressed	No
Method	Automatic
Element Order	Use Global Setting

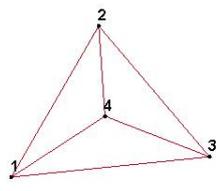
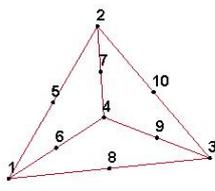
Geometry – выбор геометрии которую нужно разбить нужным методом;

Method – метод разбиения (автоматический, тетра, hex и др.);

Element Order – выбор порядка элемента для конкретной геометрии (линейный или квадратичный со средней точкой).

Основные виды линейных и квадратичных элементов

Тип элемента	Линейные*	Квадратичные**
Прямоугольные shell	 <p>ELFORM:=2</p>	 <p>ELFORM:=23</p>
6-и гранный solid	 <p>ELFORM:=1</p>	 <p>ELFORM:=23</p>

4-х гранный solid	 <p style="text-align: center;">ELFORM:=10</p>	 <p style="text-align: center;">ELFORM:=16</p>
-------------------	---	---

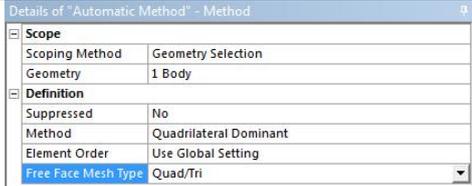
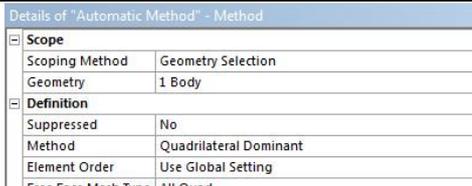
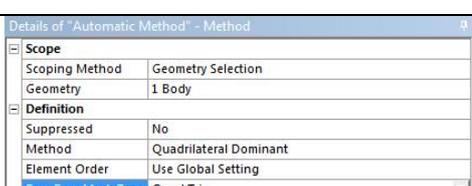
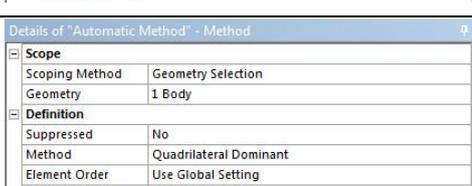
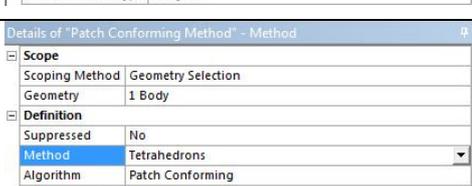
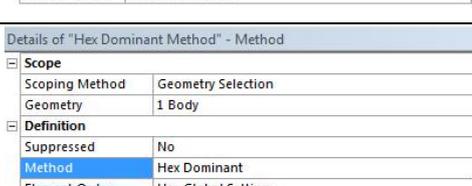
Замечания:

1. Определение линейных элементов в программе Ansys Workbench ls-dyna: Project → Model → Mesh; Element Order – Linear;
2. Определение квадратичных элементов в программе Ansys Workbench ls-dyna: Project → Model → Mesh; Element Order – Quadratic;
3. 6-и гранные квадратичные элементы не доступны в Ansys Workbench ls-dyna. Эти элементы можно преобразовать из 8-и узловых элементов используя программу ls-prepost (Mesh → EleGen → Solid → Hex8_to_Hex20).

Для разделения геометрии на требуемое число разбиения используется меню: Верхняя панель → Mesh Control → Sizing

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Edge Sizing" - Sizing</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">☐ Scope</td> </tr> <tr> <td>Scoping Method</td> <td>Geometry Selection</td> </tr> <tr> <td>Geometry</td> <td>1 Edge</td> </tr> <tr> <td colspan="2">☐ Definition</td> </tr> <tr> <td>Suppressed</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Type</td> <td>Element Size</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Element Size</td> <td>Default (43,166 mm)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">☐ Advanced</td> </tr> <tr> <td>Behavior</td> <td>Soft</td> </tr> <tr> <td>Bias Type</td> <td>No Bias</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Edge Sizing" - Sizing		☐ Scope		Scoping Method	Geometry Selection	Geometry	1 Edge	☐ Definition		Suppressed	No	Type	Element Size	<input type="checkbox"/> Element Size	Default (43,166 mm)	☐ Advanced		Behavior	Soft	Bias Type	No Bias	<p>Geometry – выбор геометрии которую нужно разбить (объем, поверхность, линия);</p> <p>Type разбиения – размер элемента, количество элементов и др.;</p> <p>Element Size – Величина;</p> <p>Behavior – поведение при разбиении (жесткое или мягкое).</p>
Details of "Edge Sizing" - Sizing																							
☐ Scope																							
Scoping Method	Geometry Selection																						
Geometry	1 Edge																						
☐ Definition																							
Suppressed	No																						
Type	Element Size																						
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (43,166 mm)																						
☐ Advanced																							
Behavior	Soft																						
Bias Type	No Bias																						

Примеры разбиения для конкретных типов элементов приведены далее

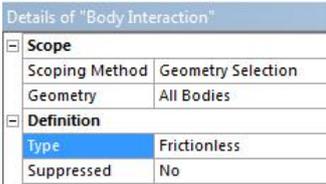
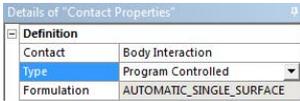
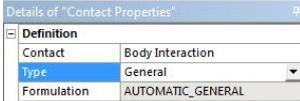
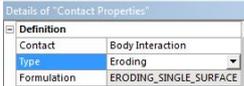
2D Triangle	Project → Model → Mesh → Automatic method	
2D Quadrangle	Project → Model → Mesh → Automatic method	
Shell Triangle	Project → Model → Mesh → Automatic method	
Shell Quadrangle	Project → Model → Mesh → Automatic method	
Solid Tetra	Project → Model → Mesh → Patch Conforming Method	
Solid Hex	Project → Model → Mesh → Hex Dominant Method	

Подробнее про нанесении сеточной геометрии можно найти в help по программе ansys workbench ls-dyna

1.2.4. Контактные алгоритмы (типы, настройки контактов).

Программа ANSYS Workbench LS-DYNA поддерживает основные типы контактов, которых достаточно для описания деформирова-

ния твердых тел. Подробное выбор, описание приведено далее. Также приведено соответствие контактов ключевым словам в LS-DYNA.

№	Путь в меню	Путь в меню	Карта контакта	Пояснение
	Project → Model	Project → Workbench LS-DYNA		
1	Project → Model → Connec- tions → Body In- teraction	-	CONTACT_ AUTOMATIC_ SINGLE_ SURFACE	Контакт все со всеми (приме- няется, напри- мер, при краш- тестах когда контактные по- верхности заре- нее не извест- ны)
2		Project → Model → Work- bench LS-DYNA → Contact properties  Type: Program Controlled	CONTACT_ AUTOMATIC_ SINGLE_ SURFACE	
3		 Type: General	CONTACT_ AUTOMATIC_ GENERAL	Контакт все со всеми (аналог Single surface)
4		 Type: Eroding	CONTACT_ ERODING_ SINGLE_ SURFACE	Применяется при разрушаю- щем контакте. Например, при контакте заго- товки с отходом при сверлении

5	Project → Model → Connections → Contacts → Frictionless*	-	CONTACT_ AUTOMATIC_ SURFACE _ TO _ SURFACE**	Применяется в большинстве случаев (без параметров трения)
6	Behavior – Program Controlled (or Symmetric)	Project → Model → Workbench LS-DYNA → Contact properties ****	CONTACT_ AUTOMATIC_ SURFACE _ TO _ SURFACE	
7		Type: Program Controlled	CONTACT_ AUTOMATIC_ SURFACE _ TO _ SURFACE	Применяется в процессах с разрушением материала (без параметров трения)
8		Type: Eroding	CONTACT_ FORMING_ SURFACE _ TO _ SURFACE	Применяется в процессах формования (без параметров трения)
9	Type: Forming	-	CONTACT_	Применяется

Details of "Frictionless - Surface Body To Surface"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	1 Face
Contact Bodies	Surface Body
Target Bodies	Surface Body
Contact Shell Face	Top
Target Shell Face	Bottom
Protected	No
Definition	
Type	Frictionless
Scope Mode	Manual
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Suppressed	No

Details of "Contact Properties"

Definition	
Contact	Frictionless - Surface Body To Surface
Type	Program Controlled
Formulation	AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
Common Controls	
Birth Time	0
Death Time	0
Viscous damping coeff.	10
Slave Penalty Scale Fa.	0
Master Penalty Scale	0
Advanced Controls	
Optional Thickness For	0 [mm]
Optional Thickness For	0 [mm]
Optional Solid Element	0 [mm]
Soft Constraint Formulation	Program Controlled
Soft Constraint Scale	0.1
Depth	5

Details of "Contact Properties"

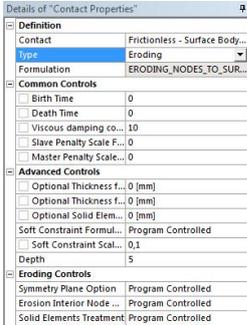
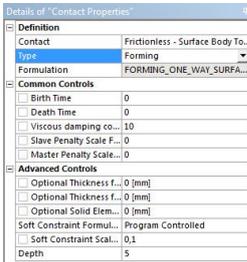
Definition	
Contact	Frictionless - Surface Body To Surface
Type	Eroding
Formulation	ERODDING_SURFACE_TO_SURFACE
Common Controls	
Birth Time	0
Death Time	0
Viscous damping coeff.	10
Slave Penalty Scale Fa.	0
Master Penalty Scale	0
Advanced Controls	
Optional Thickness For	0 [mm]
Optional Thickness For	0 [mm]
Optional Solid Element	0 [mm]
Soft Constraint Formulation	Program Controlled
Soft Constraint Scale	0.1
Depth	5
Bonding Controls	
Symmetry Plane Option	Program Controlled
Erosion Interior Node Opt.	Program Controlled
Solid Elements Treatment	Program Controlled

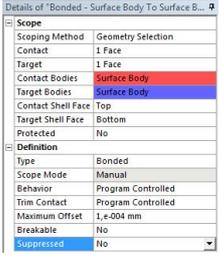
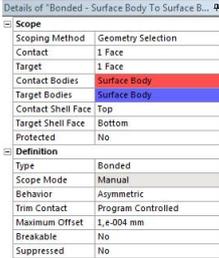
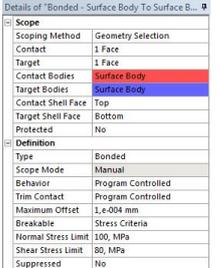
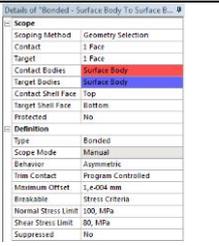
Details of "Contact Properties"

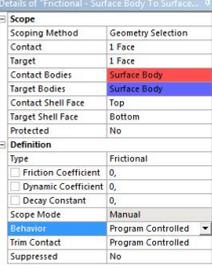
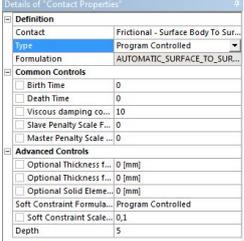
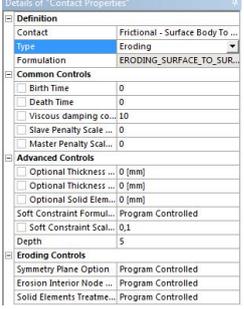
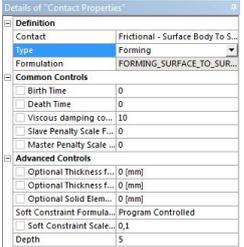
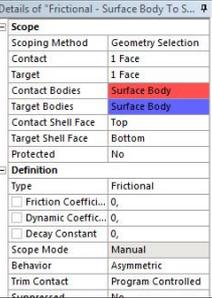
Definition	
Contact	Frictionless - Surface Body To Surface
Type	Forming
Formulation	FORMING_SURFACE_TO_SURFACE
Common Controls	
Birth Time	0
Death Time	0
Viscous damping coeff.	10
Slave Penalty Scale Fa.	0
Master Penalty Scale	0
Advanced Controls	
Optional Thickness For	0 [mm]
Optional Thickness For	0 [mm]
Optional Solid Element	0 [mm]
Soft Constraint Formulation	Program Controlled
Soft Constraint Scale	0.1
Depth	5

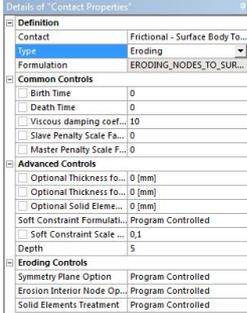
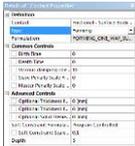
Details of "Frictionless - Surface Body To Surface"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	1 Face
Contact Bodies	Surface Body
Target Bodies	Surface Body
Contact Shell Face	Top
Target Shell Face	Bottom
Protected	No
Definition	
Type	Frictionless
Scope Mode	Manual
Behavior	Asymmetric
Trim Contact	Program Controlled
Suppressed	No

	Behavior – Asymmetric		AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE	когда нужно обеспечить контакт с узлами подчиненной части
10	Project → Model → Workbench LS-DYNA → Contact properties	 <p>Type: Eroding</p>	CONTACT_ERODING_NODES_TO_SURFACE	Применяется в когда нужно обеспечить контакт с узлами подчиненной части при разрушении
11	Project → Model → Workbench LS-DYNA → Contact properties	 <p>Type: Forming</p>	CONTACT_FORMING_ONE_WAY_TO_SURFACE	Применяется в процессах формования (без параметров трения). Используется односторонний поиск контакта
12	Project → Model → Connections → Contacts → Bonded*		CONTACT_TIED_SURFACE_TO_SURFACE	Применяется для связи частей (поверхностей) друг с

			FACE_OFF- SET	другом
13	 <p>Behavior – Asym- metric</p>		CONTACT_ TIED_ NODES_TO_ SURFACE_ OFFSET	
14	 <p>Breakable – Stress Criteria</p>		CONTACT_ AUTOMATIC SURFACE_ TO_SUR- FACE_TIE- BREAK	Применяется для связи ча- стей (поверхно- стей) друг с другом с пара- метрами разру- шение контакта
15	 <p>Behavior – Asym- metric Breakable – Stress Criteria</p>		CONTACT_ AUTOMATIC_ ONE_WAY_ SURFACE_ TO_SUR- FACE_TIE- BREAK	Применяется для связи ча- стей (поверхно- стей) друг с другом с пара- метрами разру- шение контакта. Однопроходный контакт
16	Project → Model → Connec- tions → Contacts → Frictional		CONTACT_ AUTOMATIC_ SURFACE_ TO_SUR-	Применяется в большинстве случаев (с па- раметрами тре-

17		<p>Project → Model → Work- bench LS-DYNA → Contact properties ****</p>  <p>Type: Program Controlled</p>	FACE ***	ния Frictional , Dynamic coeffi- cient, Decay constant)
18		 <p>Type: Eroding</p>	CONTACT_ AUTOMATIC_ SURFACE_ TO _ SUR- FACE	Применяется в процессах с разрушением материала (с параметрами трения)
19		 <p>Type: Forming</p>	CONTACT_ FORMING_ SURFACE_ TO _ SUR- FACE	Применяется в процессах фор- мования (с па- раметрами тре- ния)
20		-	CONTACT_ AUTOMATIC_ NODES _ TO _ SURFACE	Применяется в когда нужно обеспечить кон- такт с узлами подчиненной

21	Behavior – Asymmetric	Project → Model → Workbench LS-DYNA → Contact properties  Type: Eroding	CONTACT_ERODING_NODES_TO_SURFACE	Применяется в когда нужно обеспечить кон- такт с узлами подчиненной части при раз- рушении (с па- раметрами тре- ния)
22		Project → Model → Workbench LS-DYNA → Contact properties  Type: Forming	CONTACT_CONTACT_FORMING_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE	Применяется в процессах фор- мования (с па- раметрами тре- ния). Использо- вается однопро- ходный поиск контакта

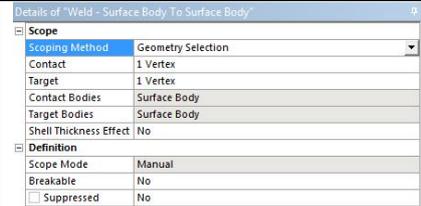
* - для вывода данного меню нажать правой кнопкой на “Connections” выбрать Insert → Manual Contact Region;

** - Soft constraint = 2 (Рекомендуется к применению при различных контактных материалах);

*** - Soft constraint = 0 (Рекомендуется к применению при схожих контактных материалах);

**** - Меню позволяет задать: время рождения и смерти контакта, коэффициент демпфирования контакта, параметр Soft constraint.

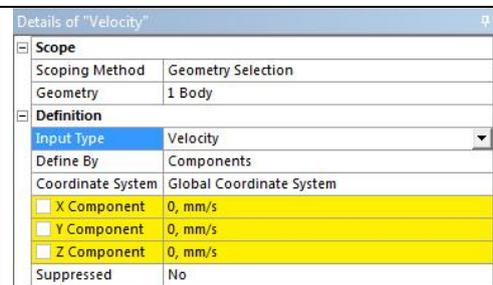
Для определения сварной точки используется команда: Project
 → Model → Connections → Contacts → Weld

	<p>Contact и Target – указываются 2 точки между которыми будет создана сварная точка</p> <p>Breakable – включение разрешения сварной точки</p>
---	--

1.2.5. Начальные условия.

В качестве начальных условий в ANSYS Workbench LS-DYNA может быть выбрана: начальная линейная скорость, начальная угловая скорость, высота падения при дроп-тесте.

Для этих целей используется команда:
 Project → Model → Workbench LS-DYNA → Initial Condition → Velocity

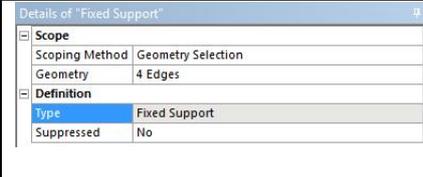
	<p>Geometry – указать геометрию на которую прикладываются начальные условия;</p> <p>Input Type – тип начальных условий (линейная скорость, угловая скорость, высота падения);</p> <p>Define By – определение с помощью компонент ли вектора;</p> <p>X, Y, Z Component – значения скорости.</p>
---	--

1.2.6. Граничные условия.

В качестве граничных условий можно ввести ограничения, нагрузки и ускорения.

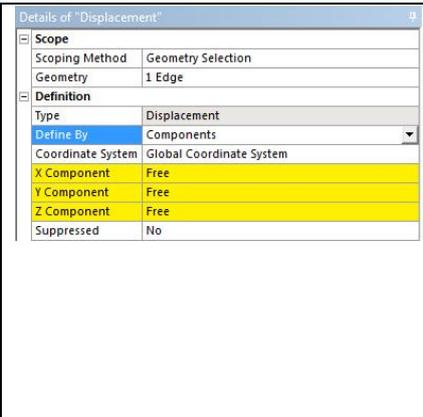
Граничные условия можно определить нажав правой кнопкой на меню Workbench LS-DYNA → Insert

Для полной фиксации модели используется команда
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Fixed support

	<p>Geometry – указать геометрию на которую прикладываются полные ограничения</p>
---	--

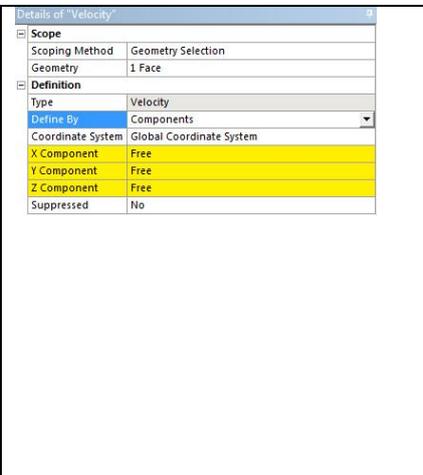
Для задания перемещения на требуемую геометрию применяется команда:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Displacement

	<p>Geometry – указать геометрию на которую прикладывается перемещение; Define By – определение с помощью компонент ли вектора; X, Y, Z Component – значения перемещения.</p>
--	--

Для задания скорости на требуемую геометрию применяется команда:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Velocity

	<p>Geometry – указать геометрию на которую прикладывается скорость; Define By – определение с помощью компонент ли вектора X, Y, Z Component – значения скорости.</p>
---	---

Для ограничения только по перемещениям применяется команда
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Simply Supported

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Simply Supported"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Scope</td> </tr> <tr> <td>Scoping Method</td> <td>Geometry Selection</td> </tr> <tr> <td>Geometry</td> <td>1 Edge</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Definition</td> </tr> <tr> <td>Type</td> <td>Simply Supported</td> </tr> <tr> <td>Suppressed</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Simply Supported"		Scope		Scoping Method	Geometry Selection	Geometry	1 Edge	Definition		Type	Simply Supported	Suppressed	No	<p>Geometry – указать геометрию на которую прикладываются ограничения</p>
Details of "Simply Supported"															
Scope															
Scoping Method	Geometry Selection														
Geometry	1 Edge														
Definition															
Type	Simply Supported														
Suppressed	No														

Для ограничения только по вращению применяется команда
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Fixed Rotation

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Fixed Rotation"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Scope</td> </tr> <tr> <td>Scoping Method</td> <td>Geometry Selection</td> </tr> <tr> <td>Geometry</td> <td>1 Edge</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Definition</td> </tr> <tr> <td>Type</td> <td>Fixed Rotation</td> </tr> <tr> <td>Coordinate System</td> <td>Global Coordinate System</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Rotation X</td> <td>Fixed</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Rotation Y</td> <td>Fixed</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Rotation Z</td> <td>Fixed</td> </tr> <tr> <td>Suppressed</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Fixed Rotation"		Scope		Scoping Method	Geometry Selection	Geometry	1 Edge	Definition		Type	Fixed Rotation	Coordinate System	Global Coordinate System	<input type="checkbox"/> Rotation X	Fixed	<input type="checkbox"/> Rotation Y	Fixed	<input type="checkbox"/> Rotation Z	Fixed	Suppressed	No	<p>Geometry – указать геометрию на которую прикладываются ограничения на вращение Rotation X, Y, Z – ограничение на вращение по осям</p>
Details of "Fixed Rotation"																							
Scope																							
Scoping Method	Geometry Selection																						
Geometry	1 Edge																						
Definition																							
Type	Fixed Rotation																						
Coordinate System	Global Coordinate System																						
<input type="checkbox"/> Rotation X	Fixed																						
<input type="checkbox"/> Rotation Y	Fixed																						
<input type="checkbox"/> Rotation Z	Fixed																						
Suppressed	No																						

Для приложения ускорения на всю модель применяется команда
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Acceleration

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Acceleration"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Scope</td> </tr> <tr> <td>Geometry</td> <td>All Bodies</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Definition</td> </tr> <tr> <td>Define By</td> <td>Components</td> </tr> <tr> <td>Coordinate System</td> <td>Global Coordinate System</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> X Component</td> <td>0, mm/s² (step applied)</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Y Component</td> <td>0, mm/s² (step applied)</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Z Component</td> <td>0, mm/s² (step applied)</td> </tr> <tr> <td>Suppressed</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Acceleration"		Scope		Geometry	All Bodies	Definition		Define By	Components	Coordinate System	Global Coordinate System	<input checked="" type="checkbox"/> X Component	0, mm/s ² (step applied)	<input checked="" type="checkbox"/> Y Component	0, mm/s ² (step applied)	<input checked="" type="checkbox"/> Z Component	0, mm/s ² (step applied)	Suppressed	No	<p>Define By – определение с помощью компонент ли вектора X, Y, Z Component – значения ускорения</p>
Details of "Acceleration"																					
Scope																					
Geometry	All Bodies																				
Definition																					
Define By	Components																				
Coordinate System	Global Coordinate System																				
<input checked="" type="checkbox"/> X Component	0, mm/s ² (step applied)																				
<input checked="" type="checkbox"/> Y Component	0, mm/s ² (step applied)																				
<input checked="" type="checkbox"/> Z Component	0, mm/s ² (step applied)																				
Suppressed	No																				

Для приложения силы тяжести на модель применяется команда
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Standard Earth Gravity

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Standard Earth Gravity"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Scope</td> </tr> <tr> <td>Geometry</td> <td>All Bodies</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Definition</td> </tr> <tr> <td>Coordinate System</td> <td>Global Coordinate System</td> </tr> <tr> <td>X Component</td> <td>0, mm/s² (step applied)</td> </tr> <tr> <td>Y Component</td> <td>0, mm/s² (step applied)</td> </tr> <tr> <td>Z Component</td> <td>-9806,6 mm/s² (step applied)</td> </tr> <tr> <td>Suppressed</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Direction</td> <td>-Z Direction</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Standard Earth Gravity"		Scope		Geometry	All Bodies	Definition		Coordinate System	Global Coordinate System	X Component	0, mm/s ² (step applied)	Y Component	0, mm/s ² (step applied)	Z Component	-9806,6 mm/s ² (step applied)	Suppressed	No	Direction	-Z Direction	<p>X, Y, Z Component – значения гравитации Direction – направление действия гравитации</p>
Details of "Standard Earth Gravity"																					
Scope																					
Geometry	All Bodies																				
Definition																					
Coordinate System	Global Coordinate System																				
X Component	0, mm/s ² (step applied)																				
Y Component	0, mm/s ² (step applied)																				
Z Component	-9806,6 mm/s ² (step applied)																				
Suppressed	No																				
Direction	-Z Direction																				

Для приложения давление на поверхность применяется команда
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Pressure

Details of "Pressure"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
Type	Pressure
Define By	Normal To
<input checked="" type="checkbox"/> Magnitude	0, MPa (step applied)
Suppressed	No

Geometry – указать плоскую геометрию на которую прикладывается давление;

Define By – определение с помощью нормали, компонента или вектора;

Magnitude – величина давления

Для приложения гидростатического давления на поверхность применяется команда
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Hydrostatic Pressure

Details of "Hydrostatic Pressure"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Shell Face	Top
Definition	
Type	Hydrostatic Pressure
Coordinate System	Global Coordinate System
<input checked="" type="checkbox"/> Fluid Density	0, t/mm ³
Suppressed	No
Hydrostatic Acceleration	
Define By	Vector
<input checked="" type="checkbox"/> Magnitude	0, mm/s ²
Direction	Click to Change
Free Surface Location	
<input type="checkbox"/> X Coordinate	0, mm
<input type="checkbox"/> Y Coordinate	0, mm
<input type="checkbox"/> Z Coordinate	0, mm
Location	Click to Change

Geometry – указать плоскую геометрию на которую прикладывается гидростатическое давление

Fluid Density – плотность жидкости;

Define By – определение с помощью компонента или вектора;

Magnitude – величина давления.

Для приложения усилия на поверхность применяется команда
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Force

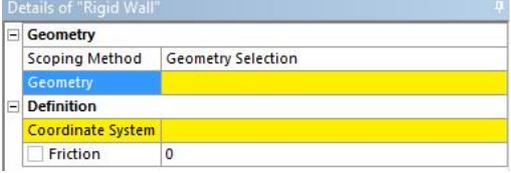
Details of "Force"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
Type	Force
Define By	Vector
<input checked="" type="checkbox"/> Magnitude	0, N (step applied)
Direction	Click to Change
Suppressed	No

Geometry – указать плоскую геометрию на которую прикладывается усилие;

Define By – определение с помо-

	щью компонента или вектора; Magnitude – величина усилия.
--	---

Для создания жесткой стенки (Rigid Wall) применяется команда
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Rigid Wall

	<p>Geometry – указать плоскую геометрию относительно которой строится Rigid Wall; Coordinate System – система координат.</p>
---	--

Для работы с Rigid телами применяются команды
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Rigid Body

Rigid Body Rotation	Определение вращения на Rigid теле
Rigid Body Angular Velocity	Определение угловой скорости на Rigid теле
Rigid Body Force	Определение усилия на Rigid теле
Rigid Body Moment	Определение момента на Rigid теле
Rigid Body Constrain	Ограничение Rigid тела
Rigid Body Property	Определение моментов инерции Rigid тела

Для вывода дополнительных данных (например, для вывода информации по узлам) применяются Tracker:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Result Tracker

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Body Contact Tracker

1.2.7. Joints.

Joints – предназначены для соединения двух жестких тел.

Выбор Joints осуществляется из верхнего меню по кнопке Body-Body и выбора соответствующего соединения. Например, Cylindrical для соединения двух цилиндров.



Details of "Cylindrical - No Selection To No Select..."	
Definition	
Connection Type	Body-Body
Type	Cylindrical
Suppressed	No
Reference	
Scoping Method	Geometry Selection
Applied By	Remote Attachment
Scope	No Selection
Body	No Selection
Coordinate System	Reference Coordinate System
Pinball Region	All
Mobile	
Scoping Method	Geometry Selection
Applied By	Remote Attachment
Scope	No Selection
Body	No Selection
Initial Position	Unchanged
Pinball Region	All

Type - выбрать тип соединения: Fixed, Revolve, Translational, Slot, Cylindrical, Universal, Spherical, Planar, General, Bushing.

Scope – выбор геометрии (контактных плоскостей rigid геометрии).

Подробнее по определении цилиндрического соединения можно посмотреть в источнике: Workbench LS-DYNA (ACT Extension) Training. Workshop 8. Kinematic Joints – Cylindrical. 15.0 Release.

1.2.8 Контрольные карты

Программа ansys workbench ls-dyna поддерживает основные контрольные карты и карты вывода.

Определение критерия остановки процесса расчета (*CONTROL_TERMINATION).

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Step Controls

Details of "Analysis Settings"		
Step Controls		
End Time	0,002	End Time – время окончания расчета;
Time Step Safety Factor	0,9	Time Step Safety Factor – коэффициент запаса;
Maximum Number Of Cycles	10000000	Maximum Number of Cycles – максимальное количество временных шагов;
Automatic Mass Scaling	No	Automatic Mass Scaling – массовое скалирование.

Определение временного шага (*CONTROL_TIMESTEP).

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Step Controls.

Можно задать требуемый временной шаг для выполнения массового скалирования.

Automatic Mass Scaling	Yes	Automatic Mass Scaling – массовое скалирование;
Time Step Size	1E-07	

Определение временного шага с помощью графика (*CONTROL_TIMESTEP, DEFINE_CURVE)

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Time step control

Details of "Time Step Control" <input type="checkbox"/> Definition <table border="1"> <tr> <td>Unit</td> <td>Time</td> </tr> <tr> <td>Magnitude</td> <td>Tabular Data</td> </tr> </table>		Unit	Time	Magnitude	Tabular Data	Ввод табличных данных для графика определяющий временной шаг							
Unit	Time												
Magnitude	Tabular Data												
Tabular Data <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Time [s]</th> <th>Magnitude</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,</td> <td>1,e-007</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2,e-003</td> <td>2,e-007</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>N/A 1,</td> <td>2,e-007</td> </tr> </tbody> </table>			Time [s]	Magnitude	1	0,	1,e-007	2	2,e-003	2,e-007	3	N/A 1,	2,e-007
	Time [s]	Magnitude											
1	0,	1,e-007											
2	2,e-003	2,e-007											
3	N/A 1,	2,e-007											

Определение параметров для запуска процесса на расчет

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка CPU and Memory Management.

CPU and Memory Management <table border="1"> <tr> <td>Memory Allocation</td> <td>Program Controlled</td> </tr> <tr> <td>Number Of CPUS</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Processing Type</td> <td>Program Controlled</td> </tr> </table>		Memory Allocation	Program Controlled	Number Of CPUS	1	Processing Type	Program Controlled	Memory Allocation – определение выделяемой памяти для расчета*; Number of CPUS – количество используемых процессоров; Processing Type – тип используемого решателя (SMP или MMP).
Memory Allocation	Program Controlled							
Number Of CPUS	1							
Processing Type	Program Controlled							

* - зависит от размера конечно-элементной модели. Можно установить равной 250000000 или 500000000.

Определение типа решателя:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Solver Controls

Solver Controls <table border="1"> <tr> <td>Solver Type</td> <td>Program Controlled</td> </tr> <tr> <td>Solver Precision</td> <td>Program Controlled</td> </tr> <tr> <td>Unit System</td> <td>nmm</td> </tr> </table>		Solver Type	Program Controlled	Solver Precision	Program Controlled	Unit System	nmm	Solver Type – тип решателя (структурный или структурно-тепловой); Solver Precision – точность решателя (одинарный или двойной точности); Unit System – система единиц.
Solver Type	Program Controlled							
Solver Precision	Program Controlled							
Unit System	nmm							

Определение времени действия начальной скорости:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Initial Velocities (*VELOCITY_GENERATION_START_TIME).

Initial Velocities		Initial Velocities are applied immediately – определение действия начальной скорости; Start Time – время начала действия.
Initial Velocities are applied immediately	No	
Start Time	0	

Определение глобального демпфирования:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Damping control (*DAMPING_GLOBAL)

Damping Controls		Global Damping – определение глобального демпфирования; Magnitude – величина глобального демпфирования.
Global Damping	Yes	
Magnitude	0	

Определение Hourglass control

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Hourglass Controls (*CONTROL_HOURLASS)

Hourglass Controls		Hourglass Type – тип Hourglass; LS-DYNA ID – номер типа Hourglass; Default Hourglass Coefficient – Hourglass коэффициент.
Hourglass Type	Program Controlled	
LS-DYNA ID	0	
Default Hourglass Coeffici...	0,05	

Определение выходных параметров:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Output Control (*DATABASE_FORMAT, *DATABASE_EXTENT_BINARY, *DATABASE_BINARY_D3PLOT, *INTERFACE_SPRINGBACK_LSDYNA).

Output Controls		
Output Format	Program Controlled	
Binary File Size Scale Factor	70	
Stress	Yes	Stress – вывод напряжений;
Strain	No	Strain – вывод деформаций;
Plastic Strain	Yes	Plastic Strain – вывод пластических деформаций;
Calculate Results At	Equally Spaced Points	Calculate Results At – сохранение результатов (определение частоты записи или времени сохранения);
--- Value	100	Value – значение;
Stress File for flexible parts	No	Stress File for flexible parts – сохранение выходного файла .

Определение выходных параметров временной истории:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Time History Output Control (*DATABASE_ASCII).

Time History Output Controls		
Calculate Results At	Equally Spaced Points	
--- Value	1000	Value – значение;
Output	No	Output – вывод ASCII файлов BNDOUT,

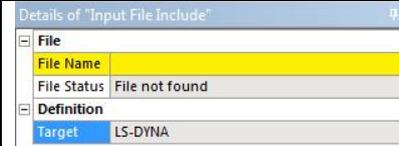
	DEFGE0, DEF0RC, GCE0UT, GLSTAT, JNTFORC, NOD0UT, MATSUM, NCF0RC, RBD0UT, RCF0RC, RWF0RC, SLE0UT, SPCFORC, SWFORC
--	--

1.3. Интеграция LS-Dyna в Ansys Workbench.

Для интеграции ключевых слов программы LS-DYNA в Ansys Workbench могут применяться следующие команды.

Для включения части другого файла в данный файл используется команда:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Input File Include

	Требуется указать название подгружаемого файла
---	--

Для ручного ввода ключевых слов используется команда:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Keyword Snippet

В этом случае вместо модели открывается окно Command, где вводятся дополнительные ключевые слова (которых нет по умолчанию в программе Ansys Workbench ls-dyna).

```

Commands
$ Keyword Snippet
$ Do not leave any unintentional empty lines in this editor
  
```

Для более тщательной правки можно использовать текстовый редактор или другой препроцессор, например, LS-PREPOST.

Для этого можно использовать иконку для сохранения k-файла (верхнее меню).



Однако в этом случае запуск на расчет происходит из окна программы LS-DYNA (используя менеджер LS-DYNA или с помощью консоли) и расчет нельзя будет посмотреть в Ansys Workbench. Но в этом случае можно использовать Все возможность LS-DYNA по ключевым словам.

1.4. Анализ результатов в Ansys.

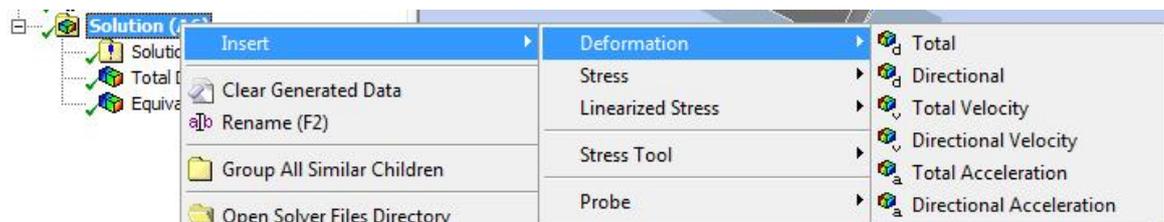
Для вывода результатов после запуска на расчет используется меню Solution:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Solution

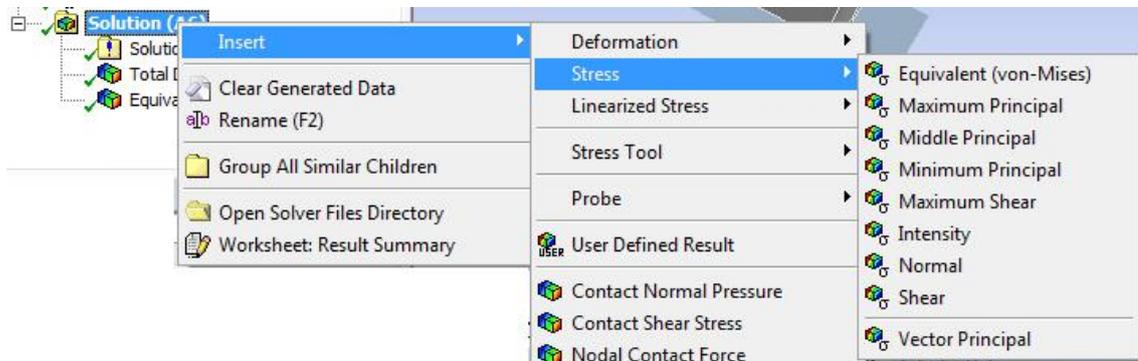
Вывод необходимых параметров можно осуществить, нажав левой кнопкой мыши по меню Solution → Insert.

Программа позволяет осуществить вывод связанный с деформациями: Total, Directional, Total Velocity, Directional Velocity, Total Acceleration, Directional Acceleration .

Вывод деформаций:



Вывод напряжений: Equivalent (von_Mises), Maximum Principal, Middle Principal, Minimum Principal, Maximum Principal, Intensity, Normal Shear, Vector Principal.

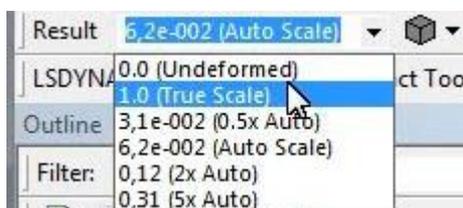


Для вывода деформаций по осям координат при запуске расчета нужно не забыть активировать вывод деформаций:

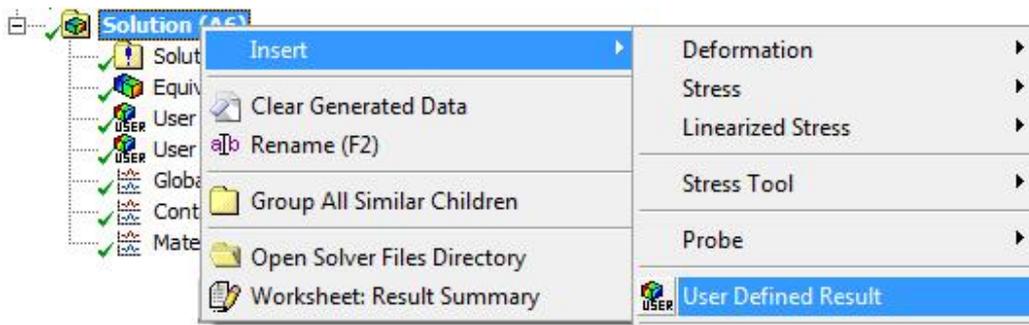
Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Output Control

Output Controls	
Output Format	Program Controlled
Binary File Size Scale Factor	70
Stress	Yes
Strain	Yes
Plastic Strain	Yes
Calculate Results At	Program Controlled
Stress File for flexible parts	No

Кроме этого, для точного вывода анимации нужно сделать вывод в реальном масштабе. Для этого в верхнем меню нужно выбрать вывод результатов 1.0 (True Scale).



Для вывода дополнительных данных можно использовать вывод User Defined Result.



В этом случае в окне User Defined Result доступен ввод расширения Expression который означает вывод по определенному параметру.

Details of "User Defined Result 3"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
[-] Definition	
Type	User Defined Result
Expression	=
Input Unit System	Metric (mm, t, N, s, mV, mA)

Узнать какое обозначение соответствует вводу в расширения Expression можно при помощи иконки Worksheet (Верхнее меню программы)



Таблица с расширениями Expression приведена ниже

Type	Data Type	Data Style	Component	Expression	Output Unit
U	Nodal	Scalar	X	UX	Displacement
U	Nodal	Scalar	Y	UY	Displacement
U	Nodal	Scalar	Z	UZ	Displacement
U	Nodal	Scalar	SUM	USUM	Displacement
U	Nodal	Vector	VECTORS	UVECTORS	Displacement
V	Nodal	Scalar	X	VX	Velocity
V	Nodal	Scalar	Y	VY	Velocity
V	Nodal	Scalar	Z	VZ	Velocity
V	Nodal	Scalar	SUM	VSUM	Velocity
V	Nodal	Vector	VECTORS	VVECTORS	Velocity
A	Nodal	Scalar	X	AX	Acceleration
A	Nodal	Scalar	Y	AY	Acceleration
A	Nodal	Scalar	Z	AZ	Acceleration
A	Nodal	Scalar	SUM	ASUM	Acceleration
A	Nodal	Vector	VECTORS	AVECTORS	Acceleration
S	Element Nodal	Scalar	X	SX	Stress
S	Element Nodal	Scalar	Y	SY	Stress
S	Element Nodal	Scalar	Z	SZ	Stress
S	Element Nodal	Scalar	XY	SXY	Stress
S	Element Nodal	Scalar	YZ	SYZ	Stress
S	Element Nodal	Scalar	XZ	SXZ	Stress
S	Element Nodal	Scalar	1	S1	Stress
S	Element Nodal	Scalar	2	S2	Stress
S	Element Nodal	Scalar	3	S3	Stress
S	Element Nodal	Scalar	INT	SINT	Stress
S	Element Nodal	Scalar	EQV	SEQV	Stress
S	Element Nodal	Tensor	VECTORS	SVECTORS	Stress
S	Element Nodal	Scalar	MAXSHEAR	SMAXSHEAR	Stress
EROSION	Elemental	Scalar		EROSION	No Units
EPTO	Element Nodal	Scalar	X	EPTOX	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	Y	EPTOY	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	Z	EPTOZ	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	XY	EPTOXY	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	YZ	EPTOYZ	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	XZ	EPTOXZ	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	1	EPTO1	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	2	EPTO2	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	3	EPTO3	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	INT	EPTOINT	Strain
EPTO	Element Nodal	Tensor	VECTORS	EPTOVECTORS	Strain
EPTO	Element Nodal	Scalar	MAXSHEAR	EPTOMAXSHEAR	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	X	EPELX	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	Y	EPELY	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	Z	EPELZ	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	XY	EPELXY	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	YZ	EPELYZ	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	XZ	EPELXZ	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	1	EPEL1	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	2	EPEL2	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	3	EPEL3	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	INT	EPELINT	Strain
EPEL	Element Nodal	Tensor	VECTORS	EPELVECTORS	Strain
EPEL	Element Nodal	Scalar	MAXSHEAR	EPELMAXSHEAR	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	X	EPPLX	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	Y	EPPLY	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	Z	EPPLZ	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	XY	EPPLXY	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	YZ	EPPLYZ	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	XZ	EPPLXZ	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	1	EPPL1	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	2	EPPL2	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	3	EPPL3	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	INT	EPPLINT	Strain
EPPL	Element Nodal	Tensor	VECTORS	EPPLVECTORS	Strain
EPPL	Element Nodal	Scalar	MAXSHEAR	EPPLMAXSHEAR	Strain
EPS	Element Nodal	Scalar		EPS	Strain
TEMP	Nodal	Scalar		TEMP	Temperature

Данными значениями пользоваться довольно удобно. Например, расширение EPS осуществляет вывод по пластическим деформациям по Von Mises.

Для вывода графиков по различным параметрам (энергии, усилий, контактных значений и т.п.), значения ASCII LS-DYNA используется команда:

Project → Model → Workbench LS-DYNA → Analysis setting, закладка Time History Output Control

Details of "Analysis Settings"	
	No
	Boundary Condition Forces and Energy
	Deformed Geometry Data
	Discrete Elements Data
	Element Data
	Geometry Contact Entities
	Global Data
☐ Time History Output Controls	Joint Force Data
Calculate Results At	Material energies Data
--- Value	1000
Output	No

где Value количество точек записей (по умолчанию 1000)

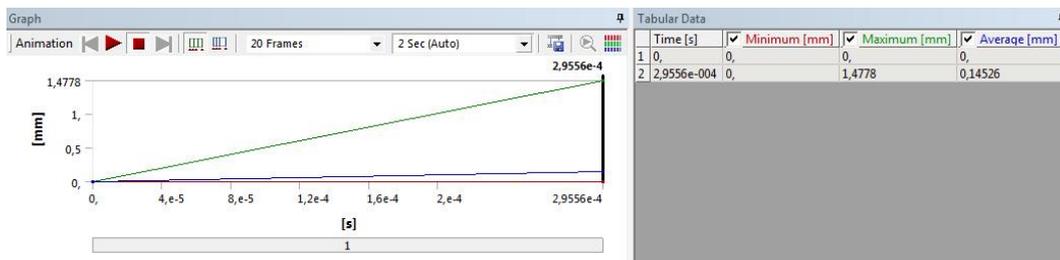
Примеры выходных параметров ASCII.

- GLSTAT (Kinetic Energy, Internal Energy, Total Energy, Hourglass,);
- BNDOUT (Boundary Conditions Data);
- RCFORC (Contact Forces Data);
- SPCFORC (Reaction Forces, used the *BOUNDARY_SPC (Fixed Support));
- MATSUM (Energy Body Data);
- NODOUT (Nodal Data) Для вывода узловых данных необходимо определение Трекеров (Tracker), п.2.2.6.

При анализе результатов в рабочем окне выводятся результаты расчета в виде сохраненных этапов. По умолчанию количество сохраненных этапов 20. Изменить количество сохраненных этапов можно при помощи команды Project → Model → Workbench LS-DYNA →

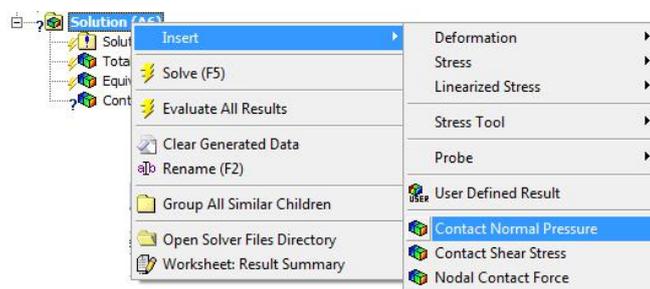
Analysis setting, закладка Output Control, Calculate Results at – Equally Spaces Point, Value = 100 (рекомендуется пользователями Is-dyna). Кроме этого для сохранения напряжений для деформируемых частей можно установить параметр Stress File for flexible parts – Yes.

Под рабочим окном выводится панель анимации (для управления и сохранения анимации). Также выводится график значений для снимаемого параметра для минимального, максимального и среднего значения и таблица с этими значениями.



В результатах можно вывести значения в зонах контакта (при использовании Manual Contact Region).

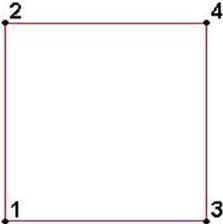
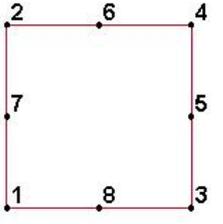
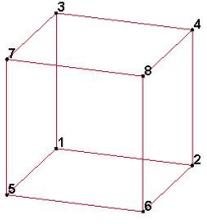
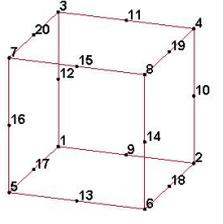
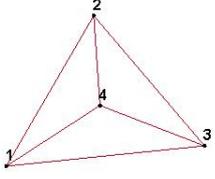
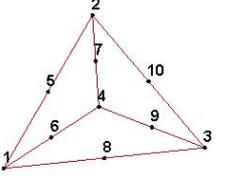
Вывод данных параметров можно осуществить, нажав левой кнопкой мыши по меню Solution → Insert



В случае если какие то данные не получается извлечь из сохраненной базы данных, то это можно сделать используя препроцессор LS-PREPOST, бесплатно поставляемый для пользователей LS-DYNA.

Программа ls-dyna (ansys workbench ls-dyna) может использовать линейные и квадратичные элементы. Квадратичные элементы предполагают использование среднего дополнительного узла по ребру элемента

Основные виды линейных и квадратичных элементов

Тип элемента	Линейные*	Квадратичные**
Прямоугольные shell	 <p>ELFORM:=2</p>	 <p>ELFORM:=23</p>
6-и гранный solid	 <p>ELFORM:=1</p>	 <p>ELFORM:=23</p>
4-х гранный solid	 <p>ELFORM:=10</p>	 <p>ELFORM:=16</p>

*Определение в программе Ansys Workbench ls-dyna: Project → Model → Mesh; Element Order – Linear.

**Определение в программе Ansys Workbench ls-dyna: Project → Model → Mesh; Element Order – Linear.

1.5. LS-Dyna: преимущества и недостатки

1.5.1. Преимущества программы LS-DYNA на основе препост-процессора LS-PREPOST

Программа LS-DYNA на основе препостпроцессора LS-PREPOST имеет следующие преимущества:

- полный набор ключевых слов позволяющих решать задачи прочности, гидрогазодинамики, электродинамики, мультифизические и другие задачи;
- доступ ко всем настройкам и опциям программы с подробным описанием каждой опции;
- простой и бесплатный препроцессор “заточенный” непосредственно под программу LS-DYNA, позволяющий создавать модели под такие методы расчета как SPH (Smooth Particle Hydrodynamics), DEM (Discrete Element Method), SPG (smooth particle Galerkin) и др.
- постпроцессор позволяет сразу после запуска расчета просматривать результаты (при запуске файла на расчет и сохранении первого 3dplot файла результаты можно сразу просмотреть в препроцессоре LS-PREPOST (верхнее меню - File – Open – LS-DYNA Binary plot). В процессе прохождения расчета будут сохраняться новые d3plot файлы, их также можно подгрузить используя Верхнее меню – File – Ur-

date. Другой вариант закрыть и открыть ls-prepost заного и загрузить сохраненные d3plot файлы File – Open – LS-DYNA Binary plot).

- стоимость (стоимость программы LS-DYNA с препроцессором ls-prepost ниже примерно в 2,5-3 раза по сравнению с программой ANSYS Workbench LS-DYNA). При этом стоимость зависит на сколько ядер покупается лицензия и снижается в несколько раз при покупке начиная с 4-го ядра.

1.5.2. Недостатки программы LS-DYNA на основе препостпроцессора LS-PREPOST

Программа LS-DYNA на основе препостпроцессора LS-PREPOST имеет следующие недостатки:

- необходимость задавать вручную все требуемые ключевые слова;

- сеточный генератор не позволяет создавать гексагональные (кубические, Hex) сетки для сложных объемных тел. В этом случае приходится использовать разбивку геометрии на более простые части с последующей нанесением сетки, что в ряде случаев также выдает ошибку. В данных случаях приходится использовать Тетраэдральную сетку которая требует использования большего количества элементов и, как правило, не рекомендуется для динамических расчетов с большими деформациями.

1.6. ANSYS Workbench/LS-Dyna: преимущества и недостатки

1.6.1. Преимущества программы ANSYS Workbench/LS Dyna

Программа ANSYS Workbench/LS Dyna имеет следующие преимущества:

- упрощенный ввод параметров для расчета (характерный для пользователей Ansys Workbench); пример (количество кликов мыши - граничные условия);

- удобный и относительно новый препостпроцессор;

- многие ключевые слова, контрольные и выходные карты (database) создаются автоматически (не нужно их вводить);

Например, для примера 1 (со сферой) дополнительно создаются данные карты:

```
*DATABASE_FORMAT, *CONTROL_TIMESTEP,  
*CONTROL_CONTACT, *CONTROL_ENERGY,  
*CONTROL_BULK_VISCOSITY, *CONTROL_SOLID,  
*CONTROL_SHELL, *CONTROL_OUTPUT,  
*CONTROL_PARALLEL, *CONTROL_SOLUTION,  
*CONTROL_ALE, *CONTROL_RIGID,  
*DEFINE_COORDINATE_SYSTEM,  
*DATABASE_BINARY_INTFOR
```

Эти карты позволяют обеспечить вывод дополнительных параметров, добавляют вязкость в модель и др. Их вывод связан с особенностями создания к файла в программе ANSYS. Отдельные карты содержат параметры по умолчанию и не используются в расчете рассматриваемых примеров. Например, карта *CONTROL_SOLUTION по умолчанию имеет параметр SOLN=0, что соответствует Structural analysis и не используется в расчете. Но при решении тепловых задач параметр SOLN будет заменен на 1 или 2 и тогда это учитывается программой.

*DATABASE_FORMAT – позволяет указать программе для какой программы делать выходные файлы (Ansys или Ls-dyna). По умолчанию только LS-DYNA.

*CONTROL_TIMESTEP – позволяет задать вручную временной шаг. По умолчанию определяется автоматически. Но в данной карте также активирована опции ERODE = 1, что позволяет удалять элементы при значительном его искажении.

*CONTROL_CONTACT – например, сразу установлена опция IGNORE=2, что позволяет учитывать начальные проникновения.

*CONTROL_ENERGY – все параметры установлены в значения 2, что обеспечивает сохранение всей энергии процесса.

*CONTROL_BULK_VISCOSITY – добавляет небольшую вязкость в модель.

*CONTROL_SOLID – включена опция ESORT для сортировки элементов (в случае применения одновременно нескольких типов элементов в одной части).

*CONTROL_SHELL - включена опция ESORT для сортировки элементов (в случае применения одновременно нескольких типов элементов в одной части), активирован учет изменения толщины ISTUPD, добавлена жесткость в модель (параметр BWC).

*CONTROL_OUTPUT – настройка выходных параметров. Не выводятся узловые координаты, начальные скорости и др. (параметр NPROT).

*CONTROL_PARALLEL – настройка количество используемых ядер.

*CONTROL_ALE – настройка ALE решателя (в наших примерах не используется).

*CONTROL_RIGID – контроль Rigid тел, все параметры по умолчанию.

*DEFINE_COORDINATE_SYSTEM – определение локальной системы координат, по умолчанию соответствует глобальной системе координат.

*DATABASE_BINARY_INTFOR – сохранение выходных данных для контактной поверхности.

- хороший сеточный редактор (препроцессор Ansys Workbench имеет хорошие возможности по нанесению различных видов сеток на геометрию). Достаточно много литературы и видеоуроков на эту тему.

Программа Ansys Workbench имеет встроенный сеточный редактор, имеющий большие возможности по нанесению качественной сетки. Особенностью динамических программ (к которым относится программа ls-dyna) является использование гексогонального (HEX) сетки при равномерном распределении размеров элементов по всей модели. Программа Ansys Workbench позволяет осуществлять применение виртуальной топологии (Virtual topology) и с упрощением геометрии (defeaturing) позволяющий создать сетку без жесткой привязки к границам поверхностей.

- настройка и запуск на расчет осуществляется не выходя из программы ANSYS Workbench/LS Dyna;

- В программе при наличии 2 и более тел автоматически задается контакт Connection – Body Interaction который в k файле создаст карту CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE;

- Программа ANSYS Workbench/LS Dyna поддерживает все новые решатели ls-dyna (при наличии соответствующей лицензии). Т.е. можно использовать самые последние solver (решатели) от LS-DYNA. (С сайта LSTC скачивается последняя версия LS-DYNA, копируется в папку ANSYS с решателями LS-DYNA, при запуске указывается на

новый решатель. Также можно просто заменить файл старого решателя на новый);

- имеется возможность добавлять ключевые слова, которых нет в препроцессоре, также можно сохранить k-файл с последующей правкой в любом другом редакторе.

Программа Ansys Workbench LS-DYNA позволяет вводить ключевые слова которые отсутствуют с исходном препроцессоре. Для этого используется окно Keyword Snippet. В это окно можно ввести в текстовом виде любые ключевые слова, таким образом можно использовать все возможности программы LS-DYNA.

Другой вариант это создание в программе ANSYS Workbench/LS Dyna только сеточной геометрии и сохранением k-файла. Далее данный файл корректируется и дополняется либо в текстовом редакторе или в программе LS-PREPOST. Преимущества такого способа это использование продвинутого сеточного редактора ANSYS, автоматического сохранения контрольных карт и дополнение, чистка и правка k файла в препроцессоре поддерживающие все возможности ls-dyna.

Например, при отсутствии нужной модели материала короба в программе ANSYS Workbench/LS Dyna в примере 3 можно придерживаться следующей последовательности:

- подготовка полной модели как приведено ранее в примере 3 (в качестве модели материала короба вводится любая);
- сохранение k файла через Верхнее меню – Write Solver File;
- программа ANSYS закрывается;
- k файл открывается в программе LS-PREPOST;
- удаляется модель материала короба и вводится новая модель материала;

- k-файл запускается на расчет. Для этого используется программа Mechanical APDL Product Launcher, использующая лицензию ANSYS LS-DYNA;

- просмотр результатов осуществляется в постпроцессоре LS-PREPOST.

1.6.2. Недостатки программы ANSYS Workbench/LS Dyna

- настройки препроцессора позволяют осуществлять расчет только процессов деформирования твердых тел (задачи прочности, задачи metal forming, удара, дроп-тесты);

- невозможность корректировки в препроцессоре ANSYS Workbench некоторых ключевых слов;

- сохраняемый k файл содержит много пустых карт (ключевых слов);

Сохраняемый k-файл содержит несколько ключевых слов которые не активированы и не участвуют в расчете (т.е. их можно не задавать для приведенных ранее примеров). Примеры данных ключевых слов

*DATABASE_FORMAT,	*CONTROL_OUTPUT,
*CONTROL_PARALLEL,	*CONTROL_SOLUTION,
*CONTROL_ALE,	*CONTROL_RIGID

Например ключевое слово *CONTROL_ALE не используется в Лагранжевом методе (который применяется во всех 3-х примерах). И наличие этого ключевого слова с параметрами по умолчанию не активирует метод ALE (Лагранжево-Ейлеровый метод). Поэтому это ключевое слово можно не задавать

- невозможность просмотра результатов расчета в препроцессоре ANSYS Workbench до завершения расчета;

- при определении контакта между частями модели требуется несколько больших действий чем в ls-prepost: сначала удаляется кон-

такт заданный по умолчанию (Body Interaction), затем определяется контакт через Manual contact region, где определяется Frictionless, Frictional или Bonded контакт, а затем в панели Workbench LS-DYNA определяется Contact Properties где определяется Automatic, Forming или Eroding контакт/

1.7. Формулировки Shell элементов в Ansys Workbench LS-DYNA

Всего используется 14 формулировок. Как видно из таблицы они полностью соответствуют формулировкам из LS-PREPOST.

По умолчанию (Program Controlled) используется формулировка №2

Formulation in Ansys Workbench ls-dyna Project – model – Workbench ls-dyna - Section	LS-DYNA ID	Formulation in ls-prepost Model – Keyword - SECTION_SHELL
Program Controlled	2	Belytschko-Tsay (default)
Hughes-Liu	1	Hughes-Liu
Belytschko-Tsay	2	Belytschko-Tsay (default)
BCIZ Triangular Shell	3	BCIZ triangular shell
C0 Triangular Shell	4	C0 triangular shell
Belytschko-Tsay membrane	5	Belytschko-Tsay membrane
S/R Hughes-Liu	6	S/R Hughes-Liu

S/R Co-Rotational Hughes-Liu	7	S/R co-rotational Hughes-Liu
Belytschko-Leviathan Shell	8	Belytschko-Leviathan shell
Fully Integrated Belytschko-Tsay Membrane	9	Fully integrated Belytschko-Tsay membrane
Belytschko-Wong-Chiang	10	Belytschko-Wong-Chiang
Fast (Co-Rotational) Hughes-Liu	11	Fast (co-rotational) Hughes-Liu
	12	Plane stress (x-y plane)
	13	Plane strain (x-y plane)
	14	Axisymmetric solid (y-axis of symmetry) - area weighted
	15	Axisymmetric solid (y-axis of symmetry) - volume weighted
Fully Integrated Shell Element	16	Fully integrated shell element (very fast)
	-16	Fully integrated shell element modified for higher accuracy
	17	Fully Integrated DKT, triangular shell element
	18	Fully Integrated linear DK quadrilateral/triangular shell
	20	Fully integrated linear assumed strain C0 shell
	21	Fully integrated linear strain C0

		shell (5DOF)
	22	Linear shear panel element (3 DOF per node)
8-node Quadratic Quadrilateral Shell	23	8-node quadrilateral shell (under development)
6-node Quadratic Triangular Shell	24	6-node quadratic triangular shell (under development)
	25	Belytschko-Tsay shell with thickness stretch
	26	Fully integrated shell with thickness stretch
	27	C0 triangular shell with thickness stretch
	29	Cohesive shell element for edge-to-edge connection of shells.
	-29	Cohesive shell element for edge-to-edge connection of shells (more suitable for pure shear)
	31	1 point eulerian Navier-Stokes
	32	8 point Eulerian Navier-Stokes
	33	CVFEM Eulerian Navier-Stokes
	41	Mesh-free (EFG) shell local approach. (more suitable for crashworthiness analysis)
	42	Mesh-free (EFG) shell global approach. (more suitable for metal

		forming analysis)
	43	Mesh-free (EFG) plane strain formulation (x-y plane)
	44	Mesh-free (EFG) axisymmetric solid formulation (x-y plane, y-axis of symmetry)
	46	Cohesive element for two-dimensional plane strain, plane stress, and area-weighted axisymmetric problems (type 14 shells)
	47	Cohesive element for two-dimensional volume-weighted axisymmetric problems (use with type 15 shells)

В Is-prepost на данный момент 38 формулировок карты Shell

1.8. Формулировки Solid элементов в Ansys Workbenck LS-DYNA.

Всего используется 12 формулировок. Как видно из таблицы они практически полностью соответствуют формулировкам из LS-PREPOST.

По умолчанию (Program Controlled) используется формулировка №1

Formulation in Ansys Workbench ls-dyna Project – model – Workench ls-dyna -	LS-DYNA ID	Formulation in Is-prepost Model – Keyword - SECTION_SOLID
--	------------	--

Section		
Program Controlled	1	constant stress solid element (default)
1 Point Corotational	0	1 point corotational
Constant Stress Solid Element	1	constant stress solid element (default)
Fully Integrated S/R Solid	2	fully integrated S/R solid
Fully Integrated Quadratic 8 node Element with Nodal Rotations	3	fully integrated quadratic 8 node element with nodal rotations
S/R Quadratic Tetrahedron	4	S/R quadratic tetrahedron element with nodal rotations
	5	1 point ALE
	6	1 point Eulerian,
	7	1 point Eulerian ambient, EQ.8: acoustic,
	9	1 point corotational for *MAT_MODIFIED_HONEYCOMB,
1 point tetrahedron	10	1 point tetrahedron
	11	1 point ALE multi-material element,
	12	1 point integration with single material and void,
1 point Nodal Pressure Tetrahedron	13	1 point nodal pressure tetrahedron for bulk forming
	14	8 point acoustic

2 point Pentahedron Element	15	2 point pentahedron element
4 or 5 point 10-noded Tetrahedron	16	5 point 10 noded tetrahedron
10-noded Composite Tetrahedron	17	10-noded composite tetrahedron
Poor Aspect Ratio, Fully Integrated S/R Solid , Accurate Formulation	-2	fully integrated S/R solid intended for elements with poor aspect ratio, accurate formulation.
Poor Aspect Ratio, Fully Integrated S/R Solid , Efficient Formulation	-1	fully integrated S/R solid intended for elements with poor aspect ratio, efficient formulation
	18	8 point enhanced strain solid element for linear statics only,
	19	4 point cohesive element,
	20	4 point cohesive element with offsets for use with shells,
	21	6-noded, 1 point pentahedron cohesive element
	22	6-noded, 1 point pentahedron cohesive element with offsets for use with shells.
	23	20-node hexahedron formulation.
	24	27-node hexahedron formulation.
	25	21-node pentahedron formulation
	26	15-node tetrahedron formulation

	41	Mesh-free (EFG) solid formulation
	42	Adaptive 4-noded mesh-free (EFG) solid formulation
	43	Mesh-free enriched finite element
	45	Tied Mesh-free enriched finite element
	47	Smoothed particle Galerkin method
	98	Interpolation solid
	99	Simplified linear element for time-domain vibration studies,
	101	User defined solid.
	115	1 point pentahedron element with hourglass control.
	201	Isogeometric solids with NURBS

В Is-prepost на данный момент 38 формулировок карты Solid

1.9. Модели материалов доступные в Ansys Workbenck LS-DYNA

Номер материала	Наименование
Mat1	MAT_ELASTIC
Mat2	MAT_ORTHOTROPIC_ELASTIC
Mat3	MAT_PLASTIC_KINEMATIC
Mat7	MAT_BLATZ-KO_RUBBER
Mat15	MAT_JOHNSON_COOK

Mat18	MAT_POWER_LAW_PLASTICITY
Mat20	MAT_RIGID
Mat24	MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
MAT36	MAT_3-PARAMETER_BARLAT
MAT37	MAT_3-PARAMETER_BARLAT
Mat57	MAT_LOW_DENSITY_FOAM
Mat77	MAT_HYPERELASTIC_RUBBER, MAT_OGDEN_RUBBER
Mat98	MAT_SIMPLIFIED_JOHNSON_COOK
Mat123	MAT_MODIFIED_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
Mat140	MAT_VACUUM
T01	MAT_THERMAL_ISOTROPIC
MAT ADD_EROSION	MAT_ADD_EROSION

В ls-prepost на данный момент 336 моделей материалов (включая модели разрушения, тепловые модели, демпферы и т.п.)

1.10. Формулировки Hourglass в Ansys Workbenck LS-DYNA

Всего используется 7 формулировок. Как видно из таблицы они практически полностью соответствуют формулировкам из LS-PREPOST.

По умолчанию (Program Controlled) используется формулировка №1

Formulation in Ansys Workbench ls-dyna	LS-DYNA	Formulation in ls-prepost
--	---------	---------------------------

Project – model – Workench ls-dyna - Hourglass	ID	Model – Keyword - Hourglass
Program Controlled	1	standard LS-DYNA viscous form
Standard LS-DYNA	1	standard LS-DYNA viscous form
Flanagan-Belytschko Viscous Form	2	Flanagan-Belytschko viscous form
Exact Volume Flanagan- Belytschko	3	Flanagan-Belytschko viscous form with exact volume integration for solid elements
Flanagan-Belytschko Stiffness Form	4	:Flanagan-Belytschko stiffness form
Exact Volume Flanagan- Belytschko Stiffness Form	5	Flanagan-Belytschko stiffness form with exact volume integra- tion for solid elements
Belytschko-Bindeman	6	Belytschko-Bindeman assumed strain co-rotational stiffness form for 2D and 3D solid elements only
Belytschko-Bindeman Linear Total Strain	7	Linear total strain form of type 6 hourglass control
	8	Applicable to the type 16 fully in- tegrated shell element
	9	Puso enhanced assumed strain stiffness form for 3D hexahedral elements.
	10	Cosserat Point Element (CPE) de- veloped by Jabareen and Rubin

		and Jabareen et.al.
--	--	---------------------

В ls-prepost на данный момент 10 формулировок Hourglass

1.11. Контакты в Ansys Workbenck LS-DYNA

Ansys Workbench ls-dyna Путь в меню Project → Model Project → Workbench LS-DYNA	LS-PREPOST Model – Keyword – CONTACT
Body Interaction	CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE
Body Interaction Contact properties: Type - General	CONTACT_AUTOMATIC_GENERAL
Body Interaction Contact properties: Type - Eroding	CONTACT_ERODING_SINGLE_SURFACE
Frictionless (Frictional), Behavior – Program Controlled (or Symmetric)	CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE _ TO _ SURFACE
Frictionless (Frictional), Behavior – Program Controlled (or Symmetric) Contact properties: Type - Eroding	CONTACT_ERODING_SURFACE _ TO _ SURFACE
Frictionless (Frictional), Behavior – Program Controlled (or	CONTACT_FORMING_SURFACE _ TO _ SURFACE

Symmetric) Contact properties: Type - Forming	
Frictionless (Frictional), Behavior – Asymmetric	CONTACT_AUTOMATIC_NODES _ TO _ SURFACE
Frictionless (Frictional), Behavior – Asymmetric Contact properties: Type - Eroding	CONTACT_ERODING_NODES _ TO _ SURFACE
Frictionless (Frictional), Behavior – Asymmetric Contact properties: Type - Forming	CONTACT_FORMING_ONE_WAY_SURFACE _ TO _ SURFACE
Bonded	CONTACT_TIED_SURFACE _ TO _ SURFACE_OFFSET
Bonded, Behavior – Asymmetric	CONTACT_TIED_NODES_TO_SURFACE_OFFSET
Bonded, Breakable – Stress Criteria	CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE _ TO _ SURFACE_TIEBREAK
Behavior – Asymmetric Breakable – Stress Criteria	CONTACT_AUTOMATIC_ONE_WAY_SURFACE _ TO _ SURFACE_TIEBREAK

В ls-prepost на данный момент 142 карт контакта

1.12. Формулировки Beam в Ansys Workbenck LS-DYNA.

Всего используется 6 формулировок. Как видно из таблицы они полностью соответствуют формулировкам из LS-PREPOST.

По умолчанию (Program Controlled) используется формулировка №1

Formulation in Ansys Workbench ls-dyna Project – model – Workench ls-dyna - Section	LS-DYNA ID	Formulation in ls-prepost Model – Keyword - SECTION_SHELL
Program Controlled	1	Hughes-Liu with cross section integration (default)
Hughes-Liu With Cross Section Integration	1	Hughes-Liu with cross section integration
Belytschko-Schwer Resultant Beam	2	Belytschko-Schwer resultant beam (resultant)
Truss	3	truss (resultant)
Hughes- Schwer Full Cross Section Integration	4	Belytschko-Schwer full cross-section integration
Belytschko-Schwer Tubular Beam with Cross Section Integration	5	Belytschko-Schwer tubular beam with cross-section integration
Discrete Beam/Cable	6	discrete beam/cable
	7	2D plane strain shell element (xy plane)
	8	2D axisymmetric volume weighted shell element (xy plane)

	9	spotweld beam, see *MAT_SPOTWELD (Type 100).
	11	Integrated warped beam.
	12	resultant warped beam
	13	Small displacement, linear Timoshenko beam with exact stiffness.
	14	Integrated tubular Elbow element. User defined integration rule with tubular cross section (9) must be used.

В Is-prepost на данный момент 13 формулировок карты Beam

1.13. Формулировки Discrete в Ansys Workbenck LS-DYNA.

Формулировки в данном типе элемента отсутствуют.

Тип элемента Discrete (Spring33) определяемый в Ansys Workbenck LS-DYNA соответствует карте *Section_discrete в Is-prepost.

Пример моделирования процесса удара сферы об пластину в программе ANSYS WORKBENCH LS-DYNA.

Исходные данные:

Радиус сферы 3 мм, толщина сферы 0,1 мм.

Размеры пластины 10x10 мм, толщина 0,1 мм.

Расстояние от пластины до центра сферы 6 мм.

Начальная скорость движения сферы 10000 мм/сек

Материал сферы и пластины сталь (модуль Юнга 210000 Н/мм², коэффициент Пуассона 0,3, плотность 7,85 т/мм³)

Время расчета 0,002 сек.

Для создания модели используется препостпроцессор ANSYS 19.0.

Для расчета использовался решатель LS-DYNA smp с R8.1.0 встроенный в ANSYS

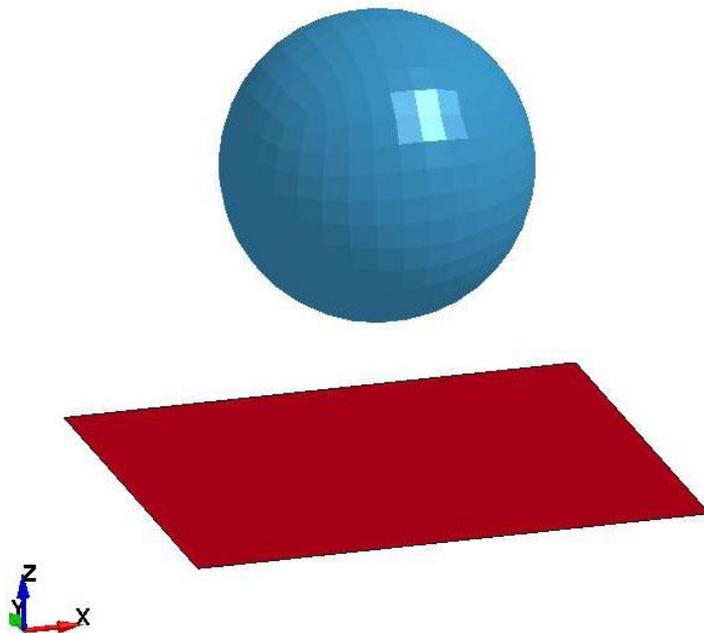
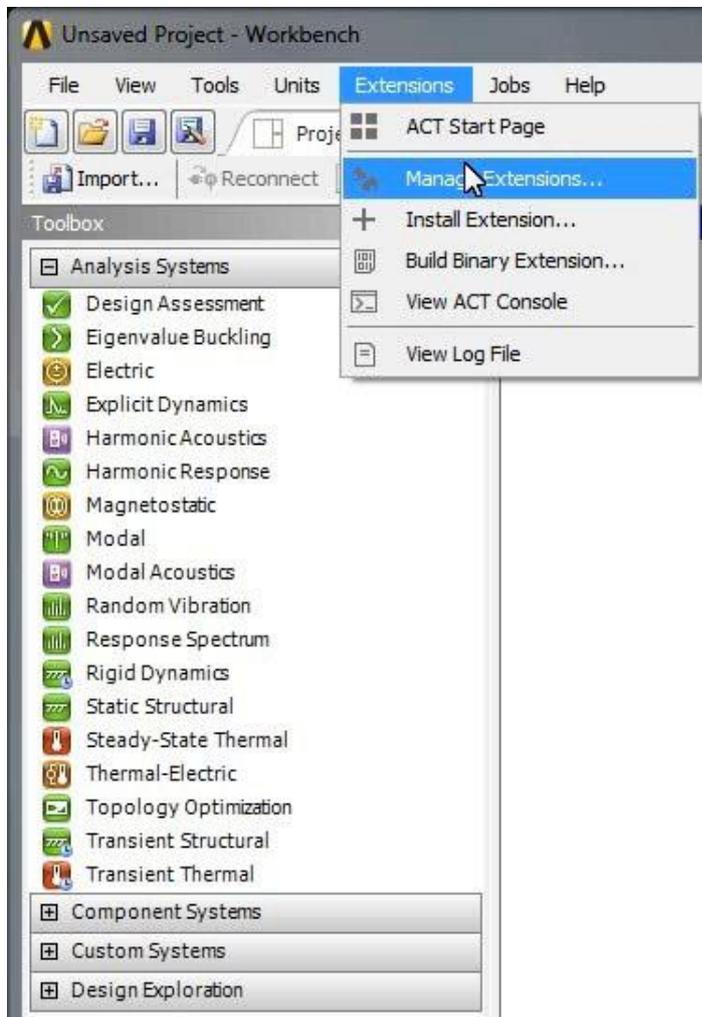


Рис. 1. Модель процесса удара сферы о пластину

Шаг 1

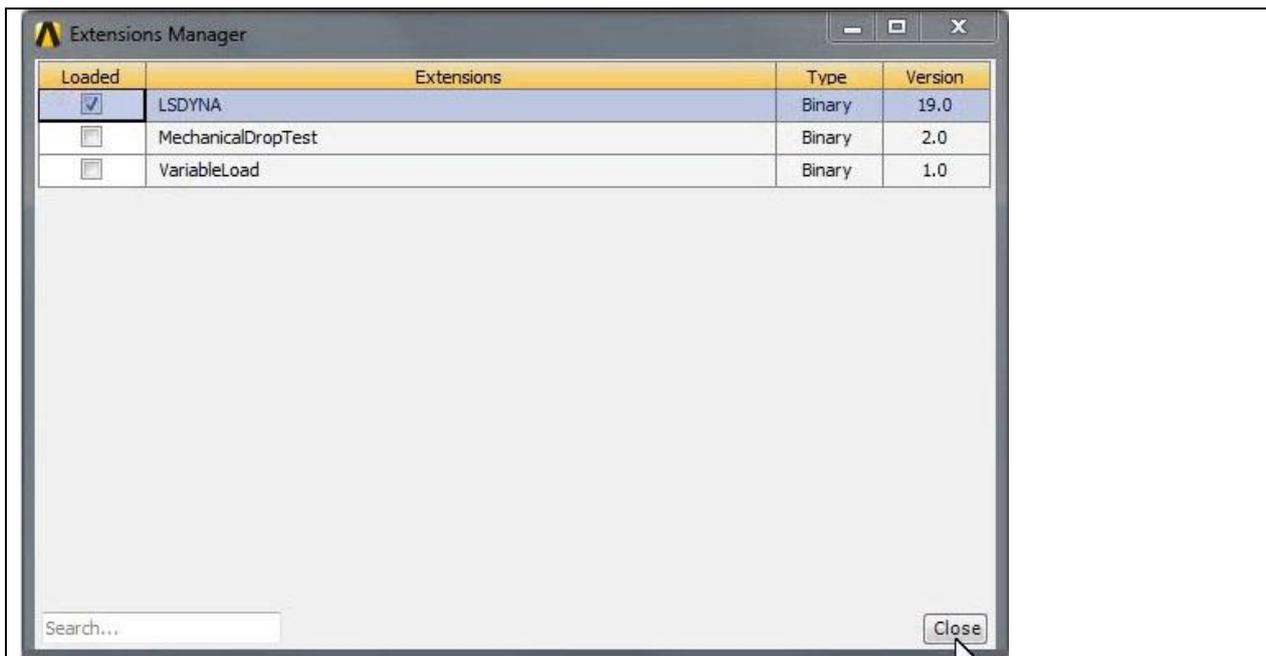
Выбрать приложение Ansys ls-dyna workbench

Выпадающее меню Extensions – Manage Extensions



Поставить галочку на пункте LS-DYNA.

Нажать Close

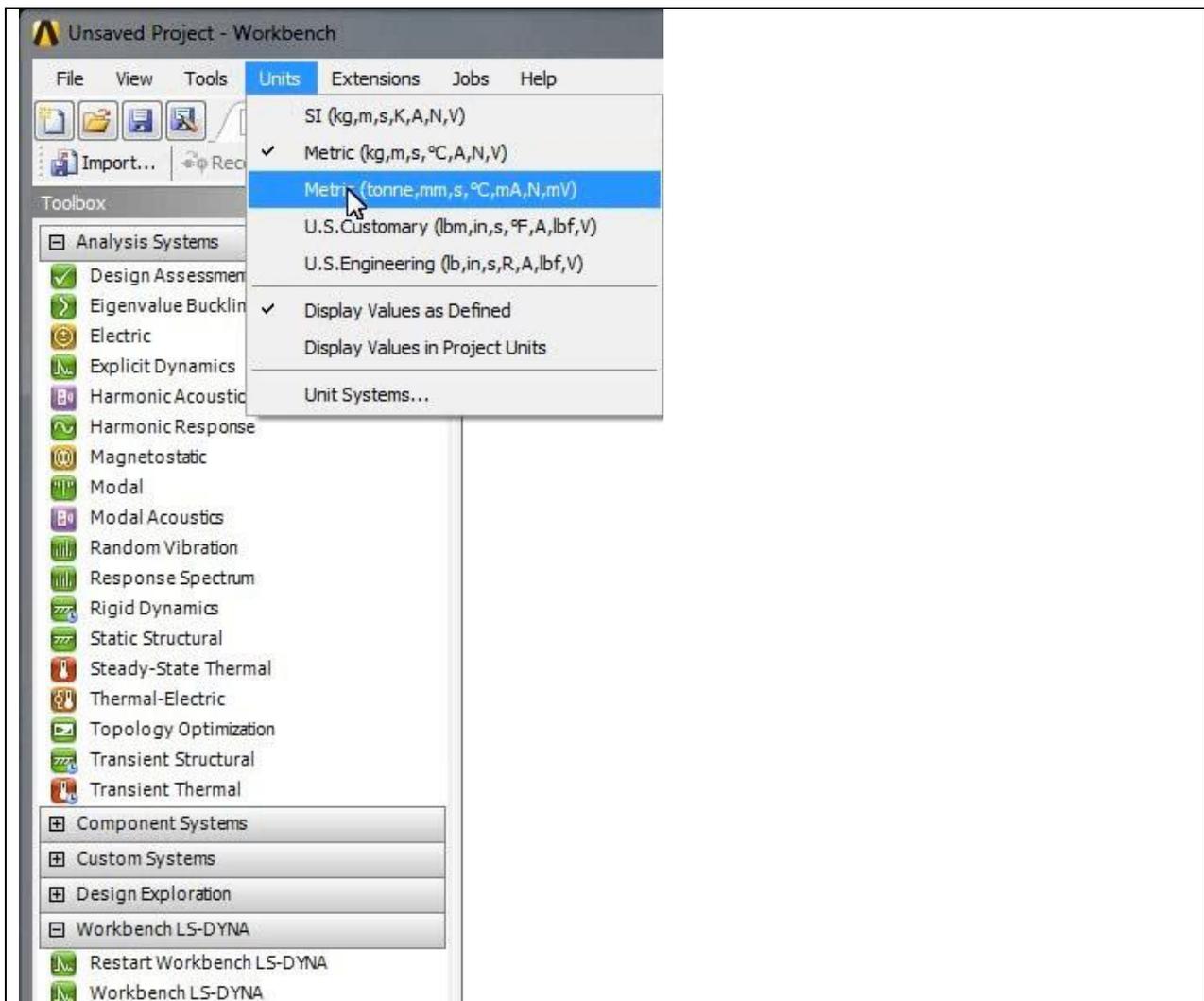


Выбрать закладку Workbench LS-DYNA в окне Toolbox

Шаг 3

Выбрать систему измерения

Выпадающее меню - Units – Metric (tonne, mm, s)



Выбрать закладку Workbench LS-DYNA в окне Toolbox

Шаг 4

Определить параметры моделей материалов

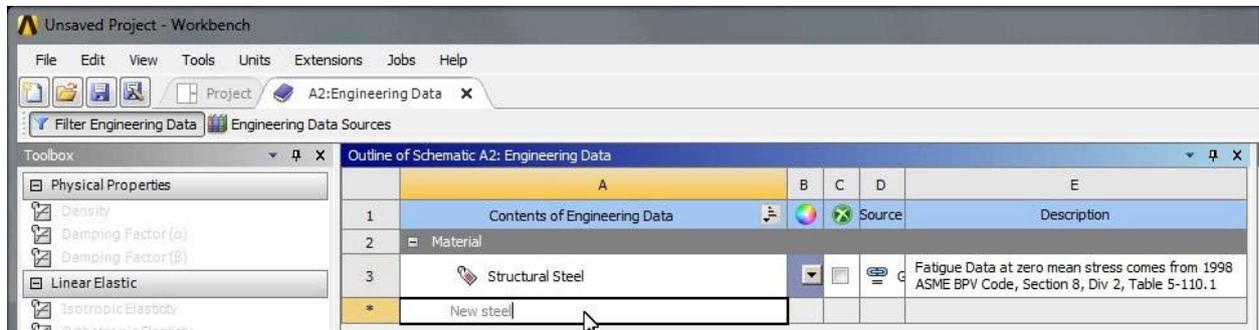
Окно Workbench LS-DYNA - Engineering Data



Шаг 5

Определить новый материал

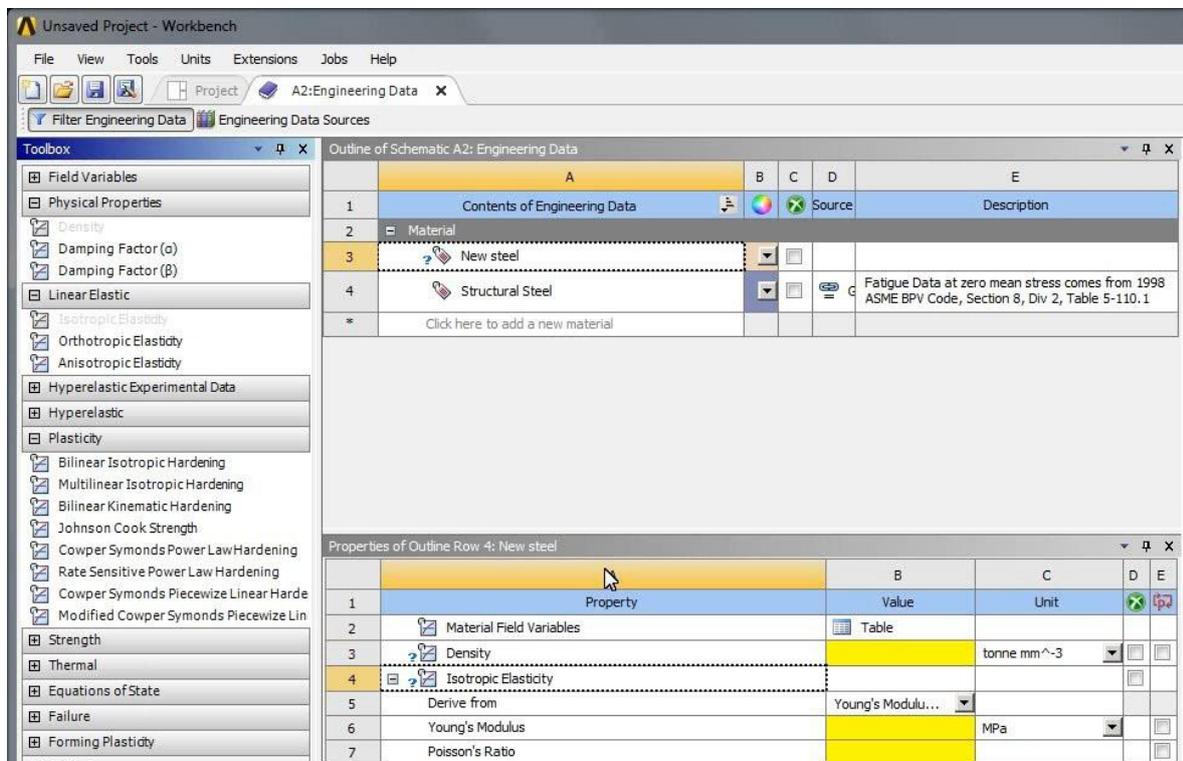
В окне Engineering Data добавить новый материал “New steel”



Шаг 6

Определить набор характеристик материала

В окне Toolbox выбрать пункты Density и Isotropic Elasticity



Шаг 7

Ввести параметры материала

Density=7.,85e-9

Young`s Modulus = 2,1e5

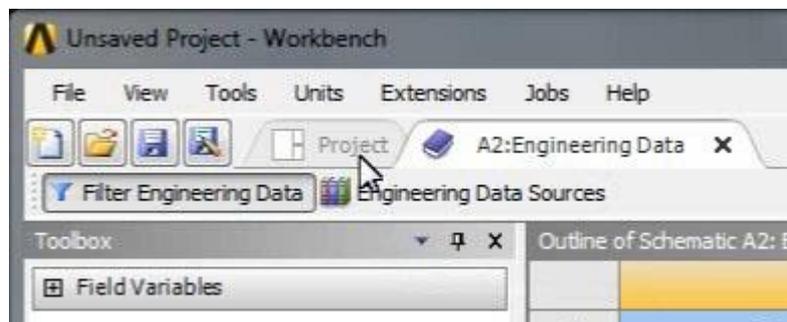
Poisson`s Modulus=0,3

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7,85E-09	tonne mm ⁻³		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modulu...			
6	Young's Modulus	2,1E+05	MPa		
7	Poisson's Ratio	0,3			

Шаг 8

Выйти из закладки Engineering Data

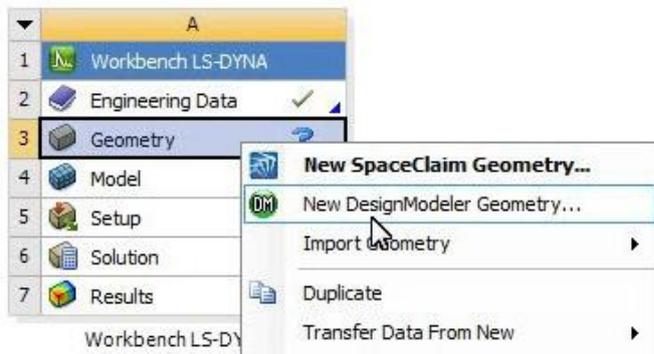
Верхний ряд закладок - Project



Шаг 9

Создание геометрической модели

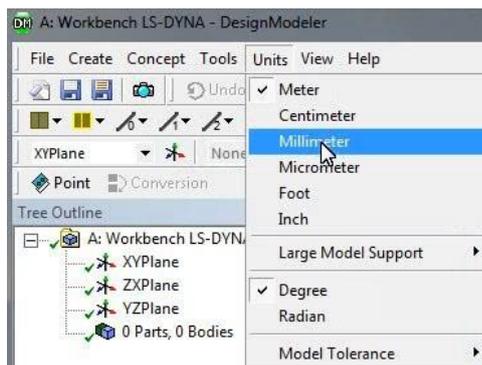
Выбираем опцию Geometry. Правой кнопкой выбираем New Design Modeler Geometry



Шаг 10

Выбор системы измерения

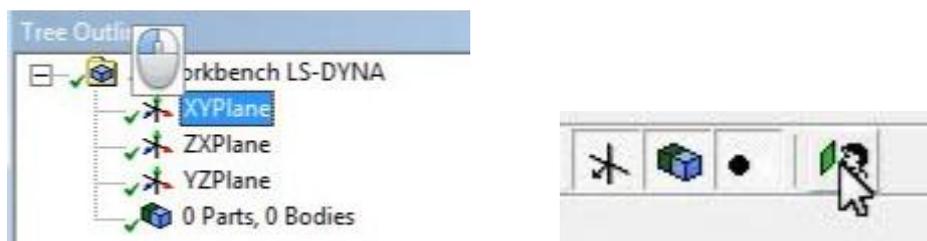
Верхнее выпадающее меню – Units - Millimeter



Шаг 11

Построение плоскости

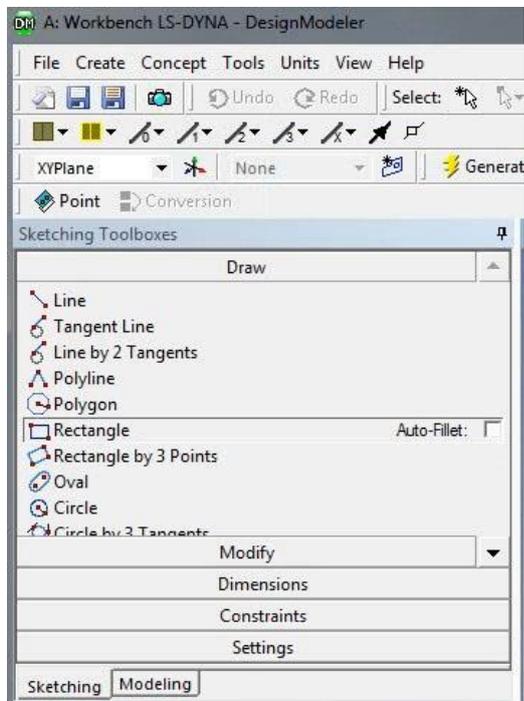
В окне Tree Outline выбираем плоскость XYPlane и нажимаем кнопку сделать этот вид Look At Face



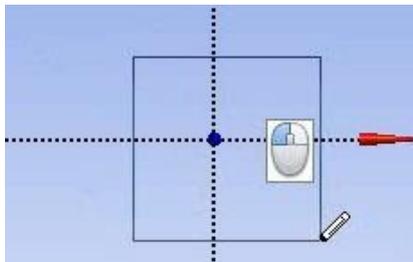
Шаг 12

Построить произвольный прямоугольник.

Закладка Draw – Sketching – Rectangle



Строим в окне Graphics произвольный прямоугольник

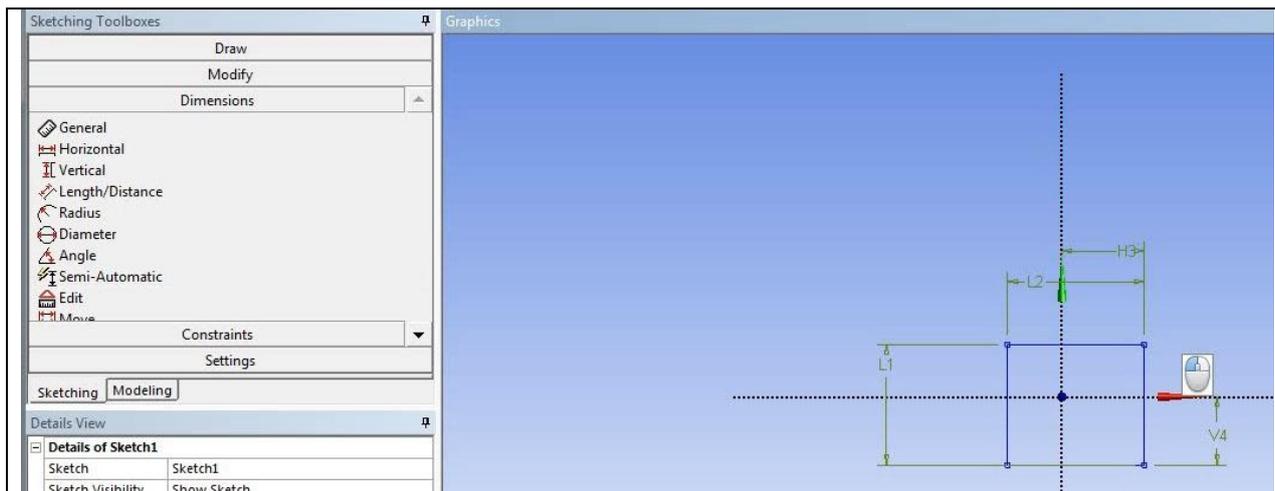


Шаг 13

Нанести размеры на прямоугольник

Закладка Dimensions – Semi-Automatic

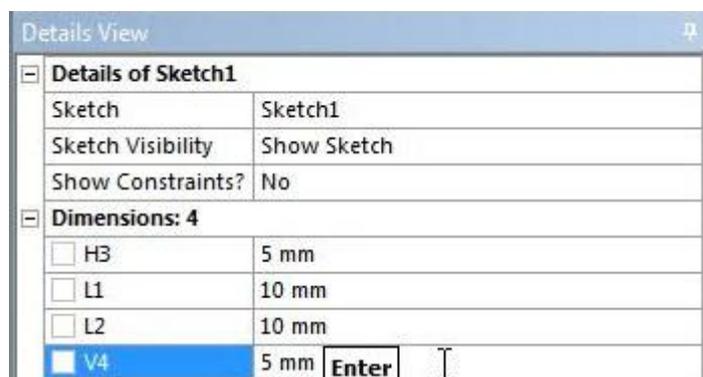
На прямоугольнике расставляем размеры.



Шаг 14

Определяем размеры прямоугольника

В окне Details View корректируем размеры на заданные исходным заданием (5, 10, 10, 5 мм).



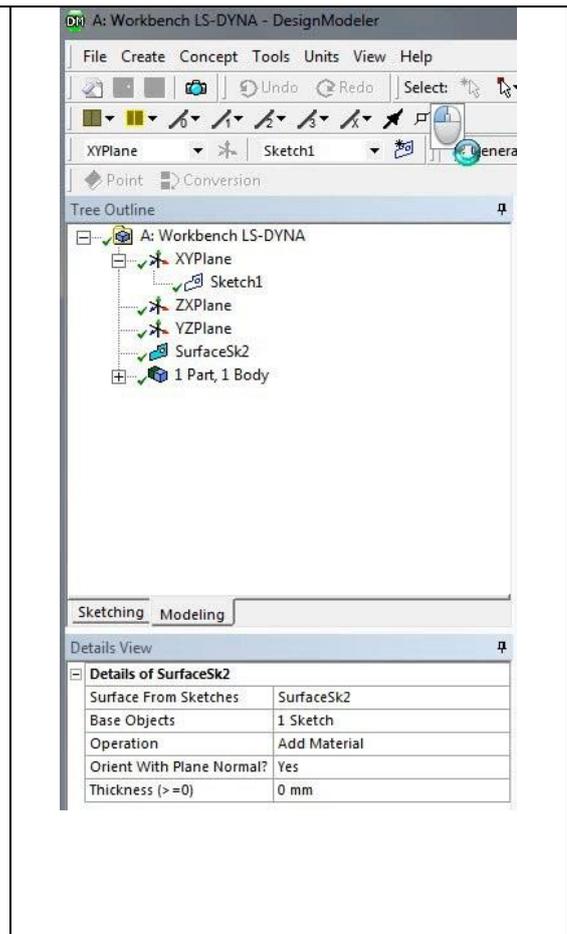
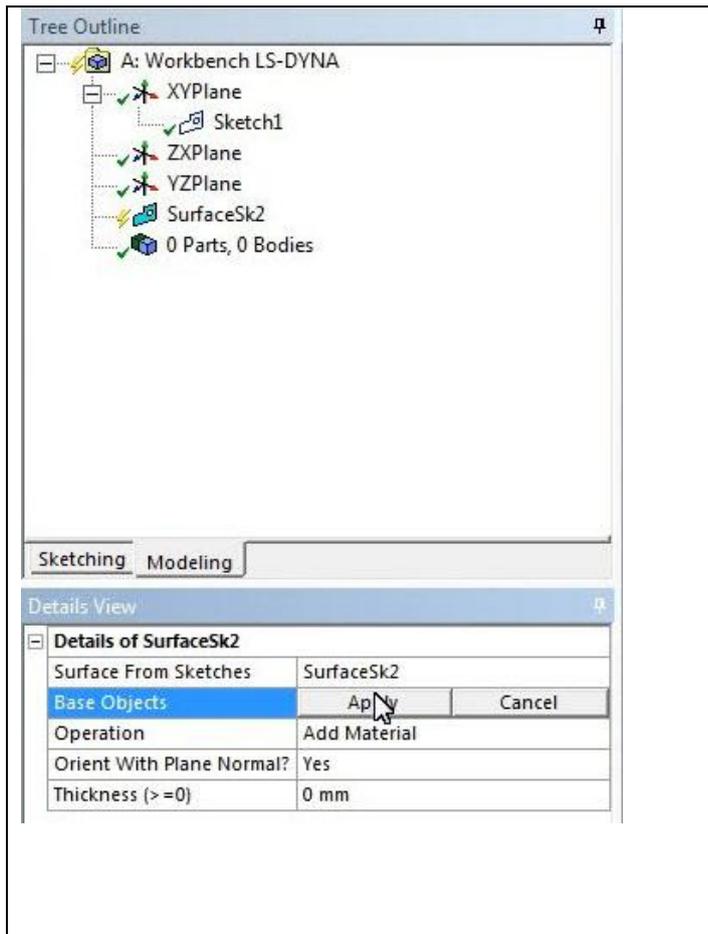
Шаг 15

Построить поверхность на основе границ прямоугольника

Выбрать эскиз Sketch1.

Выпадающее меню Concept – Surfaces from Sketches – Apply.

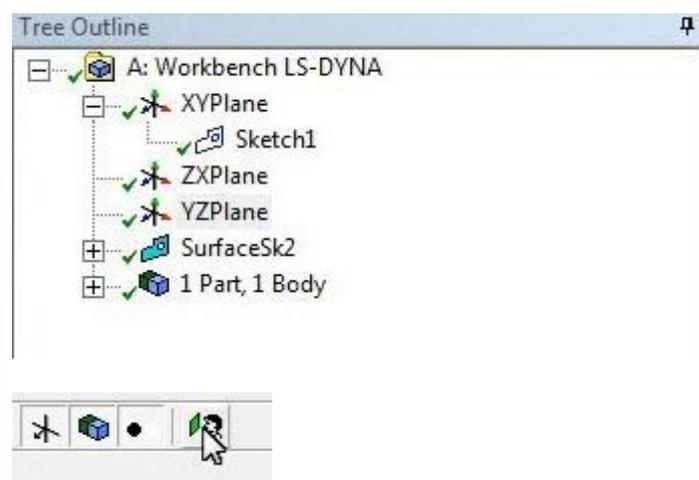
Выбрать SurfaceSK2 и нажать Generate.



Шаг 16

Построение сферы

Выбрать плоскость YZPlane и показать этот вид Look At Face



Шаг 17

Создать эскиз на этой плоскости

Нажать на иконку эскиз

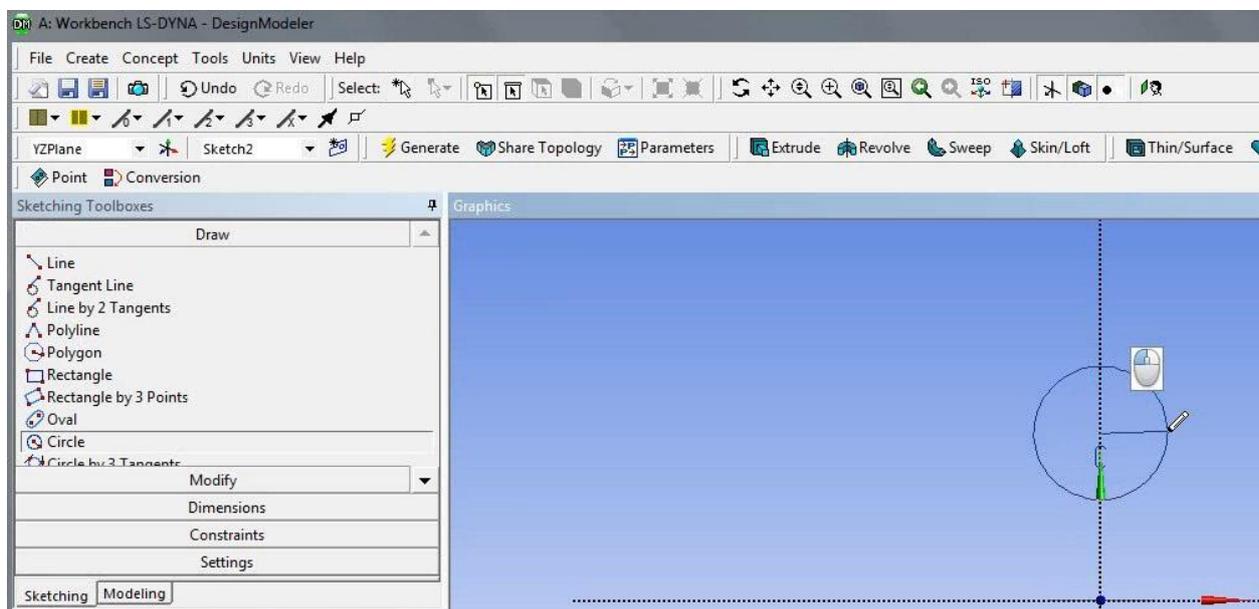


Шаг 18

Построить окружность произвольного радиуса.

Закладка Draw – Sketching – Circle

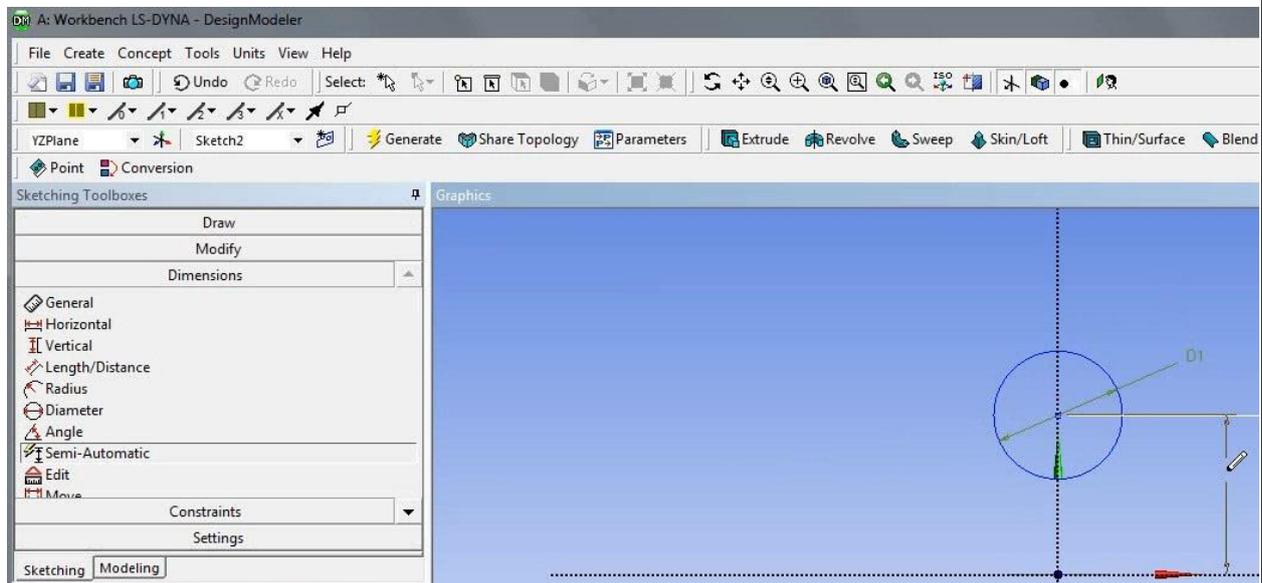
Строим в окне Graphics окружность произвольного размера



Шаг 19

Нанести размеры

Закладка Dimensions – Semi-Automatic

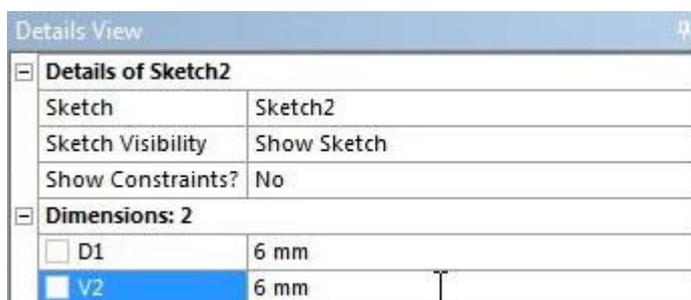


Шаг 20

Ввести необходимые размеры окружности

Диаметр D1 6 мм

Расстояние от центра V2 6 мм

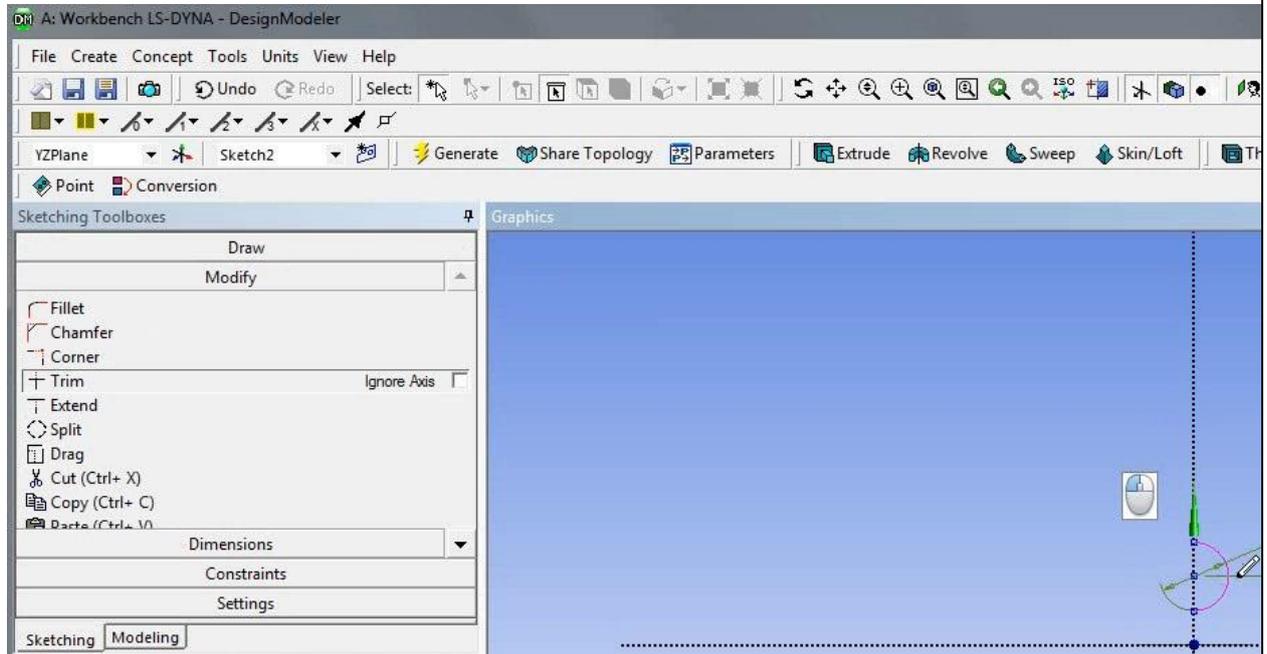


Шаг 21

Отрезать половину окружности.

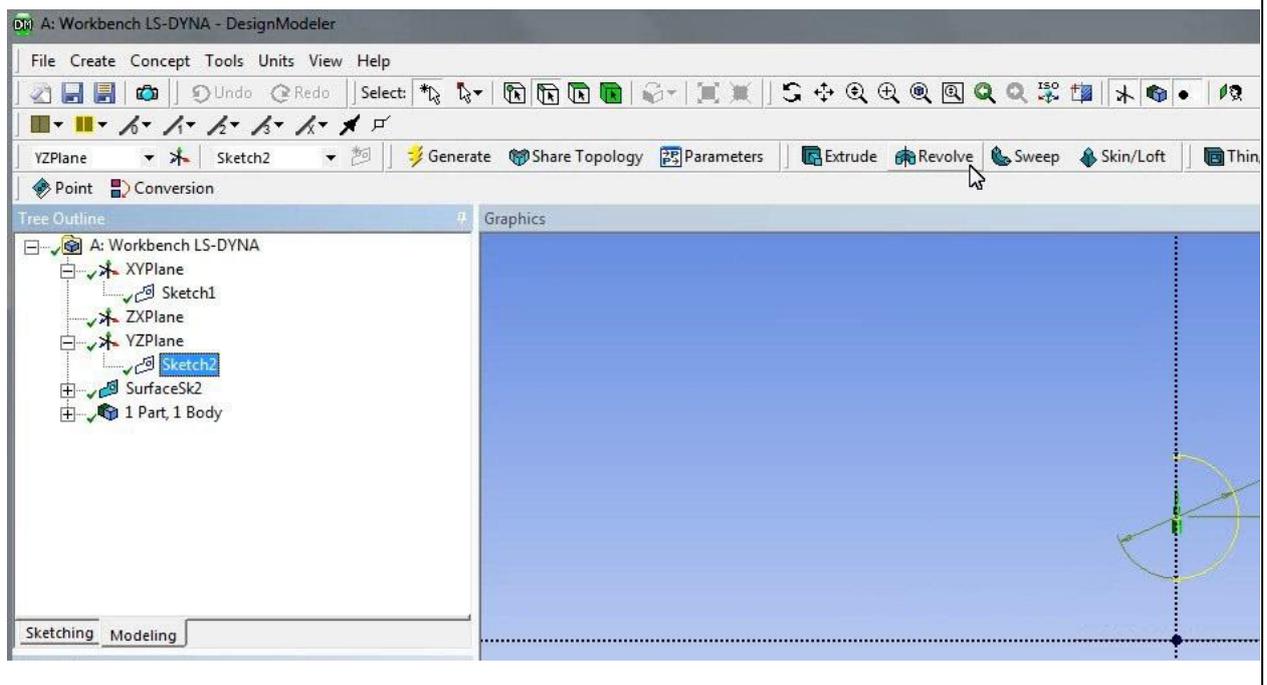
Sketching – Modify – Trim

Указать на левую часть окружности



Шаг 22

Создать сферу на основе этой окружности



Выбрать эскиз Sketch2.

Нажать Revolve.

Нажать Axis – указать ось Z – Apply.

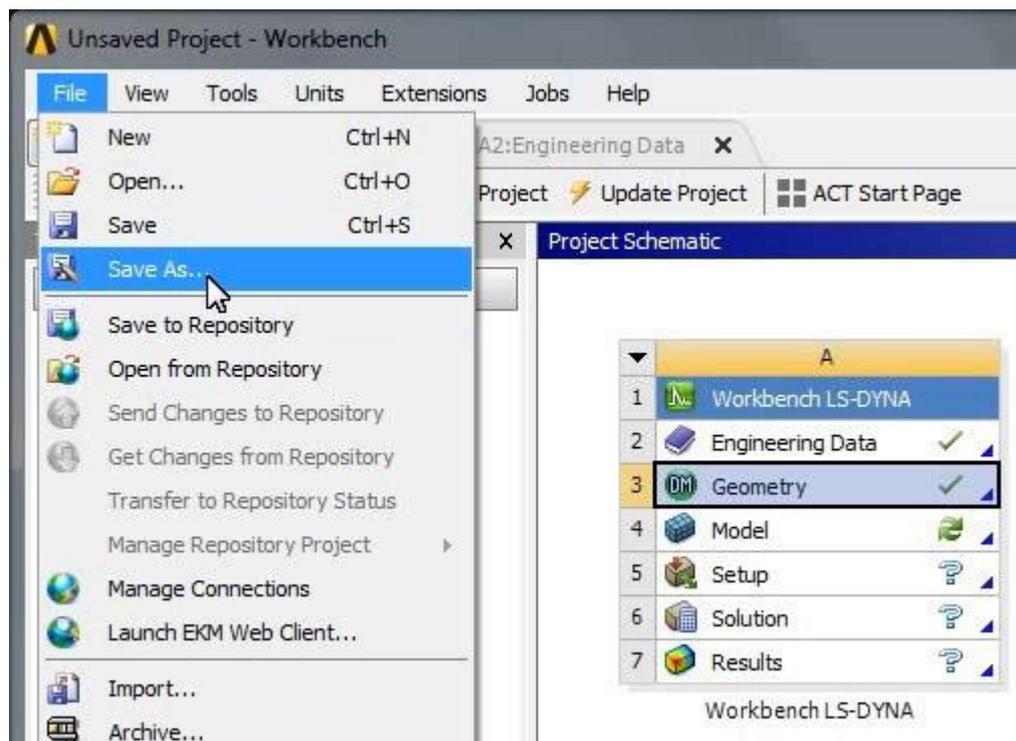
Нажать Generate.

Шаг 23

Выйти из программы Design Modeler

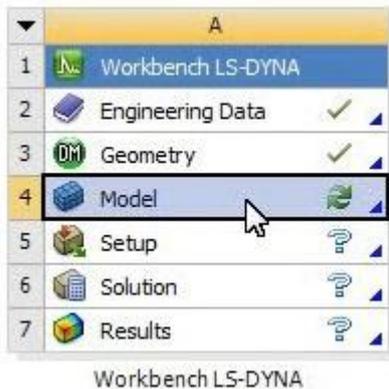
Шаг 24

Сохранить проект



Шаг 25

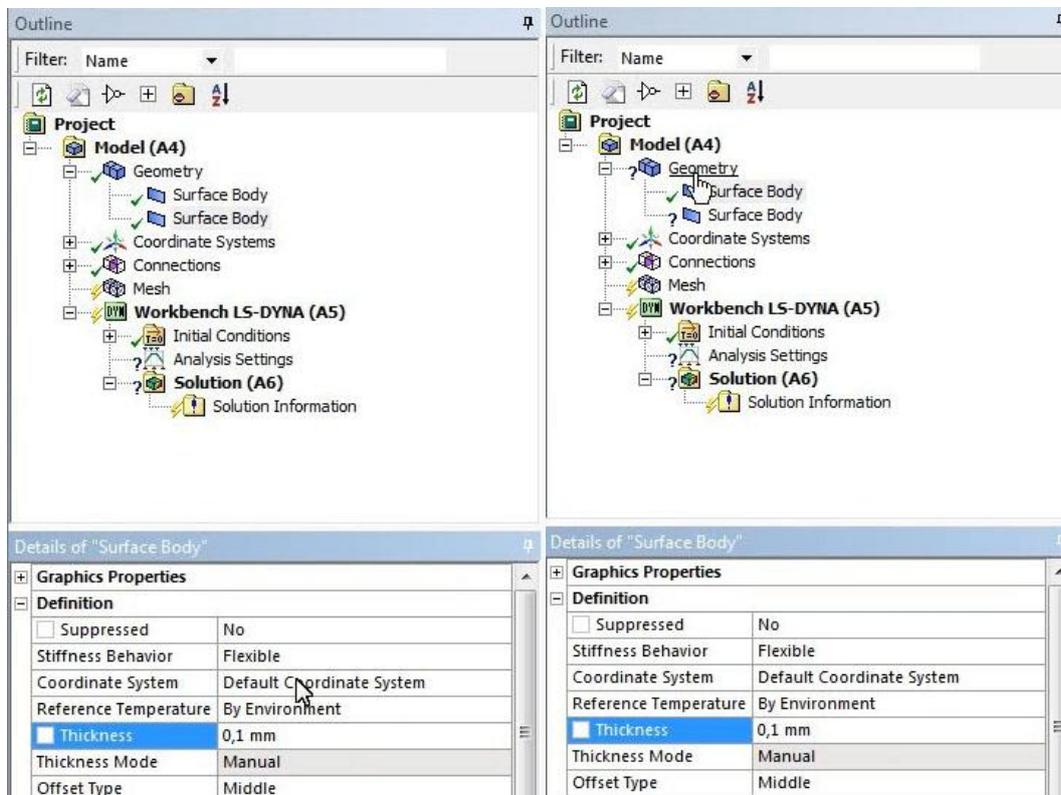
Выбрать закладку Model



Шаг 26

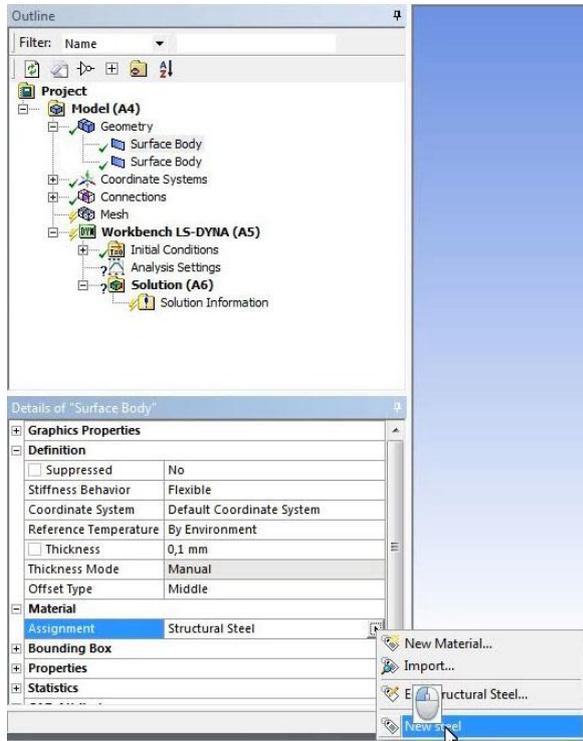
Project - Model - Geometry

Задать толщину для обоих тел Surface Body (по 0,1 мм)

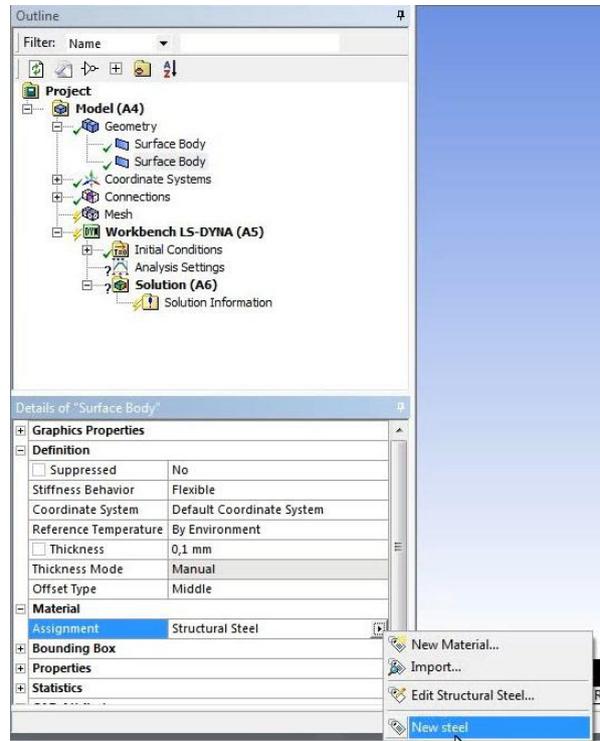


Шаг 28

Определить материал для обоих тел



Assignment – New steel

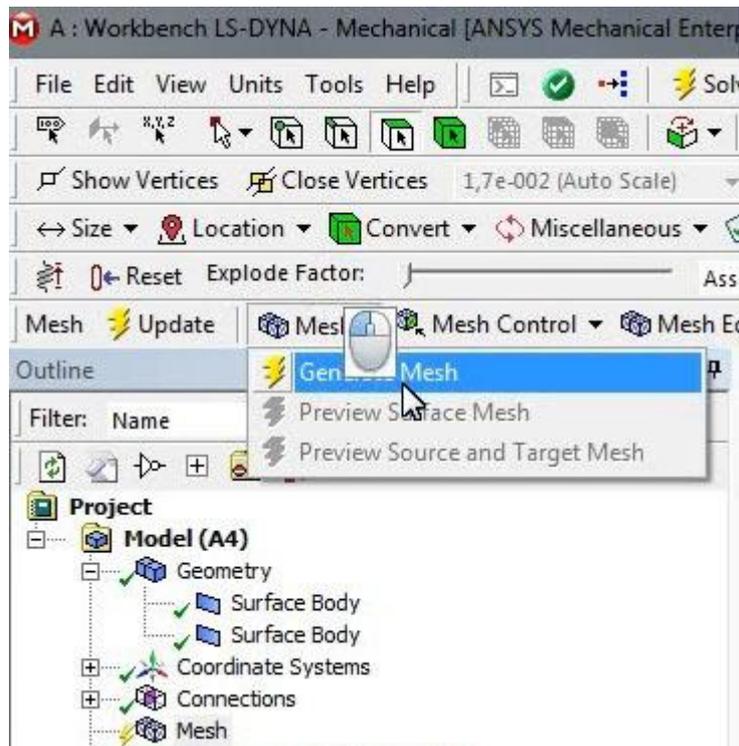


Assignment – New steel

Шаг 29

Сгенерировать сетку на пластине и сфере

Панель инструментов Mesh – Generate Mesh

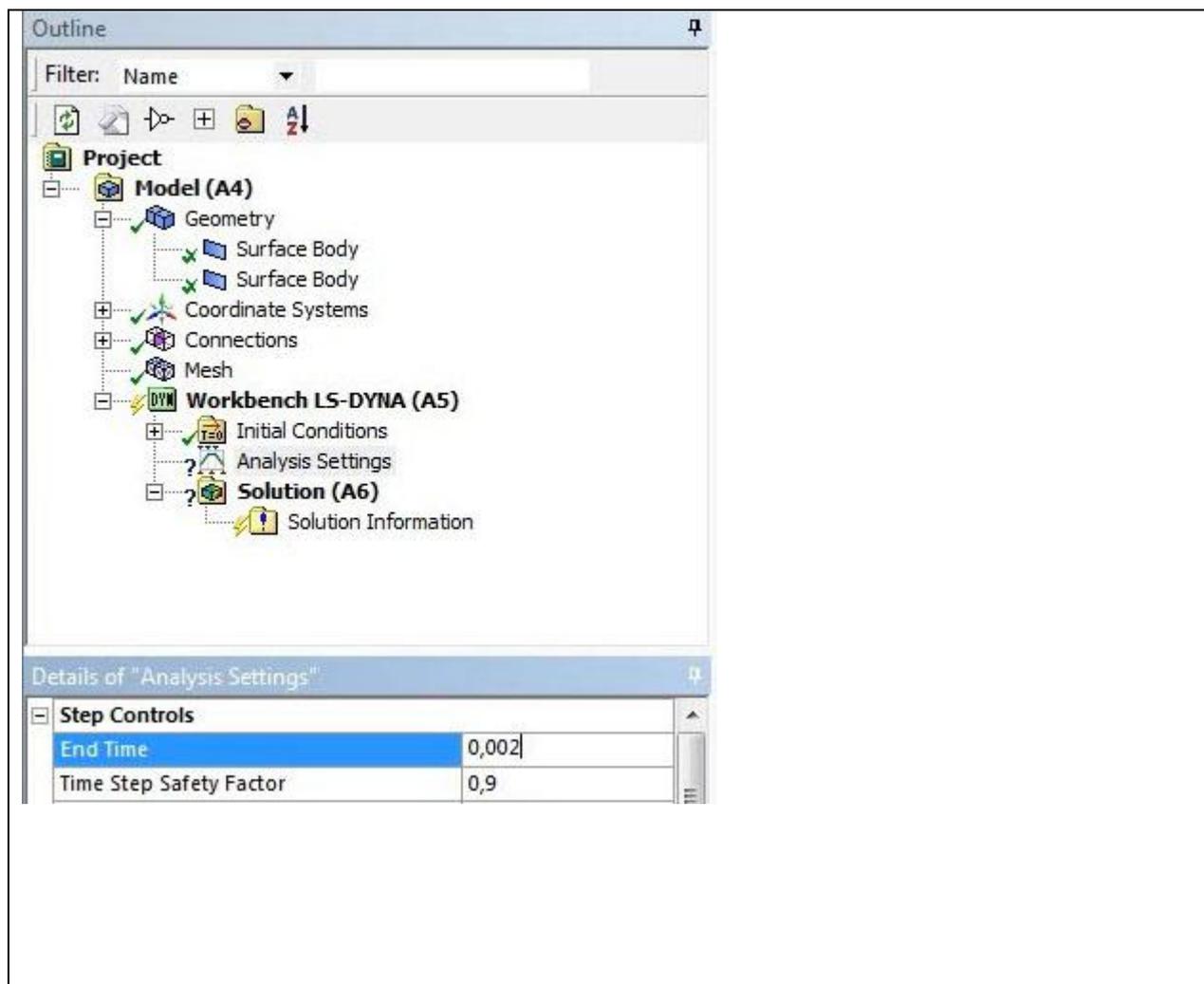


Шаг 30

Определить время завершения расчета

В окне Outline

Analysis Setting в окне Details ввести End Time = 0,002

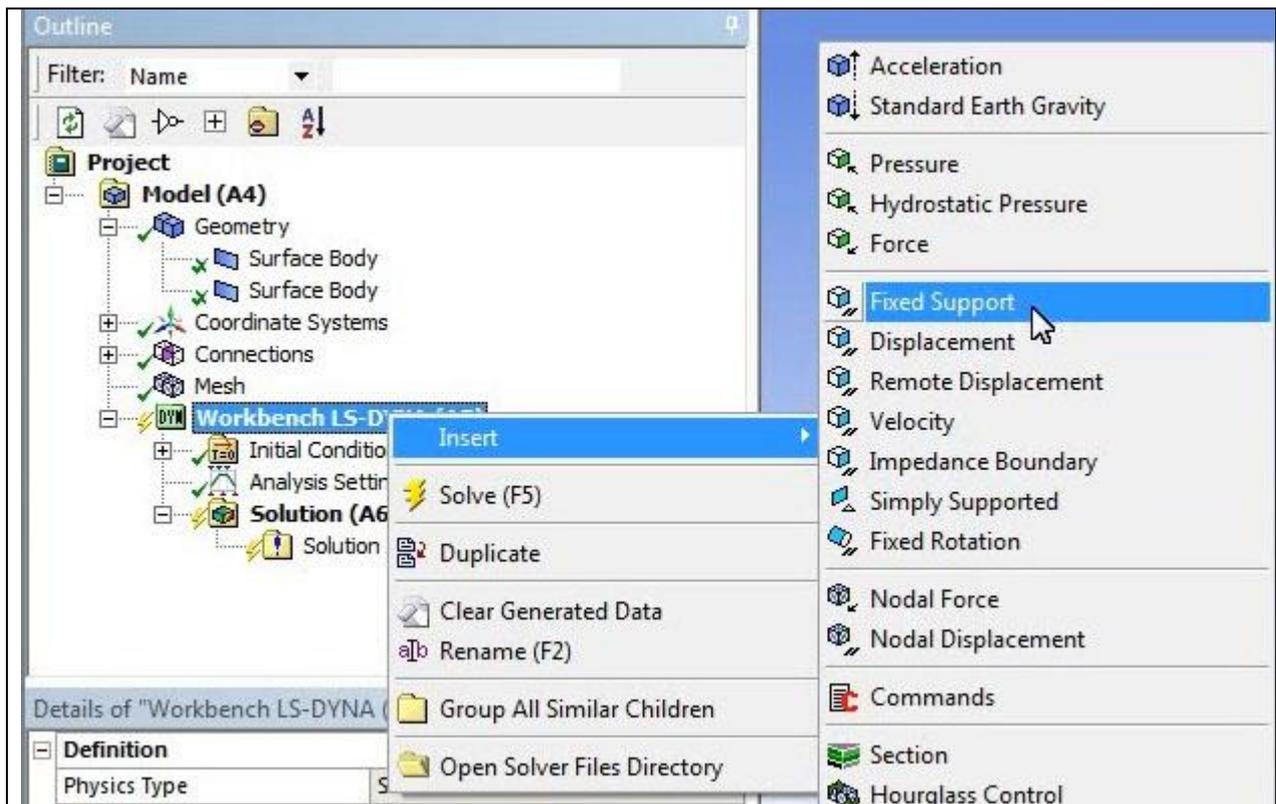


Шаг 31

Ограничить края пластины

В окне Outline

Workbench ls-dyna правой кнопкой выбрать Insert – Fixed Support

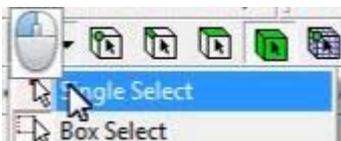


Шаг 32

Активировать выбор при помощи линий

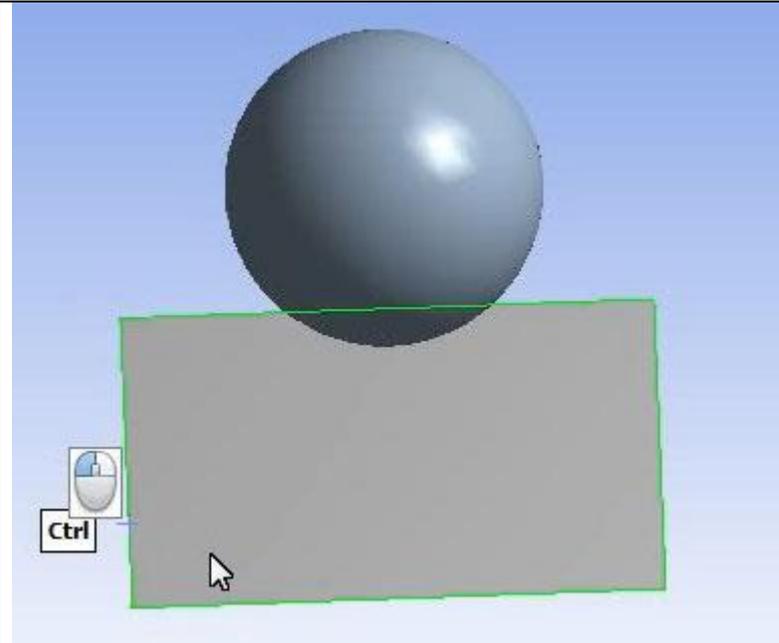


Выбрать Single Select



Шаг 33

Выбрать поочередно 4 грани пластины (используя кнопку Cntr клавиатуры)



Нажать Apply

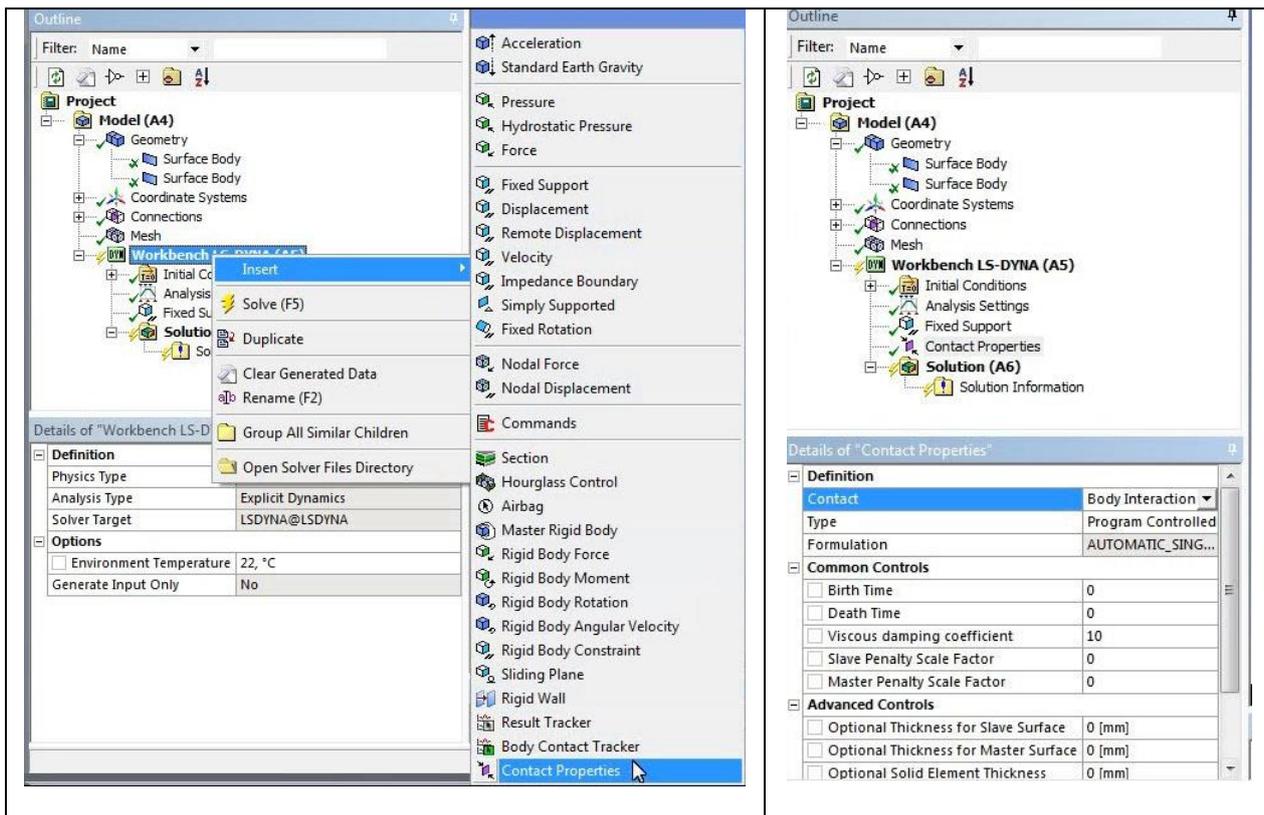
Шаг 34

Определить параметры контакта

В окне Outline

Workbench Is-dyna правой кнопкой выбрать Insert – Contact Propertis

В окне Details of “Contact Properties” в пункте Contact указать Body Interaction

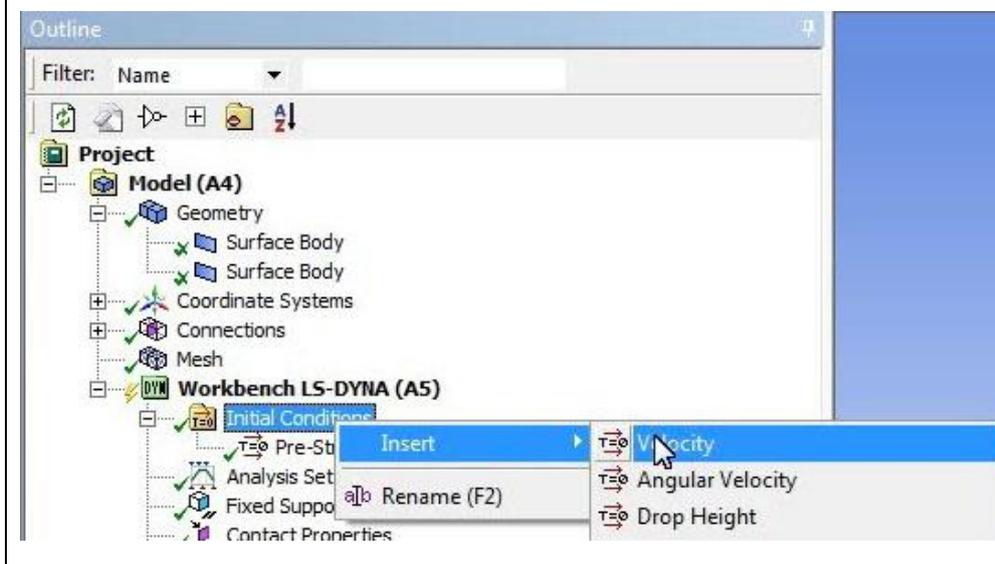


Шаг 35

Определить начальную скорость движения сферы

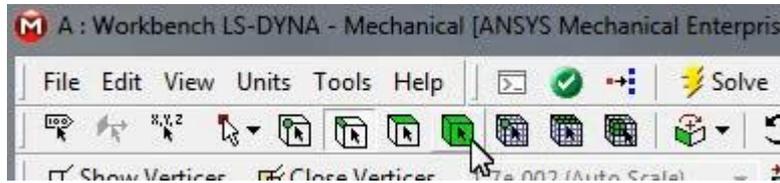
В окне Outline

Workbench ls-dyna – Initial Condition правой кнопкой выбрать Insert – Velocity



Шаг 36

Активировать выбор объемного тела



Указать на сферу

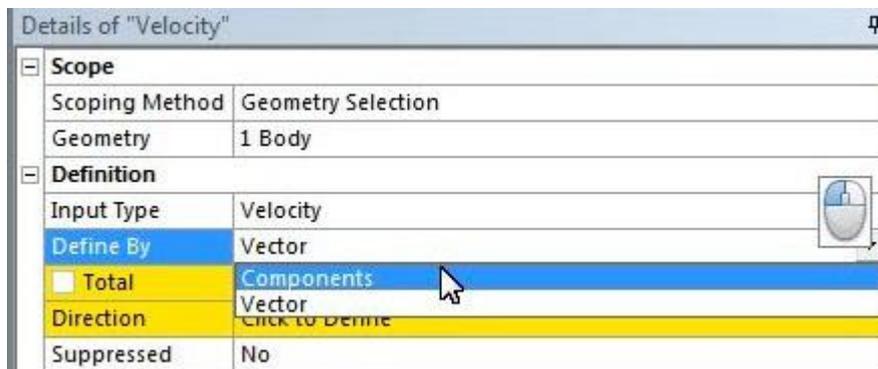
В окне Details в пункте Geometry нажать Apply

Шаг 37

Определить вид ввода скорости

Указать ввод при помощи Components

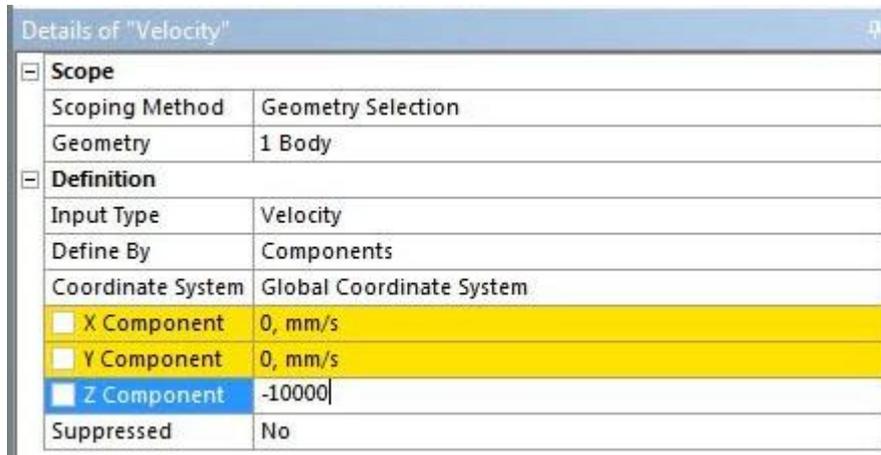
Define By - Components



Шаг 38

Ввести значения начальной скорости

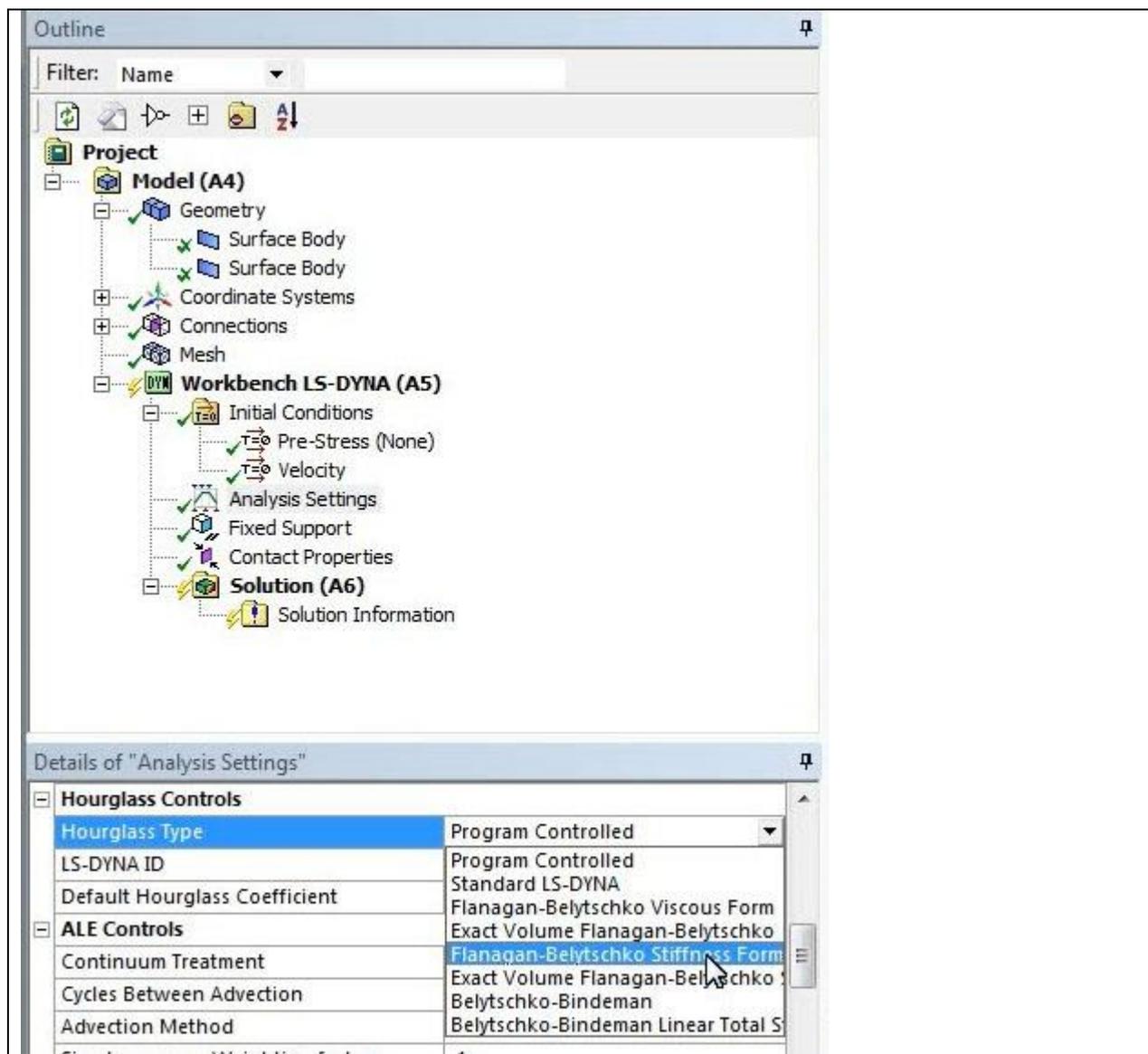
Z Component = -10000



Шаг 39

Определить контроль искажения Hourgalss

Project - Model – Workbench LS-DYNA – Analysis Settings

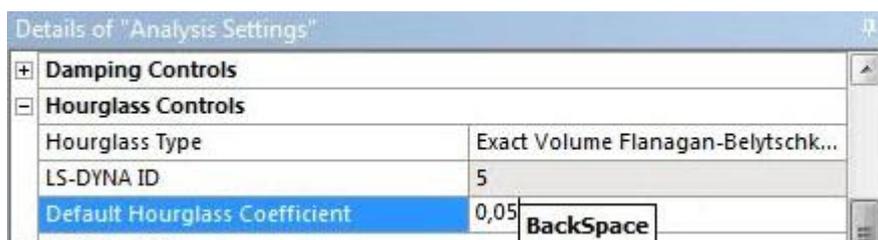


В окне Details of “Analysis Settings” выбрать Hourglass Type – Flanagan-Belyscjko Stiffness Form

Шаг 40

Определить коэффициент искажения Hourglass

Ввести коэффициент Default Hourglass Coefficient = 0,05

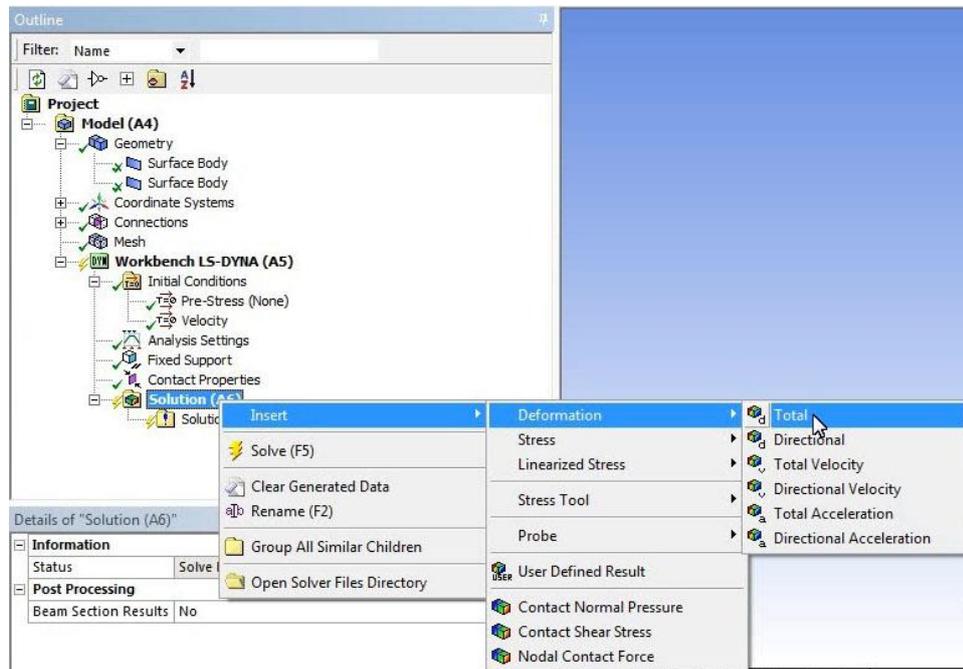


Шаг 41

Определить выходные параметры – полная деформация

В окне Outline

Solution – Insert - Deformation – Total

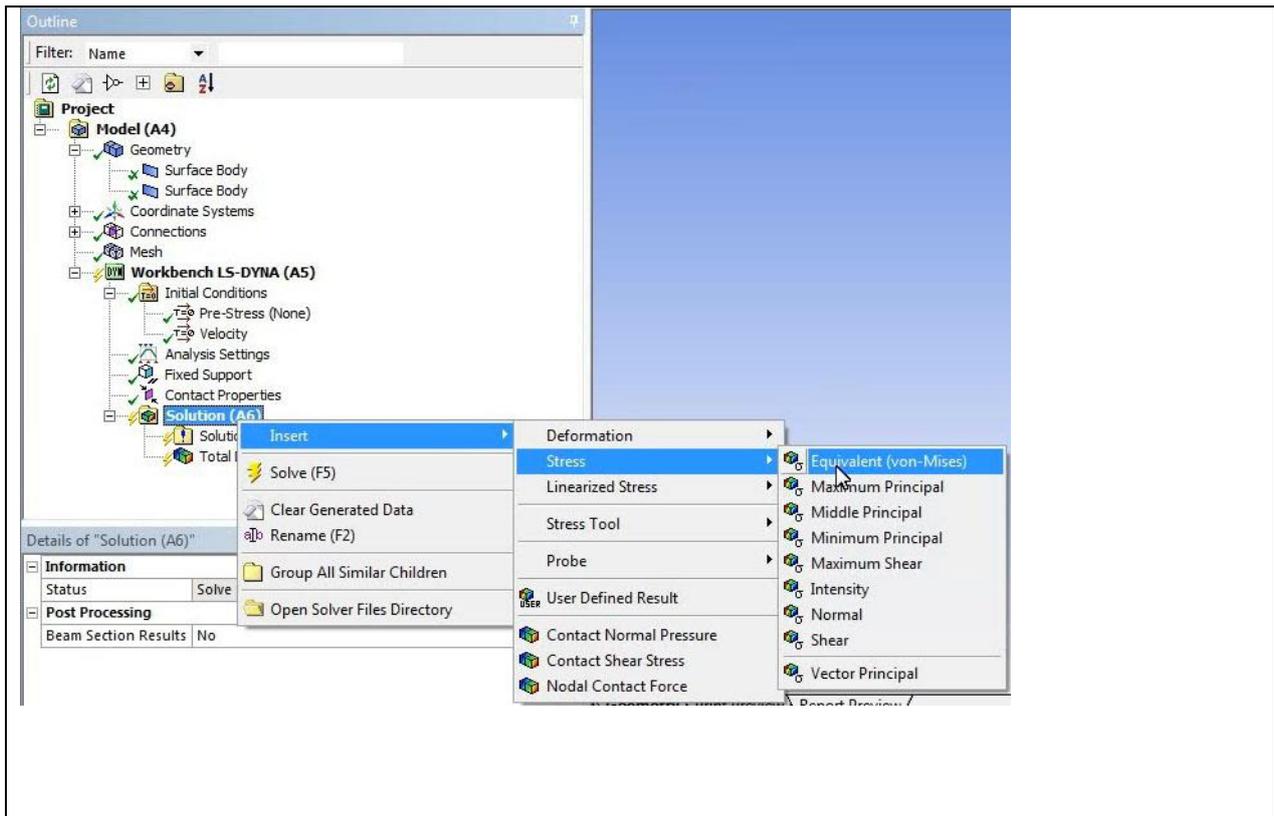


Шаг 42

Определить выходные параметры – напряжение

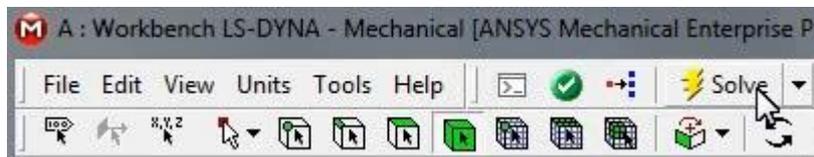
В окне Outline

Solution – Insert – Stress – Equivalent (von Mises)



Шаг 43

Запуск на расчет

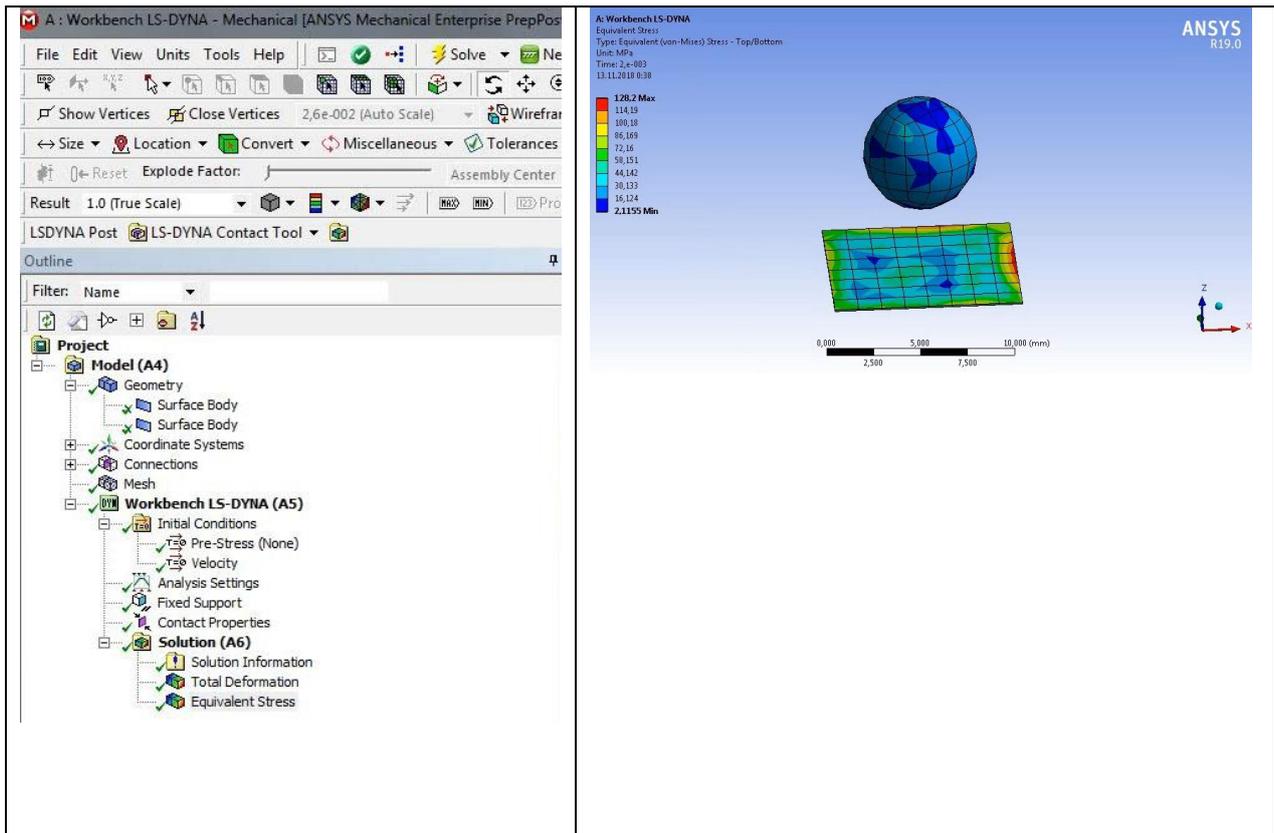


Шаг 44

Просмотр результатов по напряжению

В окне Outline

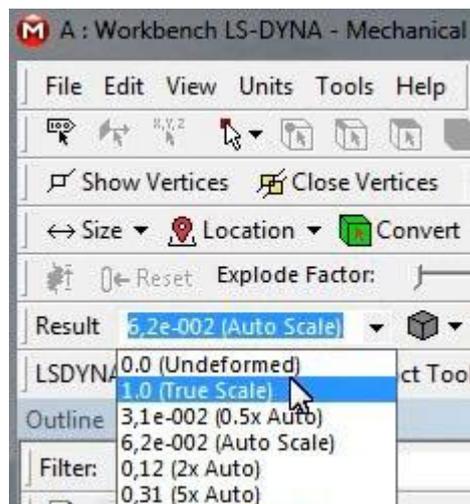
Solution – Equivalent Stress



Шаг 45

Показ в реальном масштабе

Установить значение Result = 1.0 (True Scale)



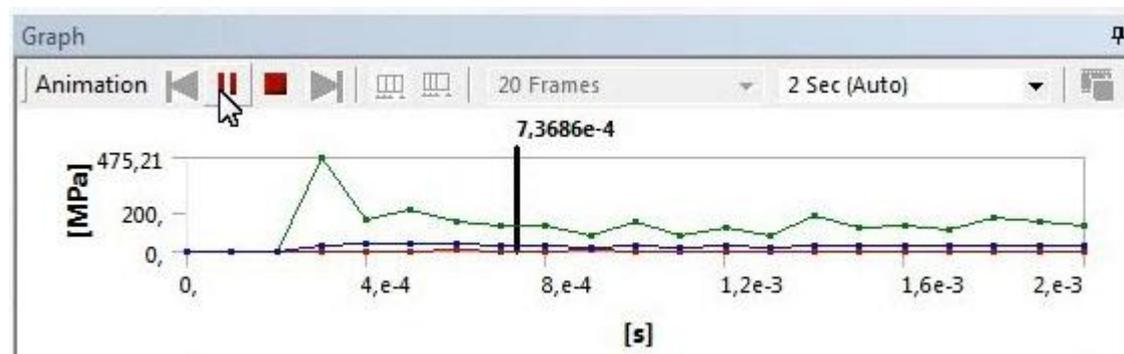
Шаг 46

Вывод анимации используя панель анимации



Шаг 47

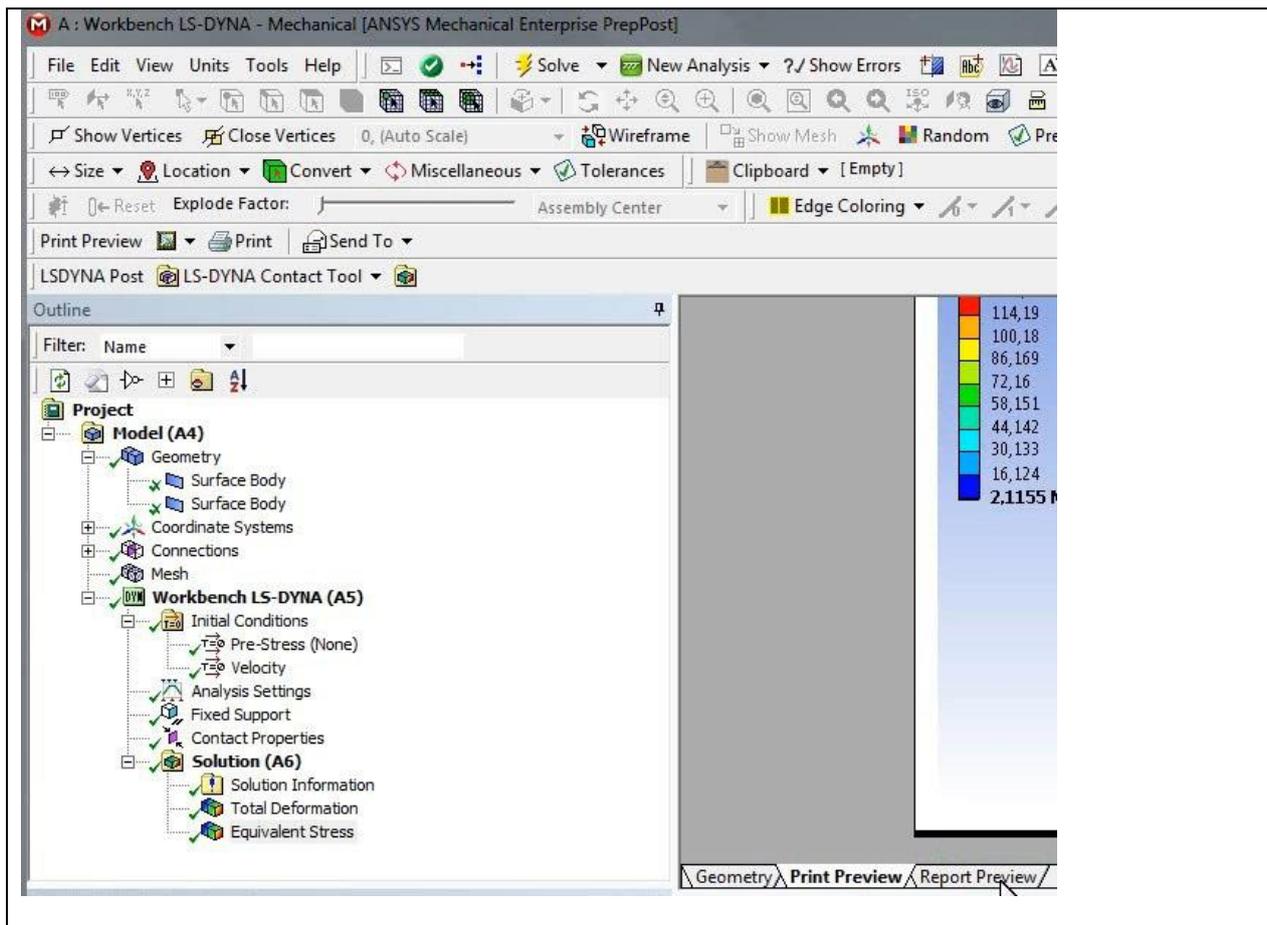
Вывод графика с анимации



Шаг 48

Вывод отчета

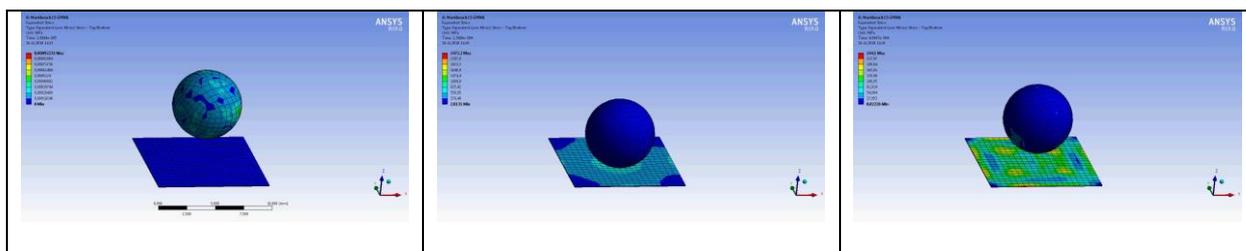
На рабочем экране нажать закладку Report Preview



Анализ результатов

Анализ результатов был проведен в программах Ansys Workbench ls-dyna и LS-Prepost.

Анализ результатов в постпроцессоре Ansys Workbench



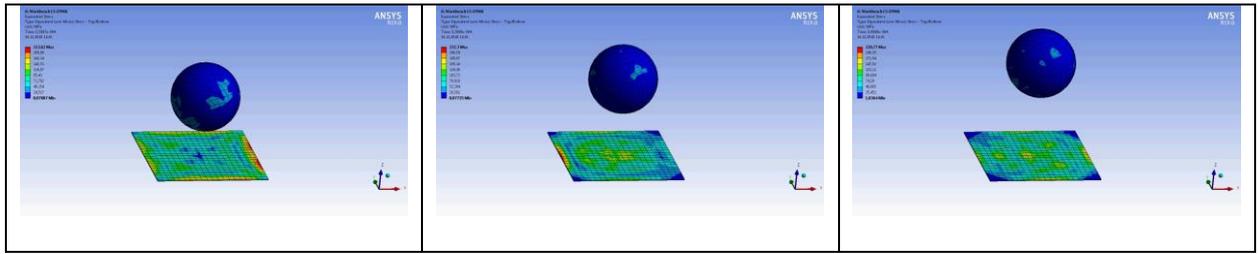


Рис. 2. Этапы удара сферы о пластину по Von-mises stress по времени

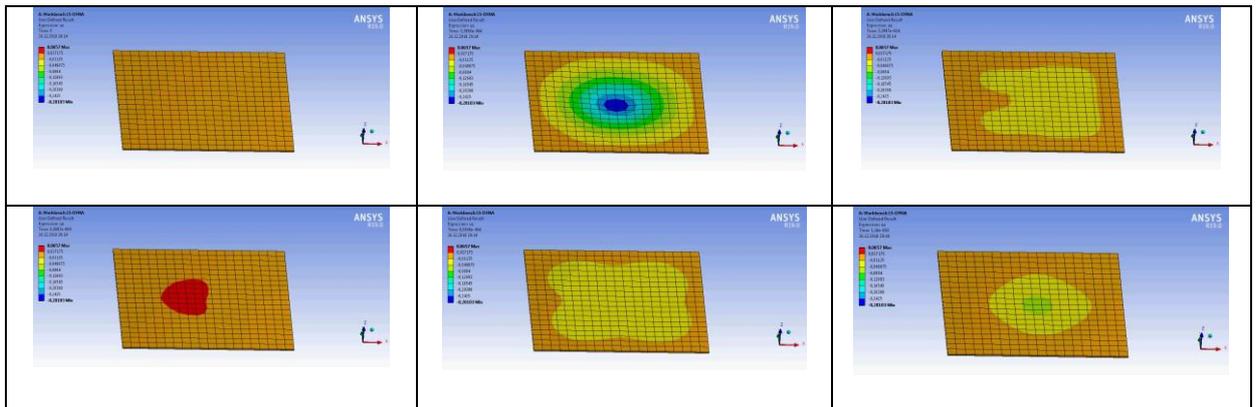


Рис. 3. Палитра перемещения по пластине вдоль оси Z по времени

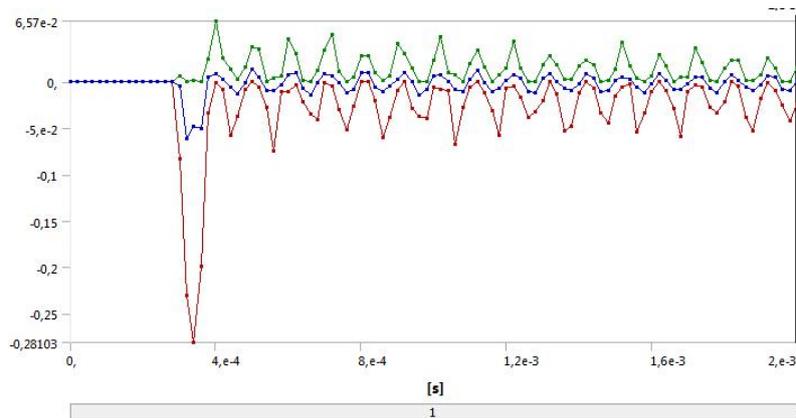


Рис. 4. График перемещений (максимальные, средние и минимальные значения) узлов пластины вдоль оси Z

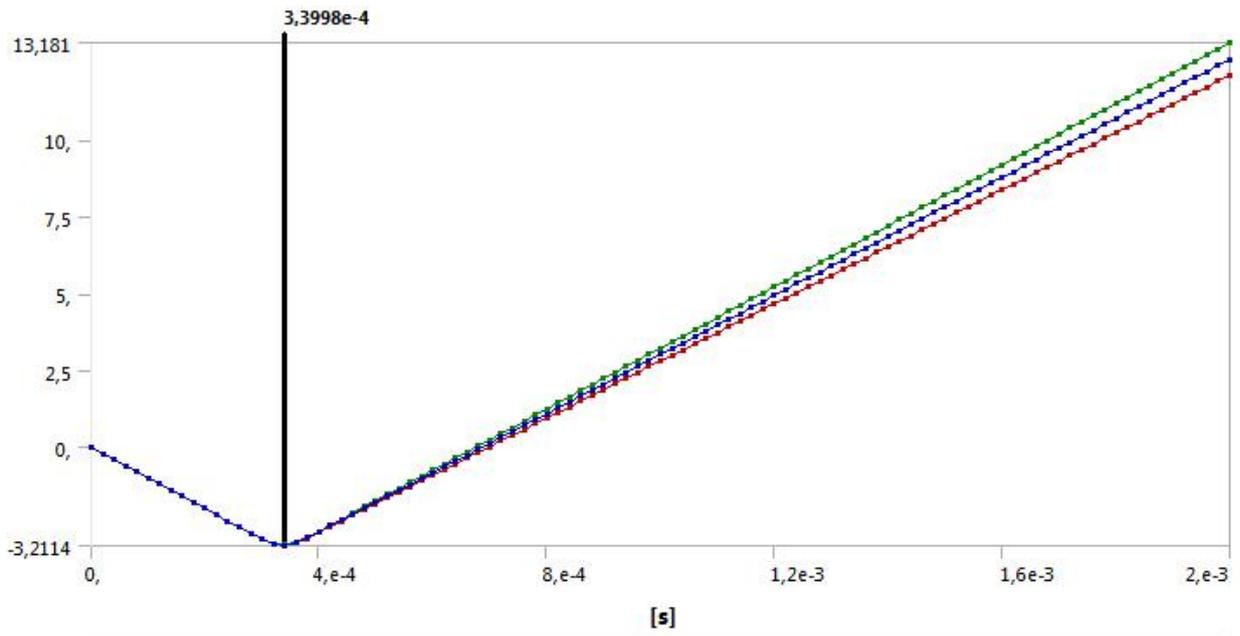


Рис. 5. График перемещений (максимальные, средние и минимальные значения) узлов сферы по оси Z

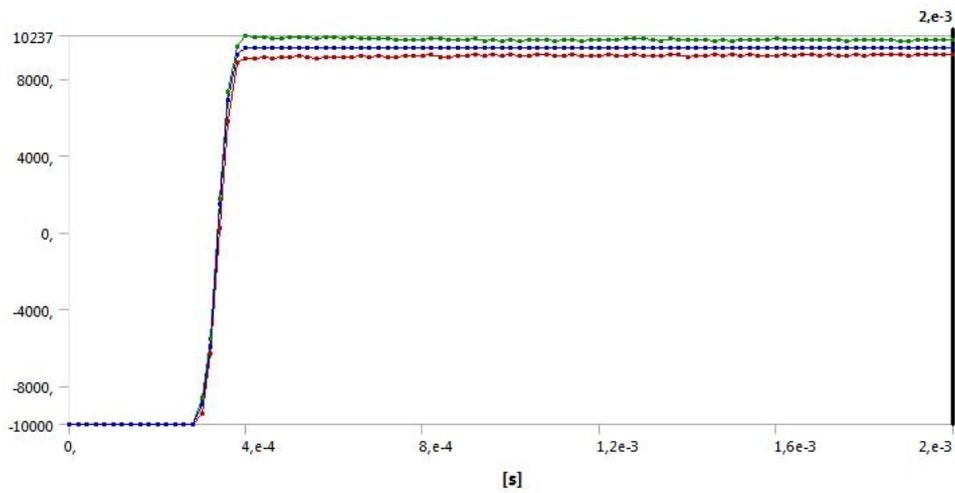


Рис. 6. График скорости движения сферы по оси Z (максимальные, средние и минимальные значения)

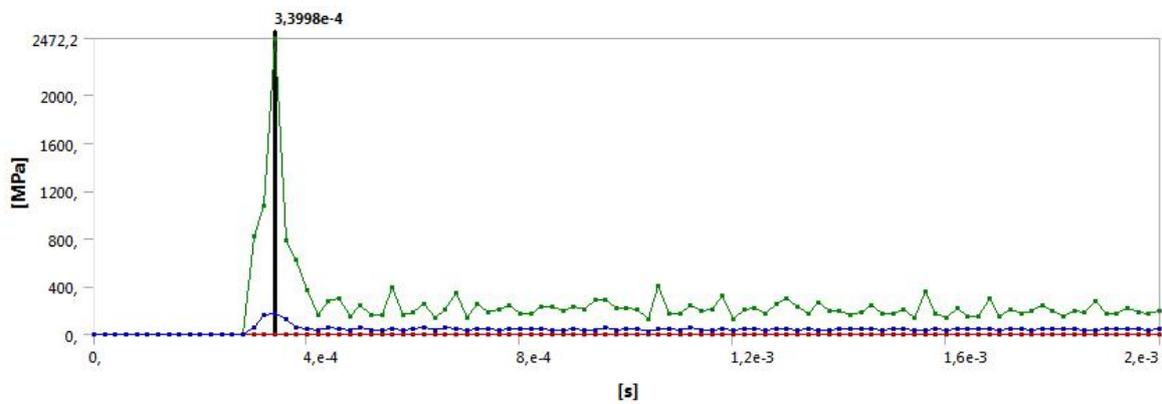


Рис. 7. Напряжение на пластине по Von-mises stress от удара сферой (максимальные, средние и минимальные значения)

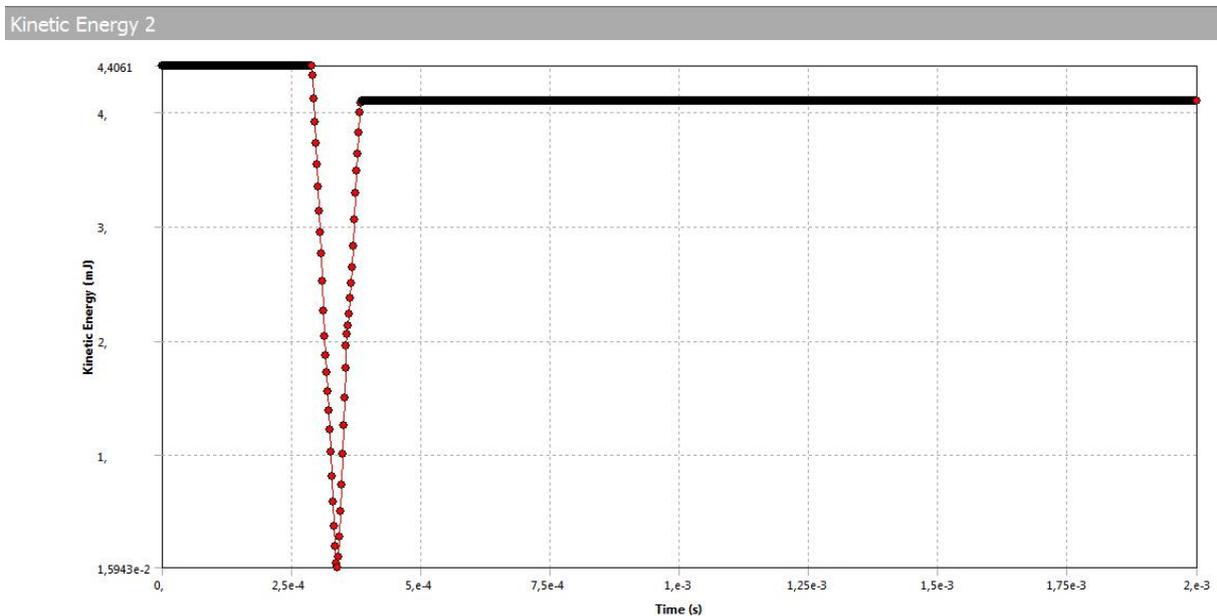


Рис. 8. Кинетическая энергия движения сферы (файл Matsum)

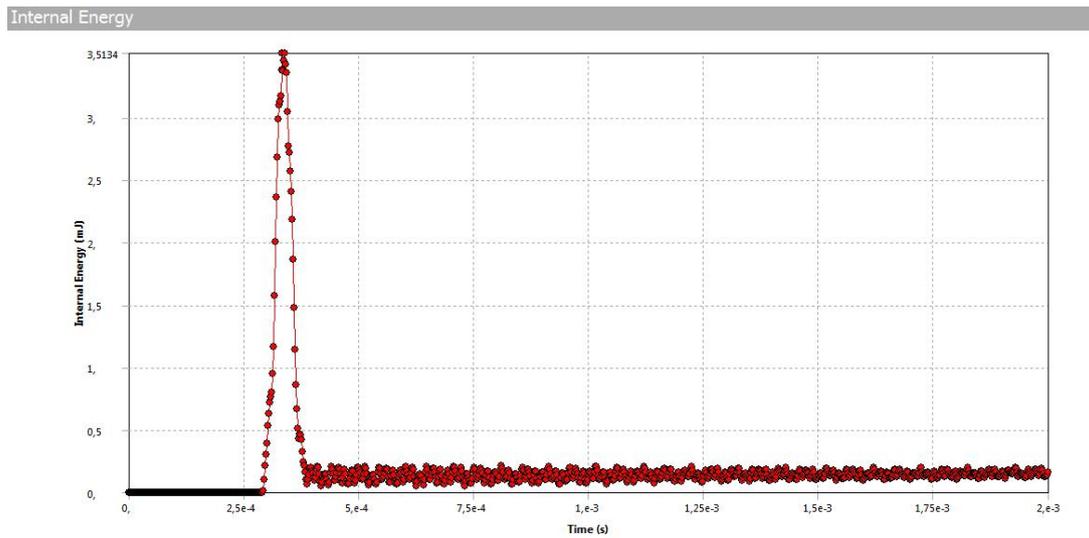


Рис. 9. Внутренняя энергия пластины (файл Matsum)

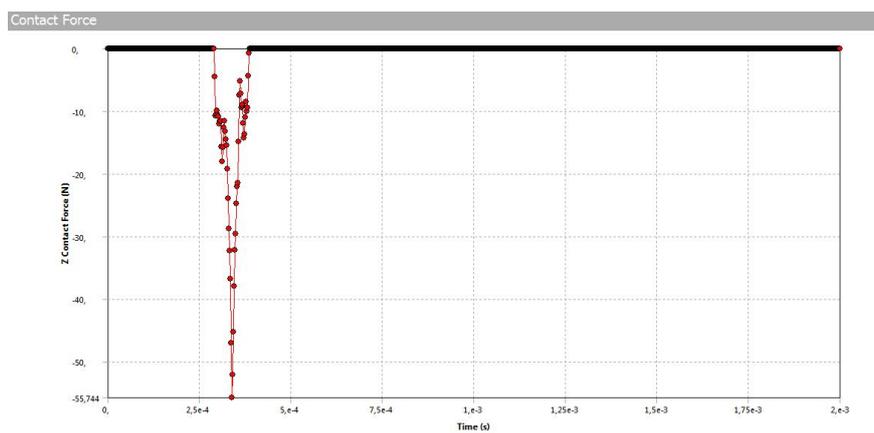


Рис. 10. Усилие в зоне взаимодействия сферы и пластины (файл Rcforc)

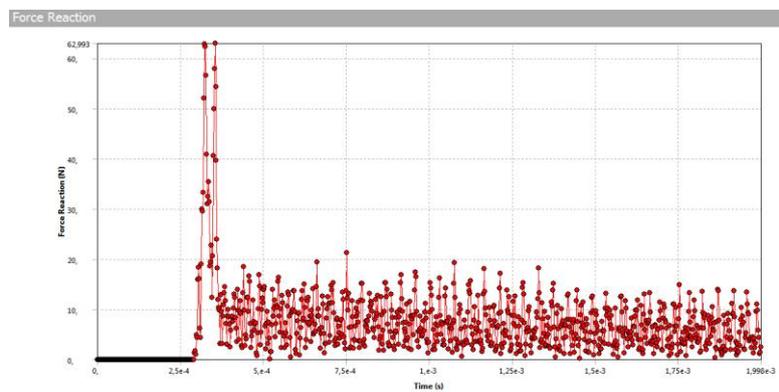


Рис. 11. Усилие реакции в зоне закрепления (файл SPCForce)

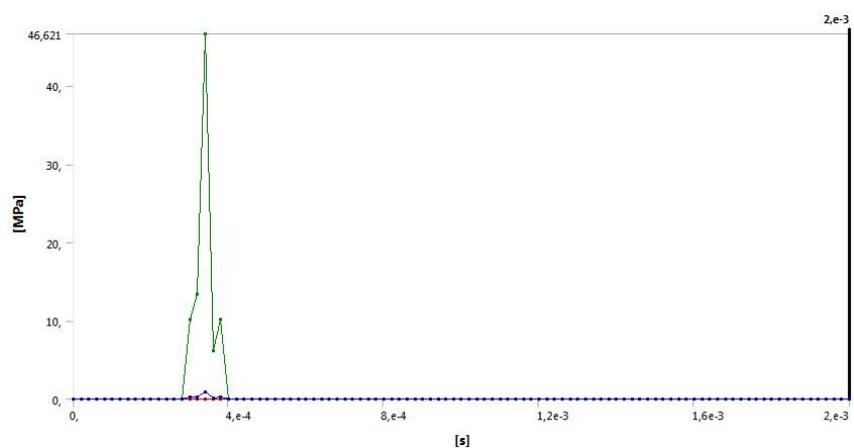


Рис. 12. Нормальное напряжение в зоне контакта

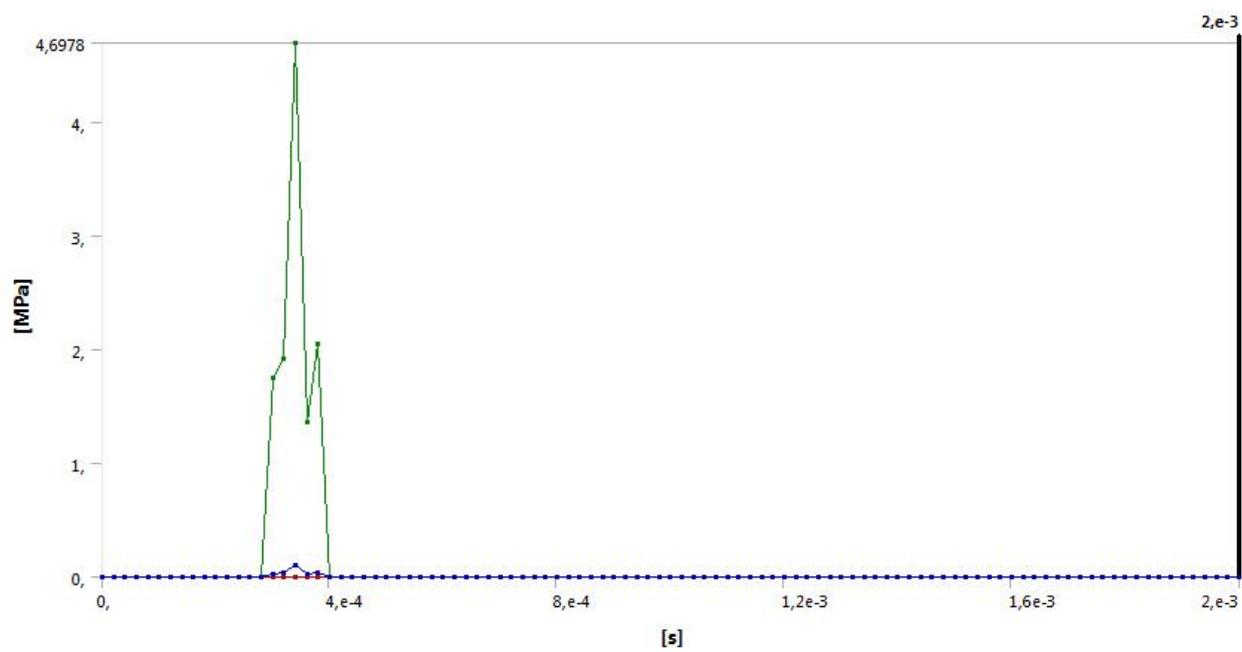


Рис. 13. Касательное напряжение в зоне контакта

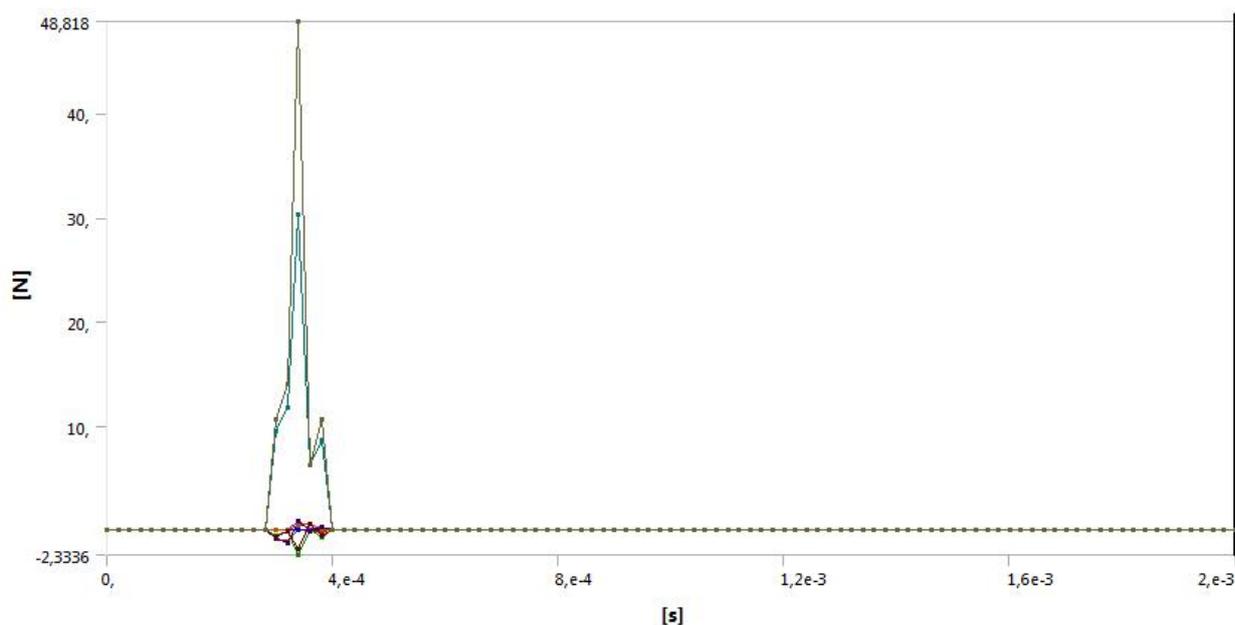


Рис. 14. Контактное усилие по узлам

Сфера движется по оси Z вертикально вниз со скоростью 10000 мм/сек. В момент времени $2,8e-4$ секунды сфера ударяется об пластину. Пластина прогибается на максимальную величину 0,281 мм при времени $3,4e-4$ сек. Потом сфера начинает движение вертикально вверх. Максимальное напряжение по Von-mises stress составляет 2472 МПа и соответствует моменту времени $3,4e-4$ сек.

Кинетическая энергия сферы в начальный момент времени соответствует 4,4061 мJ в момент удара практически падает до нуля (значение $1,594e-2$ мJ) и потом возрастает до 4,1 мJ. Часть кинетической энергии переходит в внутреннюю энергию в момент удара о пластину.

Внутренняя энергия на пластине возрастает до 3,513 мJ в момент удара сферы и далее уменьшается примерно до 0,15 мJ. Присутствие внутренней энергии после окончания удара связано с колебаниями пластины. Часть внутренней энергии идет и на деформирование сферы.

После удара сфера перемещается вверх по оси Z со средней скоростью 9620 мм/сек

Усилие в момент максимального прогиба пластины соответствует величине 55,744 Н. Усилие реакции в зоне фиксации края пластины соответствует значению 63 Н.

Нормальное давление в зоне контакта соответствует 46,621 МПа.

Касательное напряжение в зоне контакта соответствует 4,7 МПа.

Сравнение обработки результатов в программах ansys workbench ls-dyna и ls-prepost показал что результаты в основном аналогичные.

Отличие связано:

1. В различие исходных k файлов. Программа ansys workbench ls-dyna имеет большее количество параметров по умолчанию повышающих (по мнению разработчиков) точность расчета.
2. Небольшой разнице во временных параметрах в программах. Из-за дискретной записи результаты имеют различия.
3. В некоторых случаях графики имеют пилообразный вид, при котором оценить точно среднюю величину сложно.
4. Программы немного по-разному обрабатывают и выводят сохраненные данные при расчете.
5. При оценке максимального напряжения отличие связано с визуализацией результатов
6. Отсутствие данных по давлению в ls-prepost связано с отсутствием этих карт в k файле созданному в ls-prepost. Ansys сохраняет их автоматически

Пример моделирования процесса деформирования короба об пластину в программе ANSYS WORKBENCH LS-DYNA

Исходные данные:

Короб с размерами 30x30x200 мм имеет 2 открытые стороны по размеру 30x30. Короб по граням имеет радиуса скругления 2,5 мм. Толщина стенок короба 1,5 мм.

Короб полностью ограничен по стороне 30x30 (сверху).

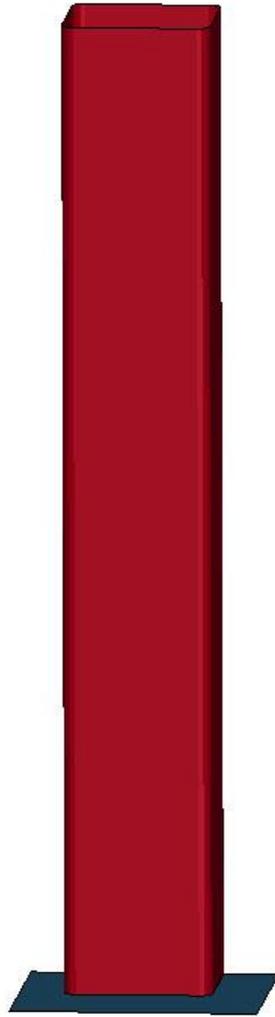
Пластина с размерами 50x50x1 давит на короб по другой открытой стороне 30x30 (снизу) со скоростью 5000 мм/сек.

Материал короба – Алюминий 1050 (модуль Юнга 69000 Н/мм² (E). коэффициент Пуассона (η) 0,33, плотность 2,7 т/мм³ (ρ), предел текучести 28,06 МПа (σ_y), касательный предел 184,5 МПа (E_{tan}))

Время расчета 0,01 сек.

Определить деформацию короба в процессе взаимодействия с пластиной.

Для создания модели используется препостпроцессор ANSYS 19.0. Для расчета использовался решатель LS-DYNA smp s R8.1.0 встроенный в ANSYS

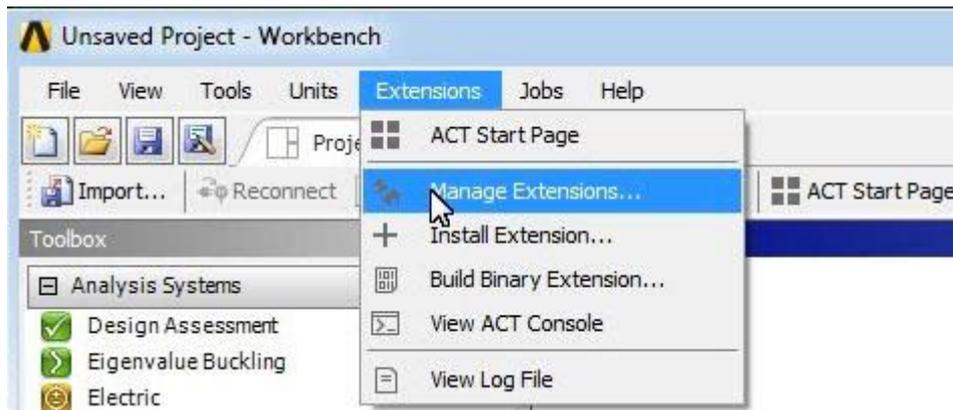


Модель процесса деформирования короба об пластину

1. Запускаем программу Ansys workbench

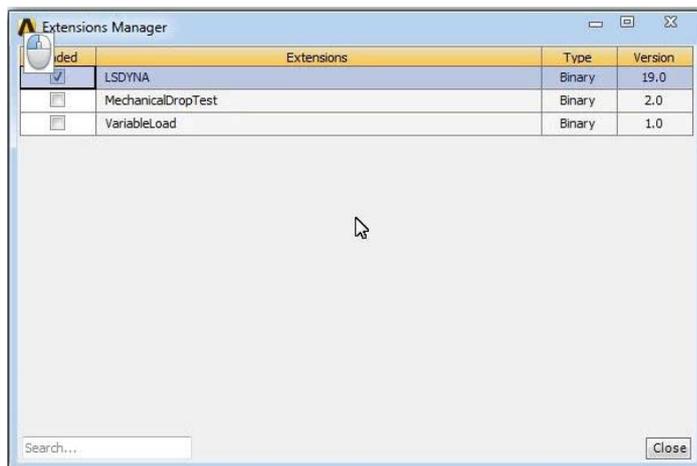
2. Выбираем расширение ANSYS LSDYNA.

Выпадающее верхнее меню Extensions – Manage Extensions



Ставим галочку по ls-dyna.

Нажимаем Close.



В панели Toolbox выбираем меню Workbench LS-DYNA.

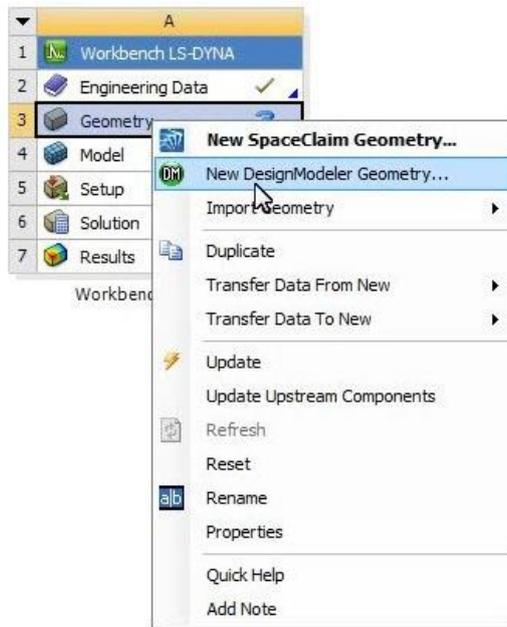


Появляется панель Workbench LS-DYNA.

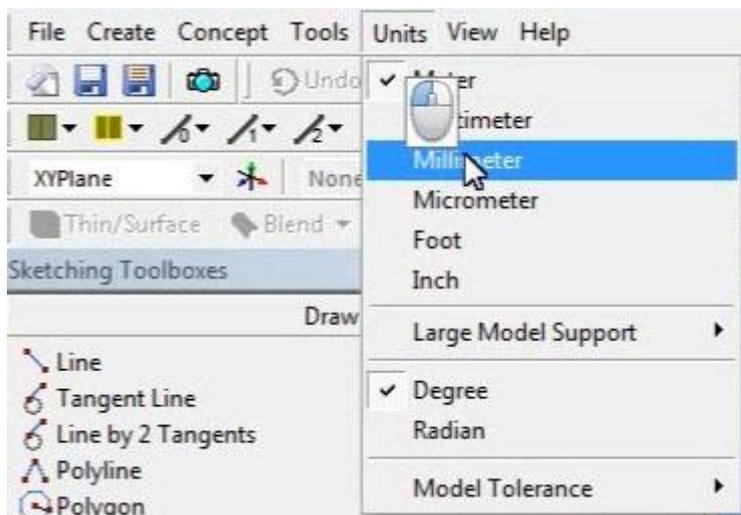


3. Создание геометрии

Выбираем опцию Geometry. Правой кнопкой выбираем New Design Modeler Geometry



Выбираем систему единиц – мм.



4. Построение короба

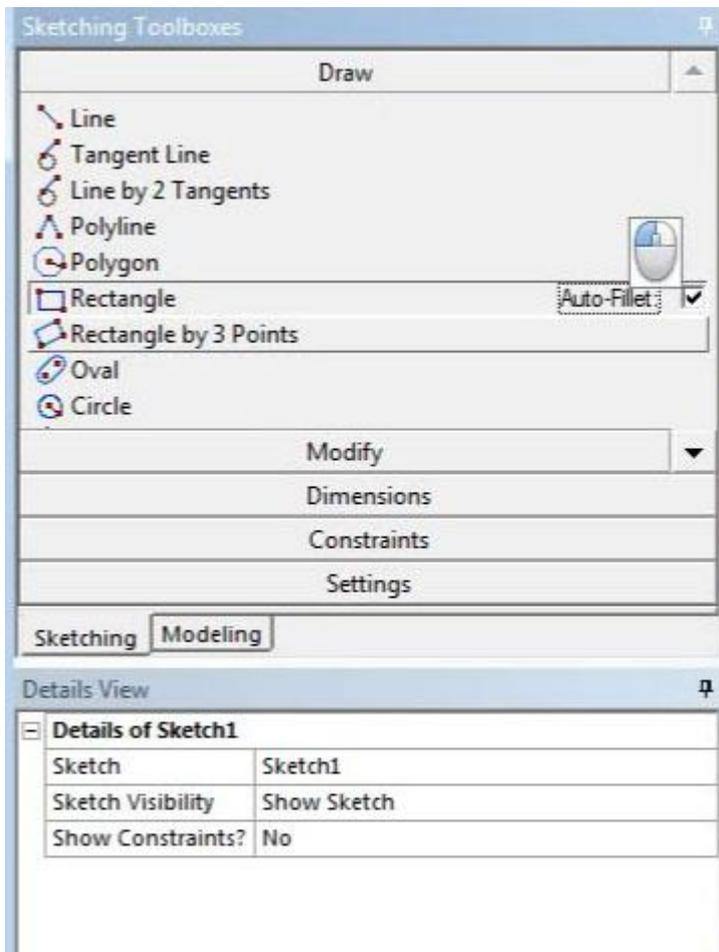
В окне Tree Outline выбираем плоскость XYPlane и нажимаем кнопку сделать этот вид.



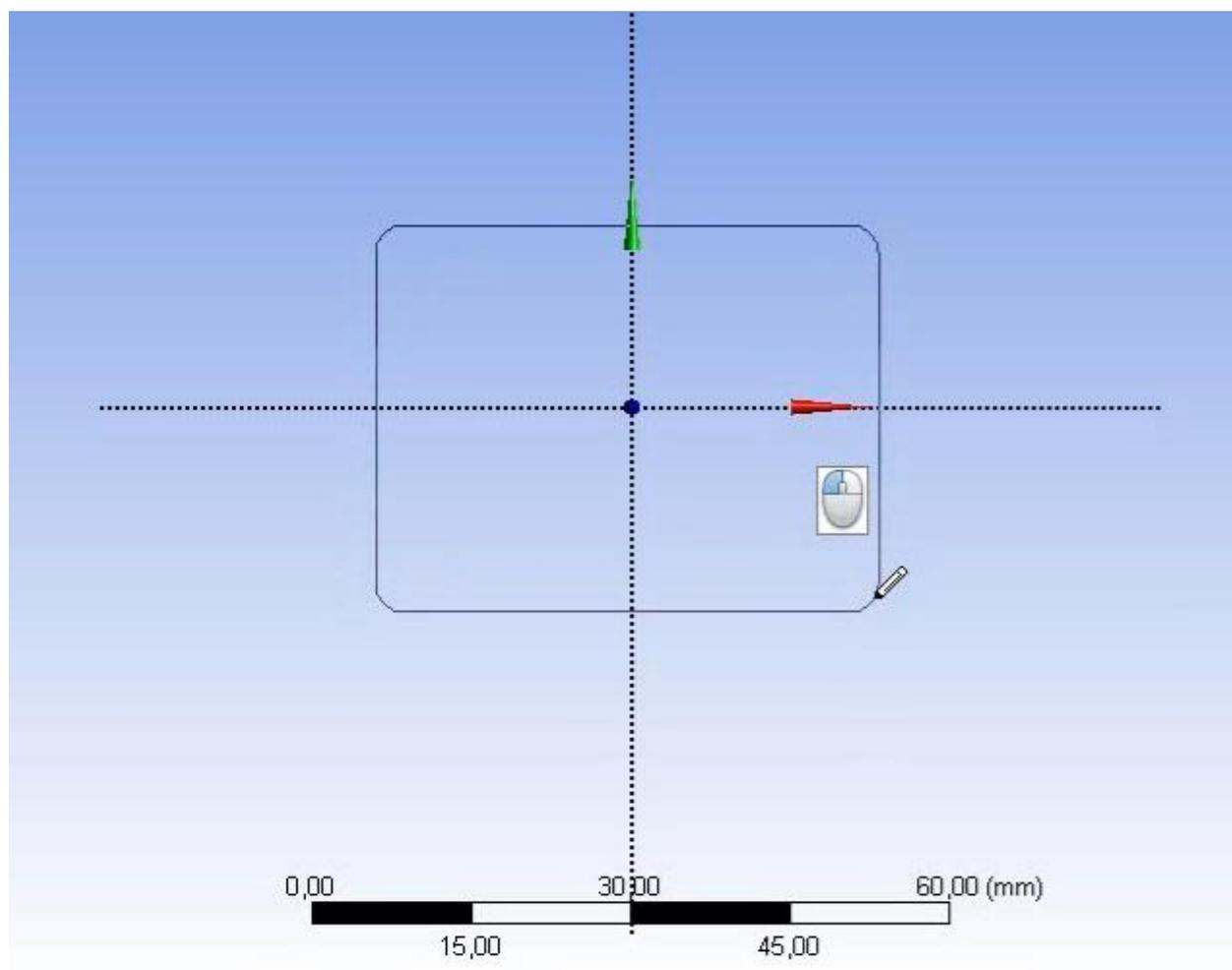
В окне Tree Outline выбираем закладку Sketching.

В закладке Draw выбираем построение прямоугольника Rectangle.

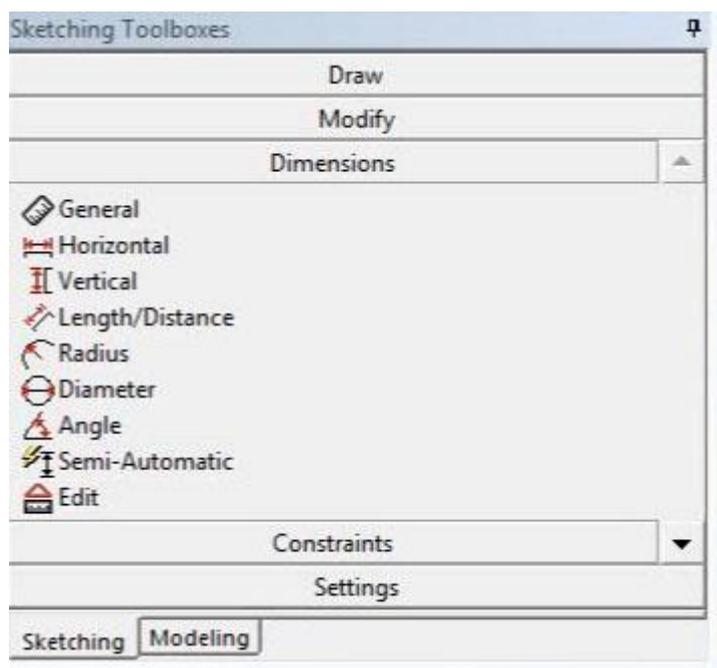
Ставим галочку на введении скругления Auto-Fillet.



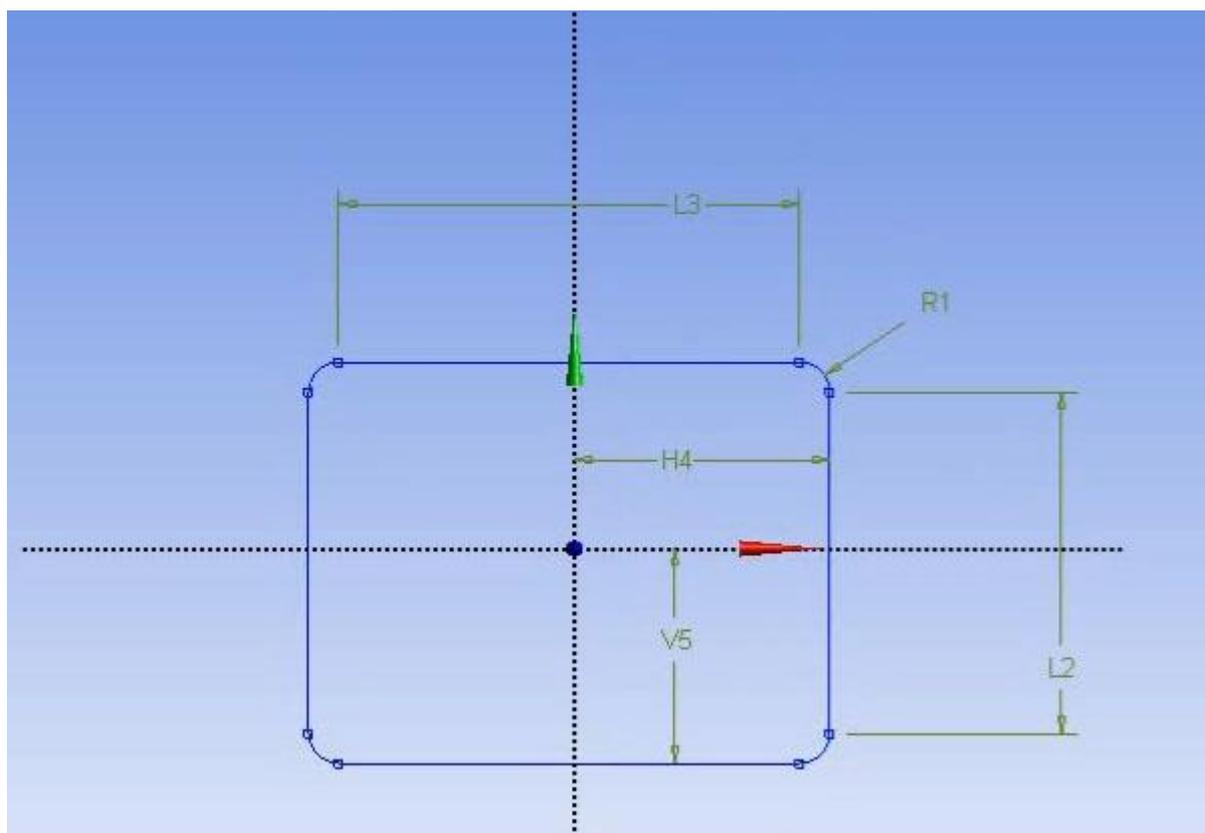
Строим в окне Graphics произвольный прямоугольник.



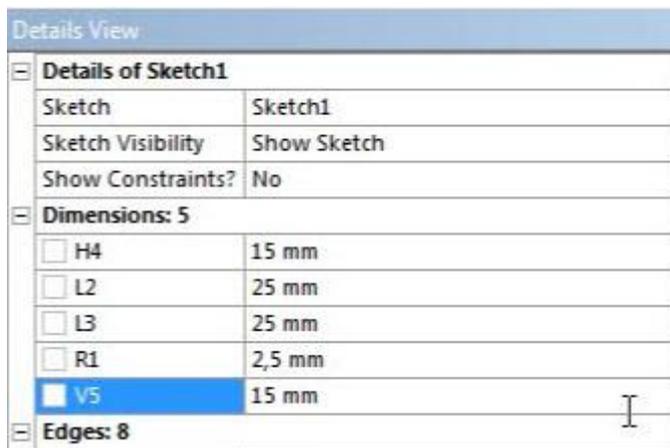
Выбираем закладку Dimensions – Semi-Automatic для проставления размеров.



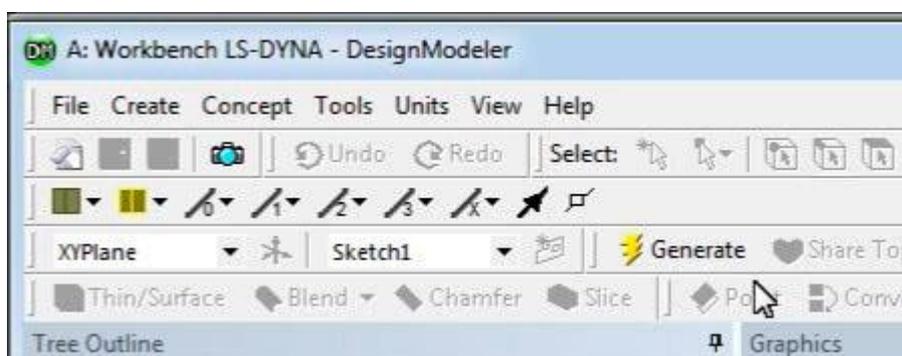
На прямоугольнике расставляем размеры.



В окне Details View корректируем размеры на заданные исходным заданием (15, 25, 25, 2.5, 15 мм).



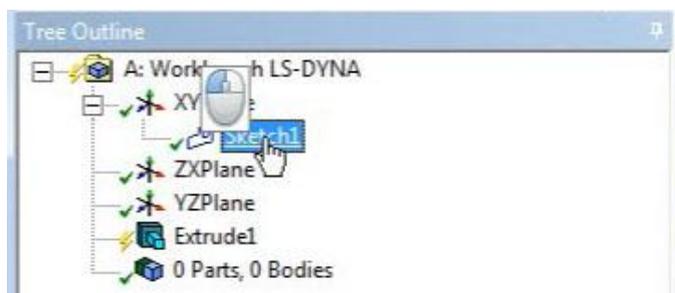
Нажимаем кнопку Generate.

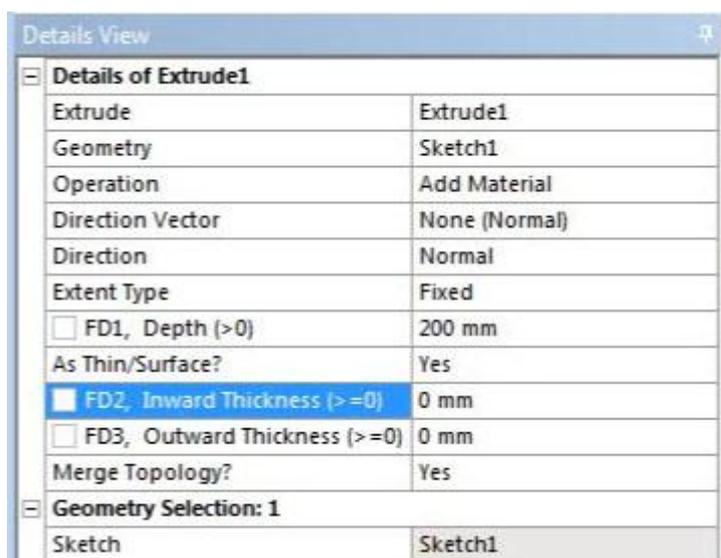


На панели нажимаем кнопку Extrude (для вытягивания геометрии).



Выбираем построенный эскиз Sketch1, указываем длину $FD1=200$, указываем получение тонкостенного элемента (As Thin/Surface - Yes), толщиной 0, $FD2=0$



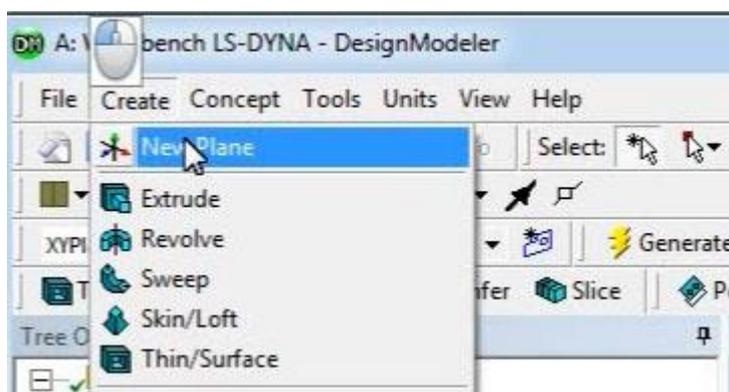


Нажимаем кнопку Generate.

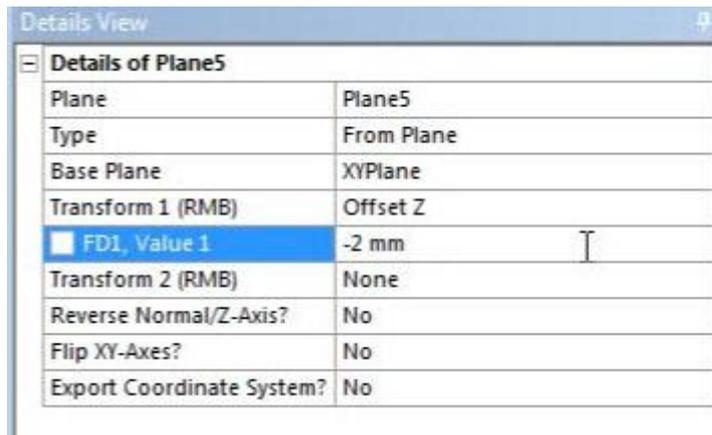
5. Построение пластины

Создаем дополнительную плоскость, на которой будем строить пластину.

Верхнее меню – Create – New plane.



В окне Detail View Transform1=Offset Z на расстоянии 2 мм вниз по Z (FD1=-2)



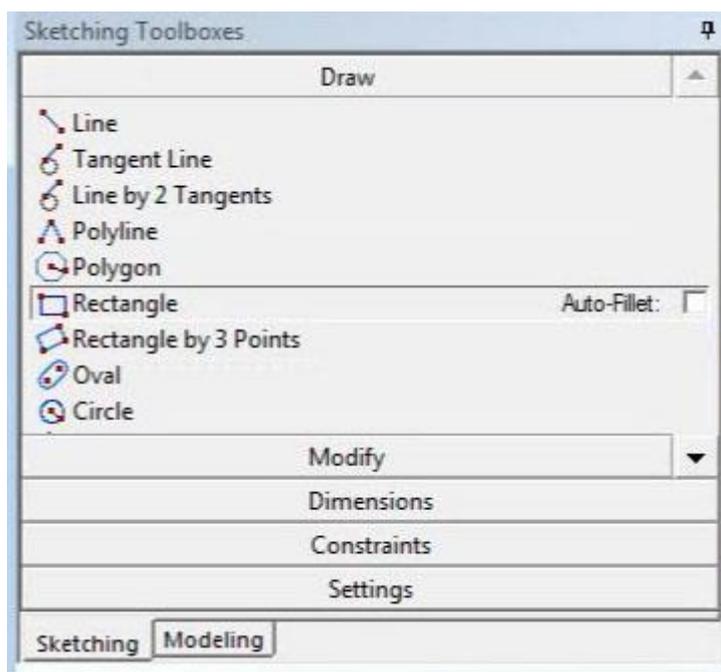
Нажимаем кнопку Generate.

В окне Tree Outline выбираем Plane5. Показать заданный вид.

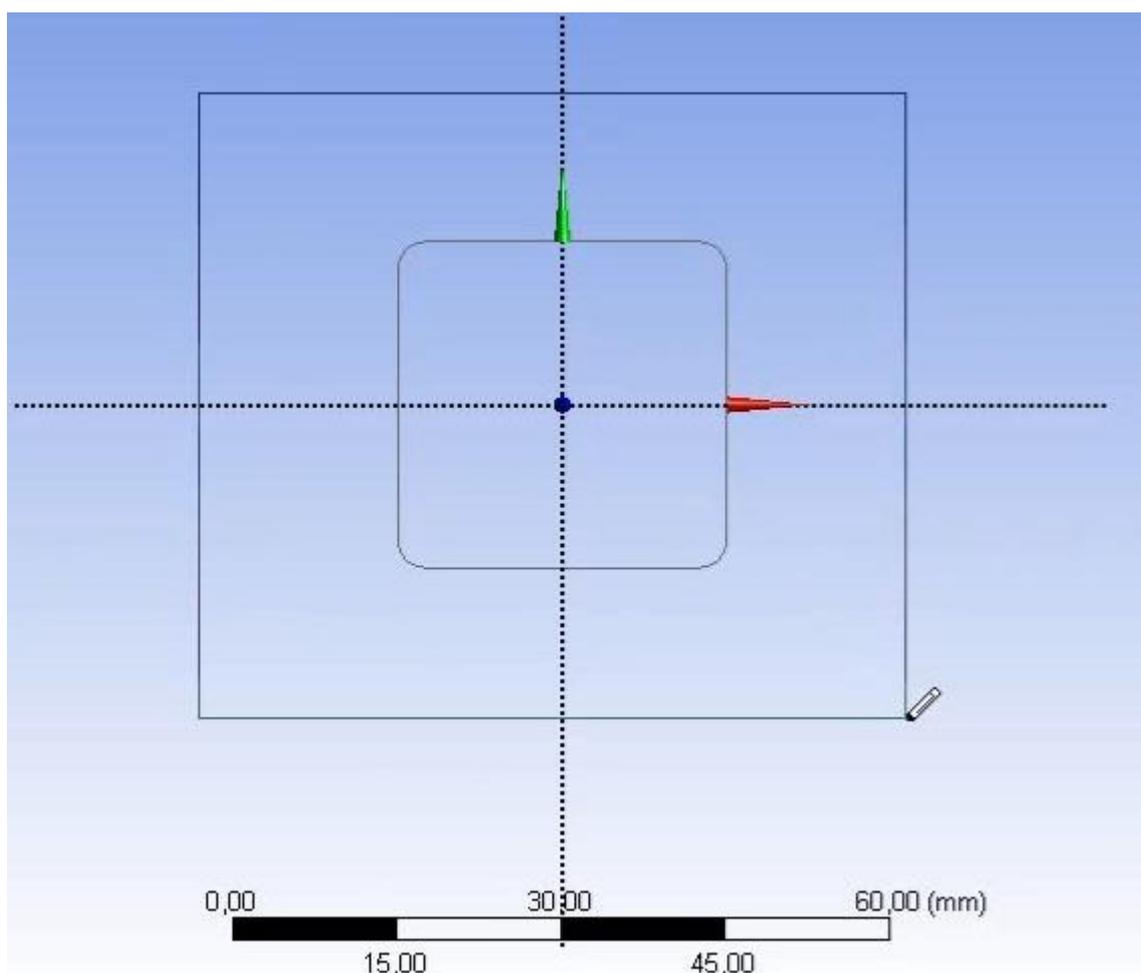


В закладке Draw выбираем построение прямоугольника Rectangle.

Убрать галочку на введении скругления Auto-Fillet.

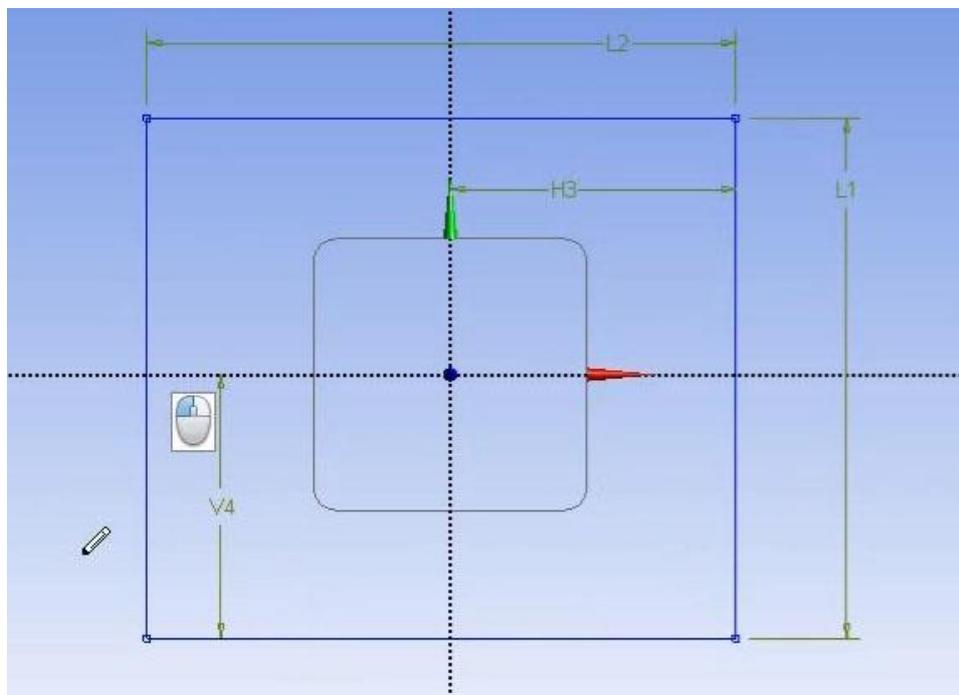


Строим в окне Graphics произвольный прямоугольник.



Выбираем закладку Dimensions – Semi-Automatic для проставления размеров.

На прямоугольнике расставляем размеры.



В окне Details View корректируем размеры на заданные исходным заданием (25, 50, 50, 25).



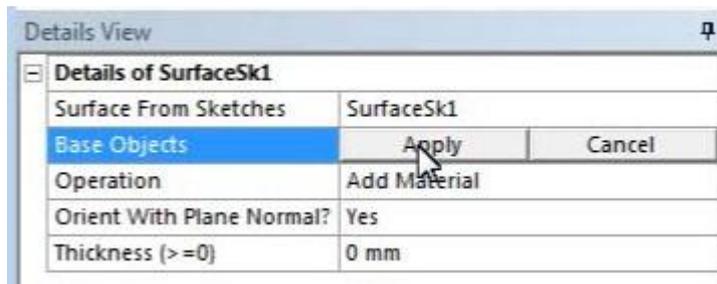
Нажимаем кнопку Generate.

Построение пластины на основе созданной геометрии.

Выбираем Sketch2, верхнее меню Concept – Surface From Sketches.



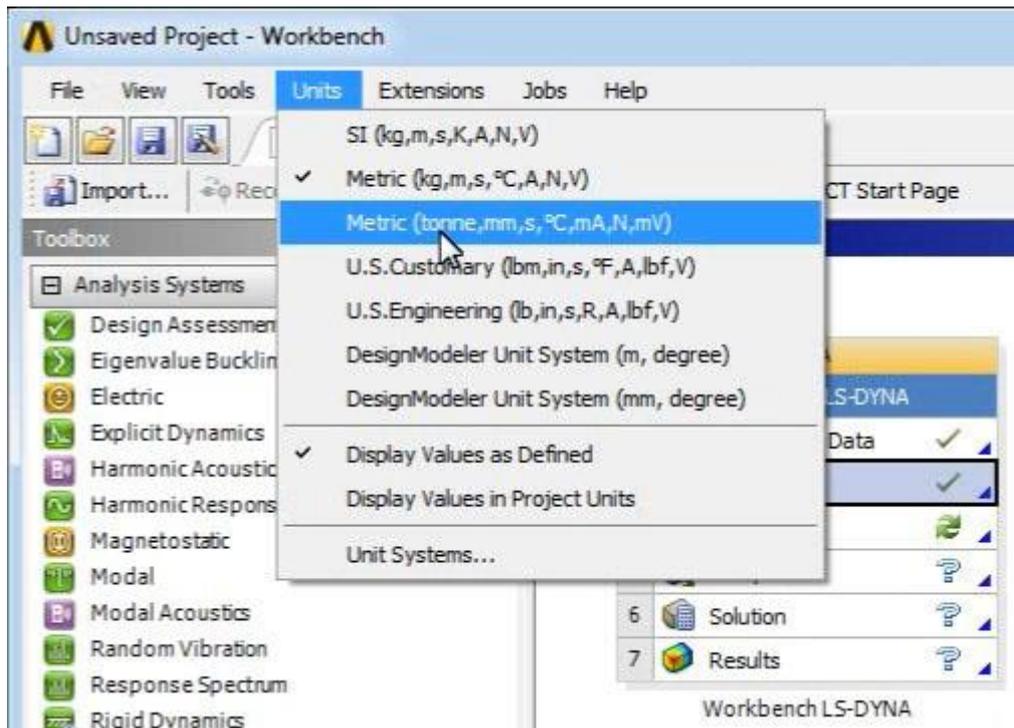
В окне Detail View нажать Apply.



Нажимаем кнопку Generate.

Закрывает программу Design Modeler

Выбираем нужную систему измерения Metric (tonne, mm, s)

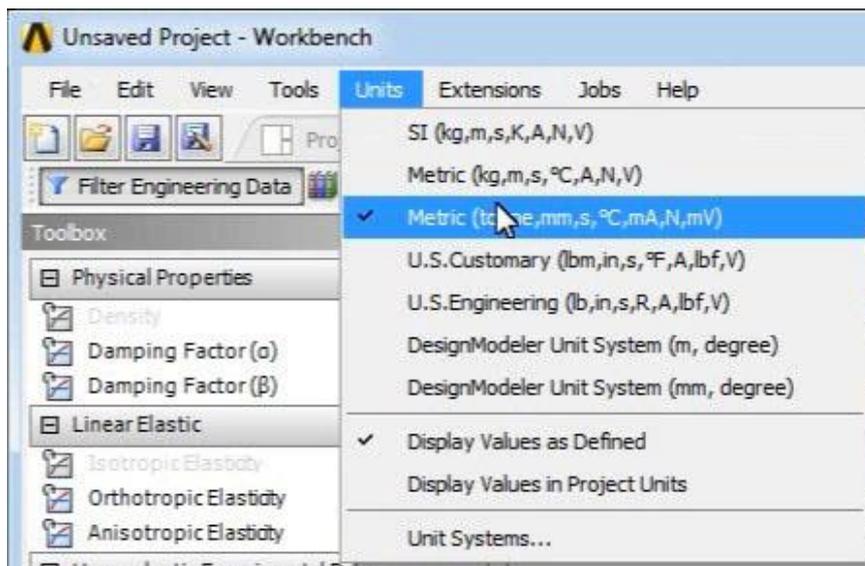


6. Определяем параметры материала

В окне Workbench Is-dyna выбираем Engineering Data



Выбираем нужную систему измерения Metric (tonne, mm, s)

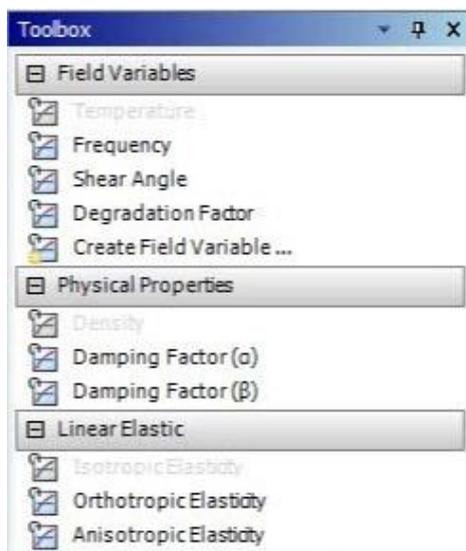


7. Определяем параметры материала для пластины

В окне Outline of Schematic добавляем новый материал New Steel.

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	new steel				

В закладке Toolbox выбираем пункт Density и Isotropic Elasticity.



Вводим значения в окне Properties of Outline Row: Density = $7,85e-9$, Young`s Modulus = $2e5$, Poisson`s Ratio = 0,3.

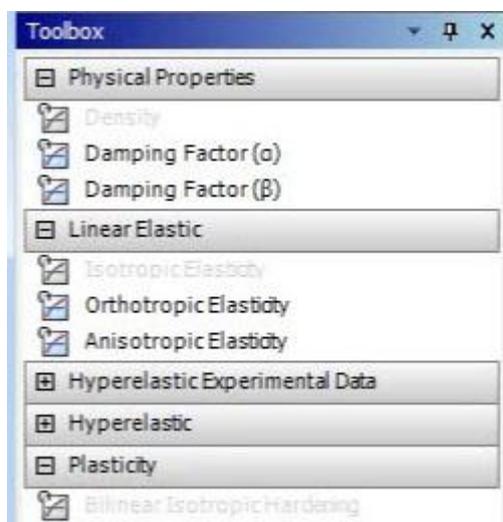
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7,85E-09	tonne m...		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's...			
6	Young's Modulus	2,1E+05	MPa		
7	Poisson's Ratio	0,3			
8	Bulk Modulus	1,75E+05	MPa		
9	Shear Modulus	80769	MPa		

8. Определяем параметры материала для короба

В окне Outline of Schematic вводим новый материал Al 1050

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	new steel	<input type="checkbox"/>			
4	Structural Steel	<input type="checkbox"/>			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Al 1050				

В окне Toolbox выбираем пункт Density, Isotropic Elasticity и Bilinear Isotropic Hardening



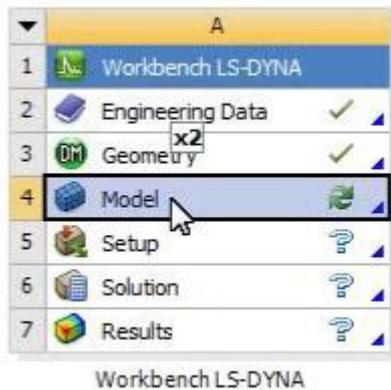
Вводим значения в окне Properties of Outline Row: Density = $2,7 \times 10^{-9}$, Young`s Modulus = 69000, Poisson`s Ratio = 0,33, Yield strength = 28,06, Tangent Modulus 184,5.

Properties of Outline Row 5: Al 1050					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2,7E-09	tonne m...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
5	Derive from	Young's...			
6	Young's Modulus	69000	MPa	<input type="checkbox"/>	
7	Poisson's Ratio	0,33			<input type="checkbox"/>
8	Bulk Modulus	67647	MPa		<input type="checkbox"/>
9	Shear Modulus	25940	MPa		<input type="checkbox"/>
10	Bilinear Isotropic Hardening			<input type="checkbox"/>	
11	Yield Strength	28,06	MPa	<input type="checkbox"/>	
12	Tangent Modulus	184,5	MPa	<input type="checkbox"/>	

Закрываем закладку Engineering Data.

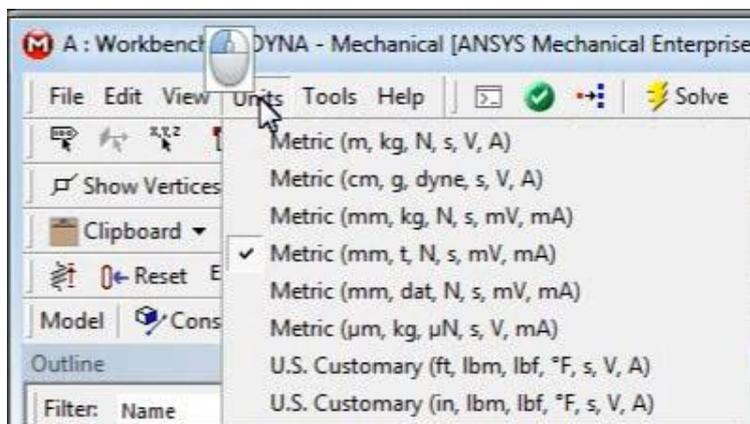
9. Определение параметров модели

В окне Workbench ls-dyna выбираем Model.



Проверяем систему единиц.

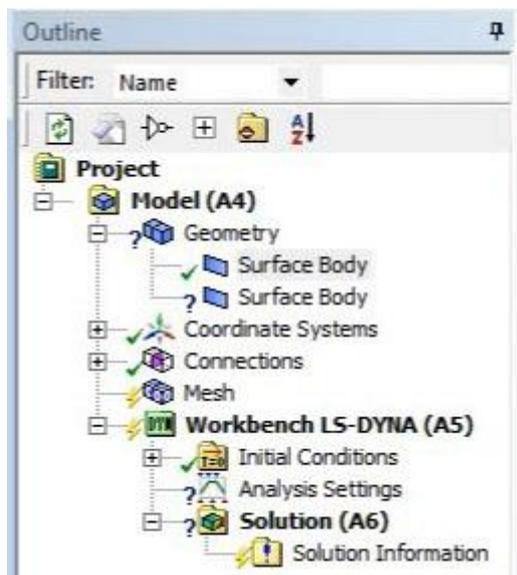
Выпадающее меню Units – Metric (mm, t, N, s).



В окне Outline

10. Определяем параметры для короба

Project - Model - Geometry



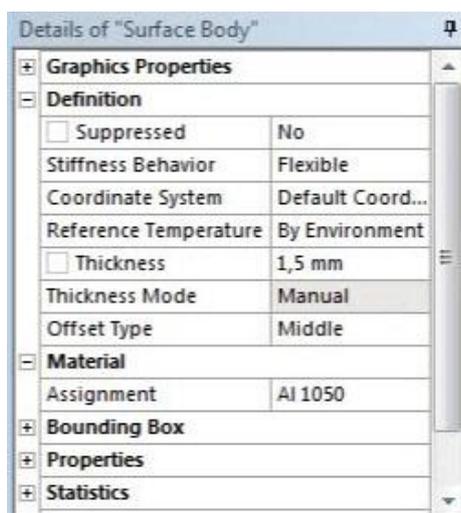
Выбираем Surface Body (подсвечивается короб)

в окне Surface Body вводим

толщину Thickness=1,5

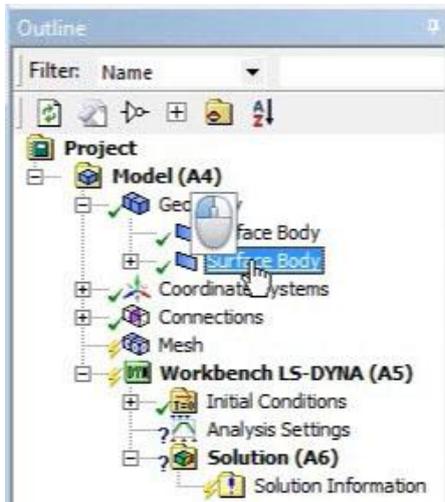
Stiffness Behavior – Flexible

Assignment – Al 1050



11. Определяем параметры для пластины

Выбираем следующий Surface Body (подсвечивается пластина)

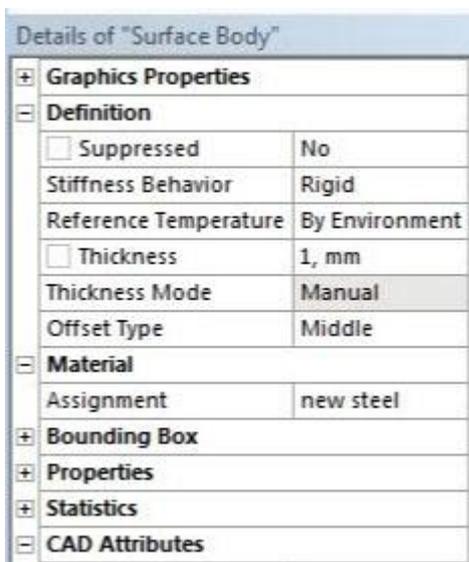


в окне Surface Body вводим

толщину Thickness=1

Stiffness Behavior – Rigid

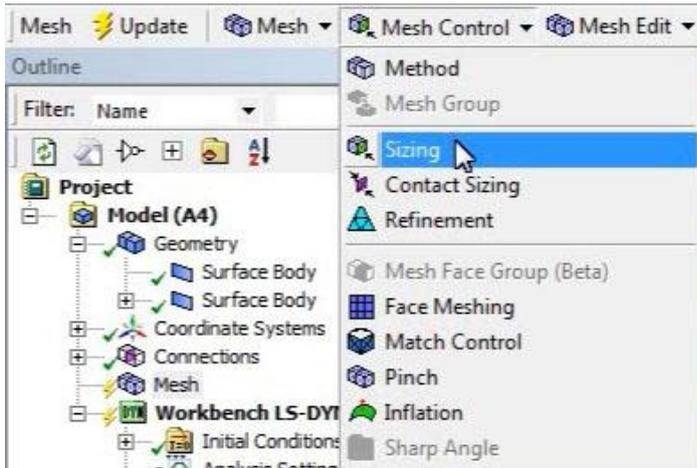
Assignment – New Steel



12. Нанесение сетки

Выбираем закладку Mesh в окне Outline

В панели инструментов выбираем Mesh Control – Sizing

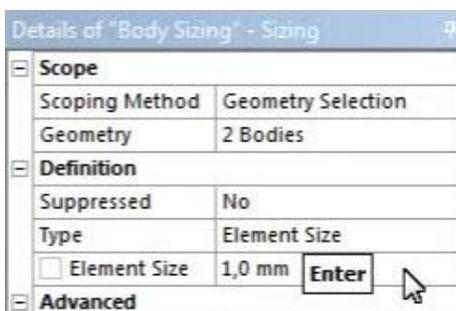


В окне выбора выбрать 3D тела и Box Select.

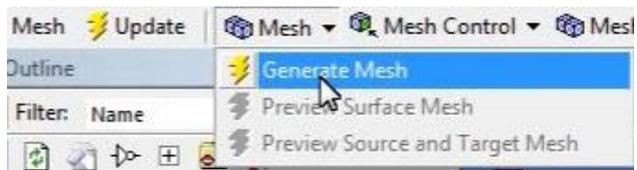


Выбрать окном всю модель.

В окне Detail of Body Sizing ввести значения Element Size = 1



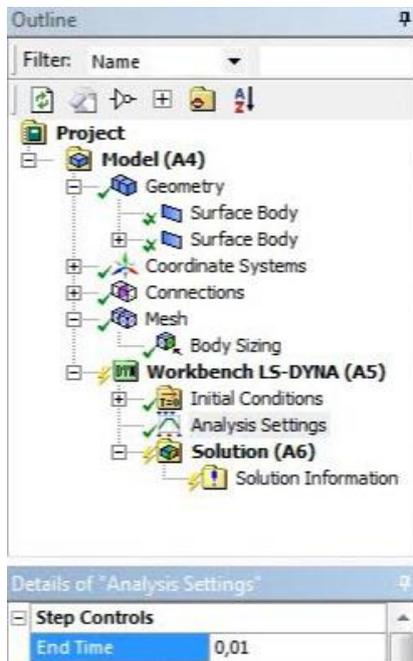
На панели выбрать Mesh – Generate Mesh



13. Определение времени окончания

В окне Outline

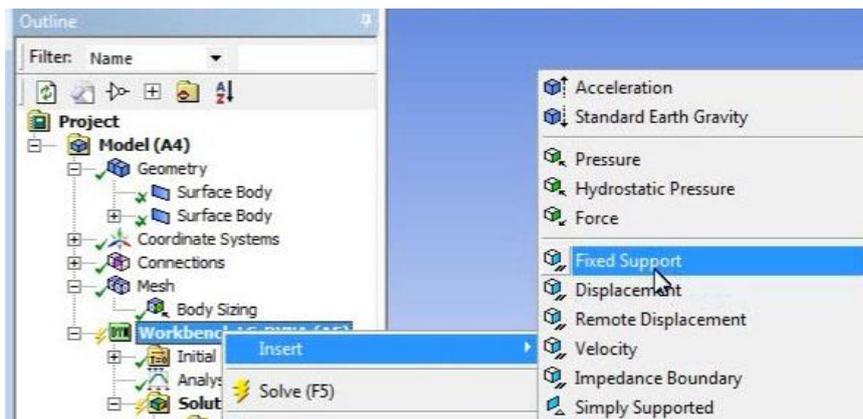
Analysis Setting в окне Details ввести End Time = 0.01



14. Ограничение края короба

В окне Outline

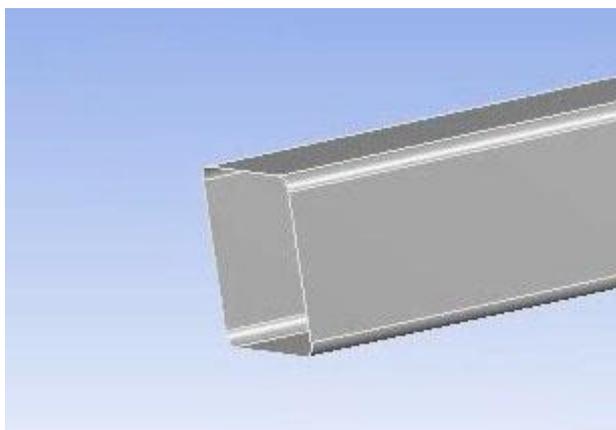
Workbench Is-dyna правой кнопкой выбрать Insert – Fixed Support



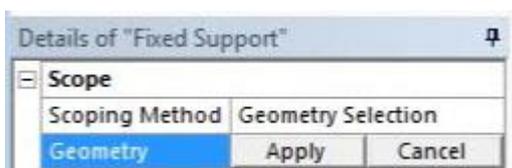
В панели выбора выбрать ребра, Box Select .



Окном выбрать грани которые нужно зафиксировать



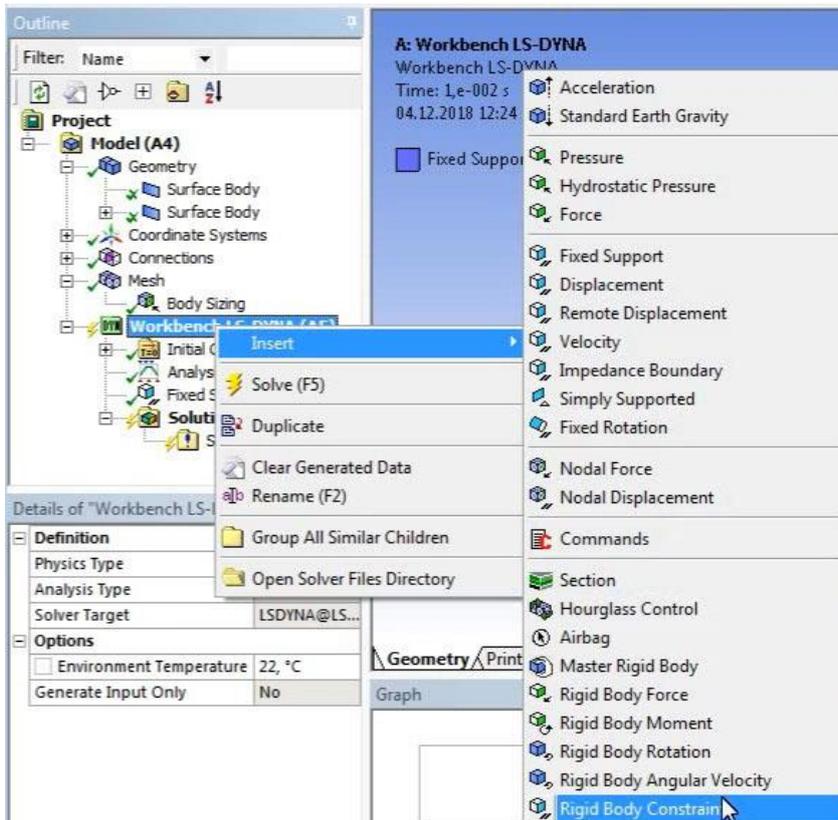
В окне Details нажать Apply



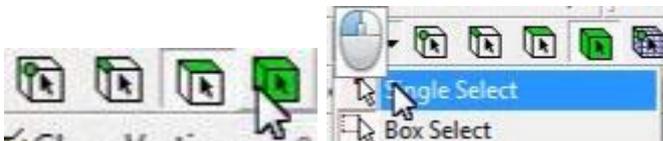
15. Ограничение пластины

В окне Outline

Workbench Is-dyna правой кнопкой выбрать Insert – Rigid Body Constraint



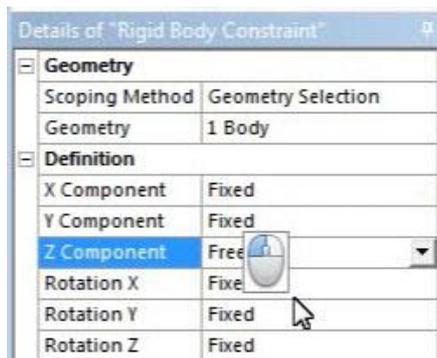
В окне выбора активировать выбор 3D объектов, single Select.



Выбрать окном плоскость.

В окне Details в пункте Geometry нажать Apply

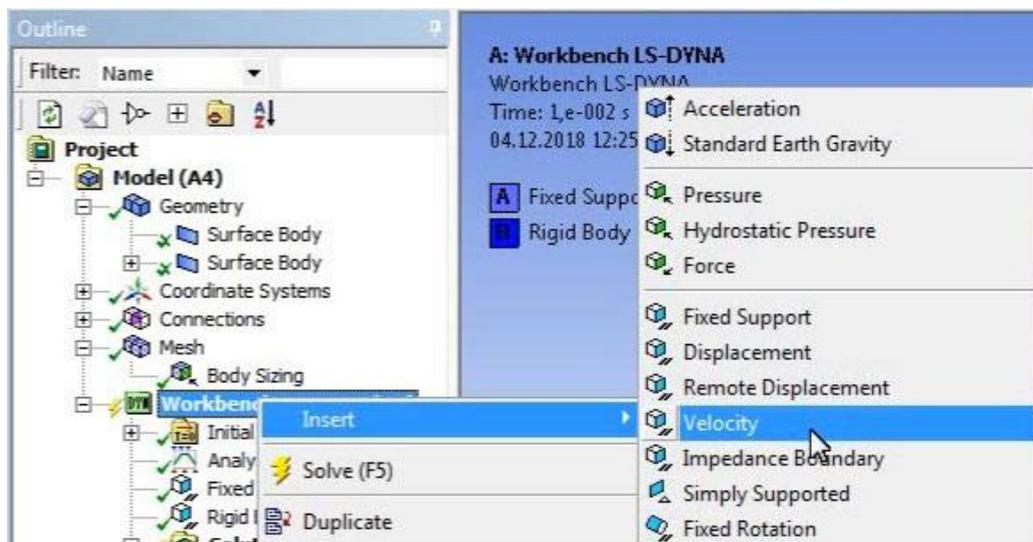
Z Component – Free



16. Определение скорости на пластине

В окне Outline

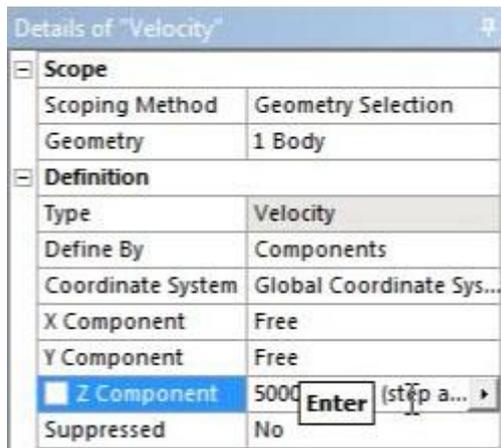
Workbench ls-dyna правой кнопкой выбрать Insert – Velocity



Выбрать плоскость

В окне Details в пункте Geometry нажать Apply

Z Component = 5000

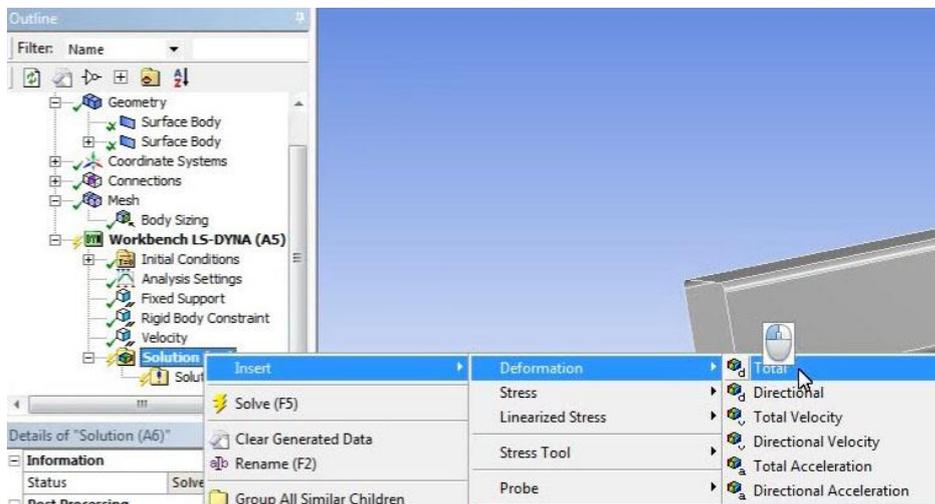


17. Определение выходных параметров

Выходные параметры по полному перемещению

В окне Outline

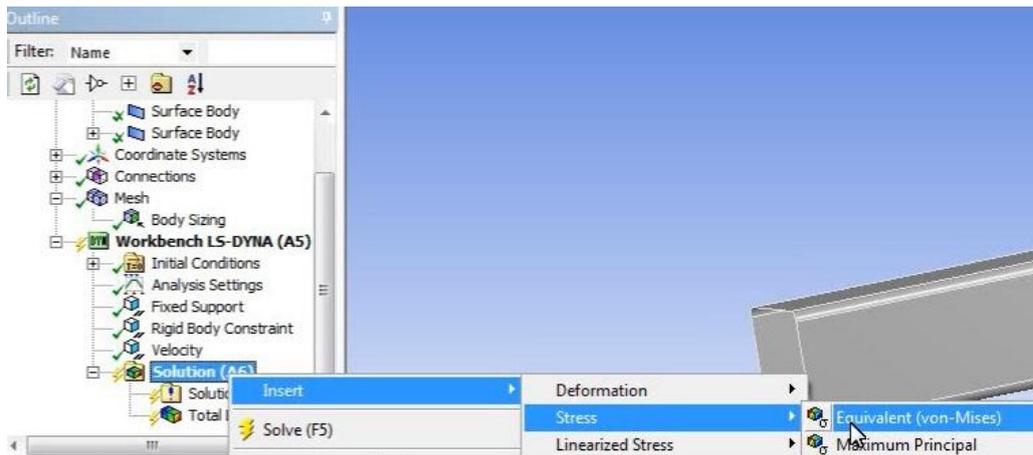
Solution – Insert - Deformation – Total



Выходные параметры по напряжению

В окне Outline

Solution – Insert – Stress – Equivalent (von Mises)



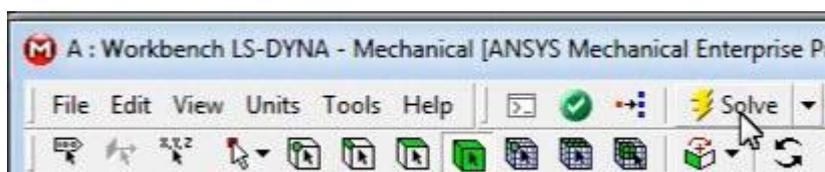
18. Сохранение проекта

Сохранить проект File – Save Project



19. Запуск на расчет

На панели нажать кнопку Solve



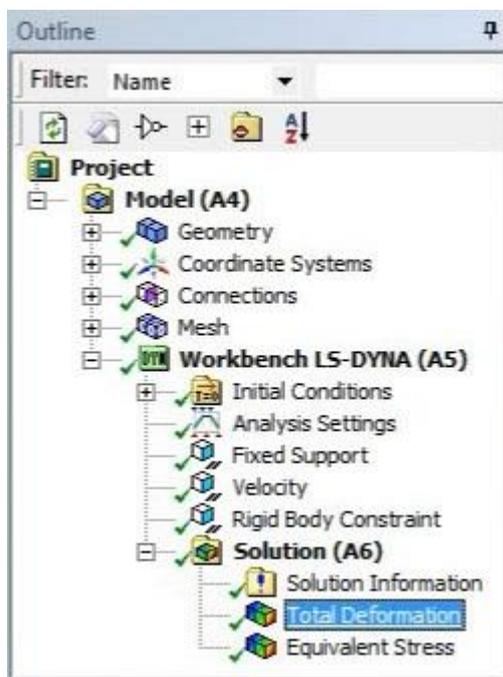
После завершения расчета

20. Просмотр результатов

Просмотр по полным перемещениям

В окне Outline

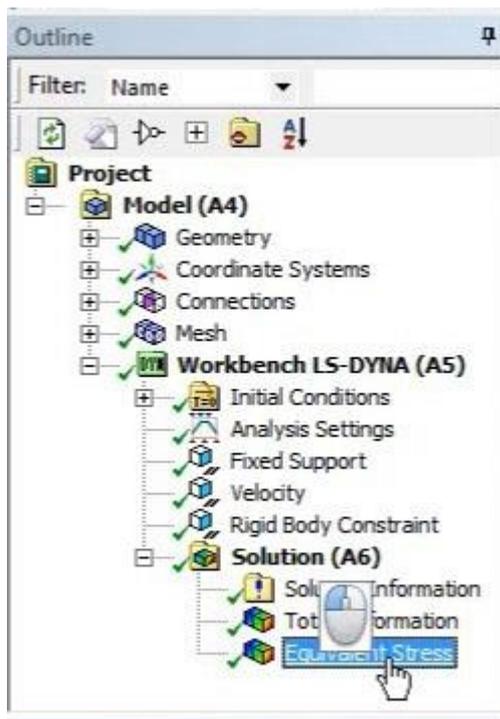
Solution – Total Deformation



Просмотр по напряжениям

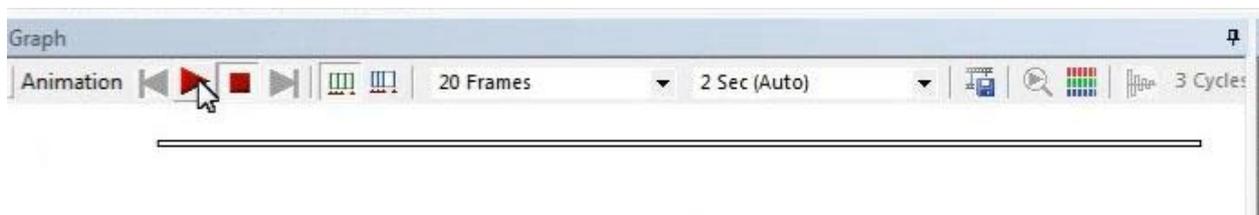
В окне Outline

Solution – Equivalent Stress



Запуск анимации процесса

Панель анимации



Анализ результатов

Анализ результатов был проведен в программах Ansys Workbench ls-dyna и LS-Prepost.

Анализ результатов в постпроцессоре Ansys Workbench

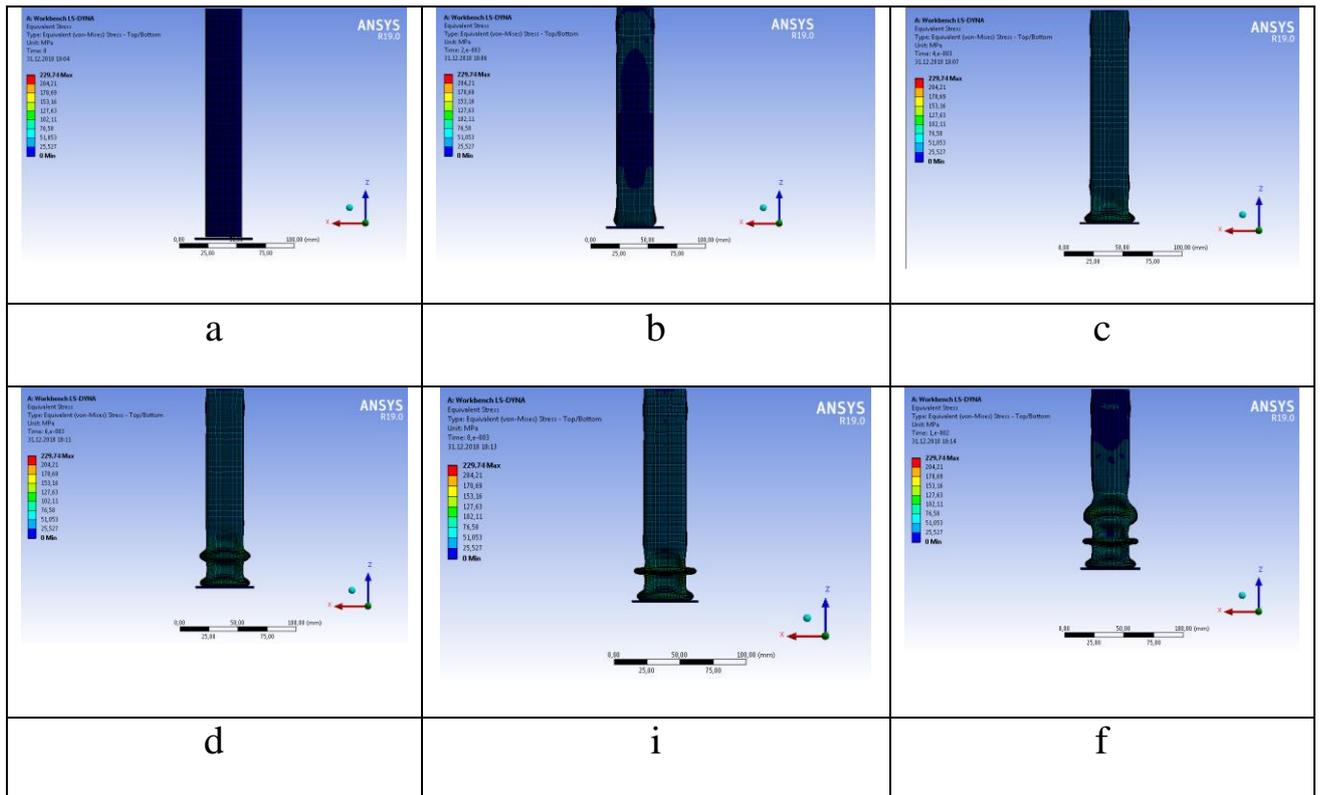
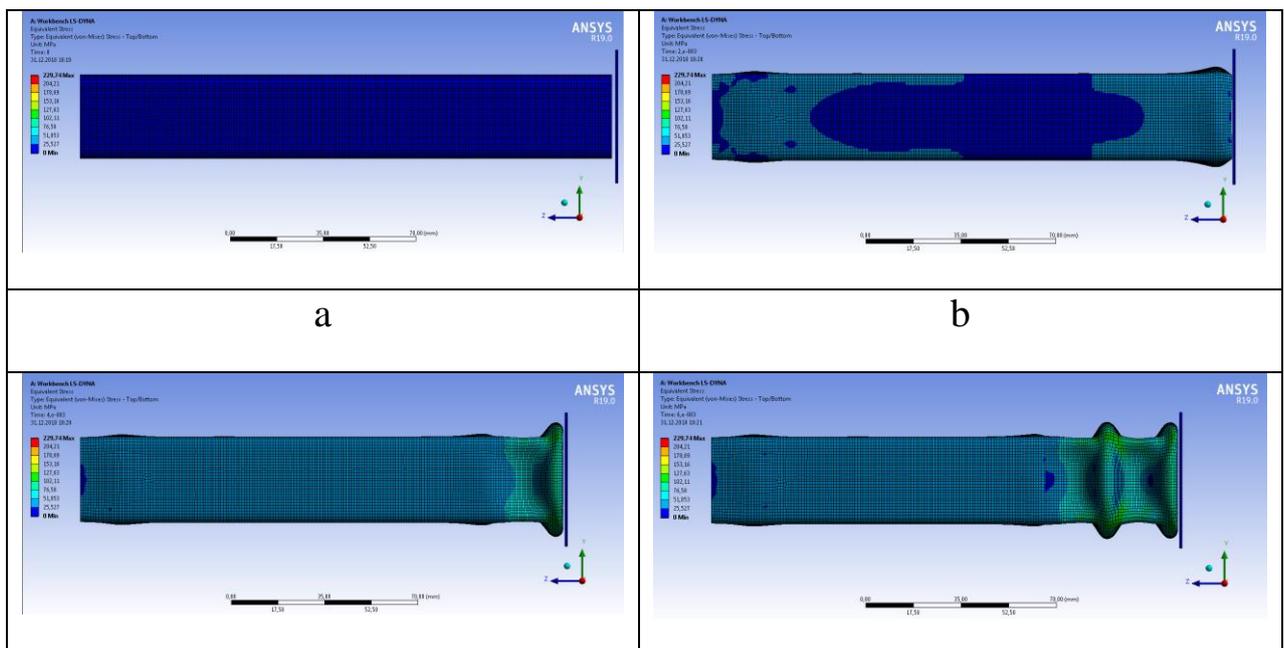


Рис. 2. Этапы смятия короба пластиной по параметру Von-mises stress в плоскости XZ по времени: а – 0; б – 2е-3 сек; с – 4е-3 сек; д – 6е-3 сек; и – 8е-3 сек; ф – 1е-2 сек



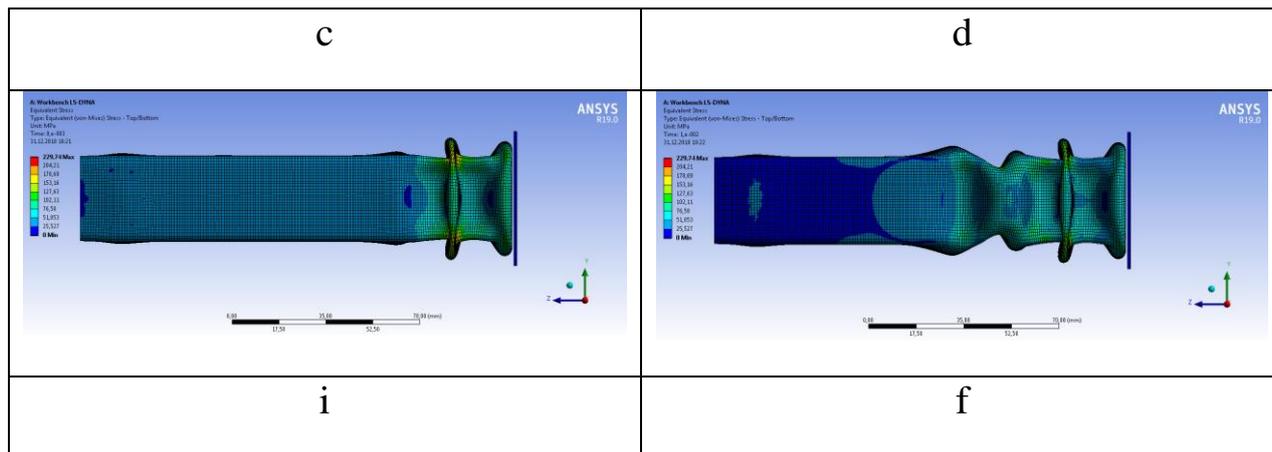


Рис. 3. Этапы смятия короба пластиной по параметру Von-mises stress в плоскости YZ по времени: а – 0; b – $2e-3$ сек; c – $4e-3$ сек; d – $6e-3$ сек; i – $8e-3$ сек; f – $1e-2$ сек

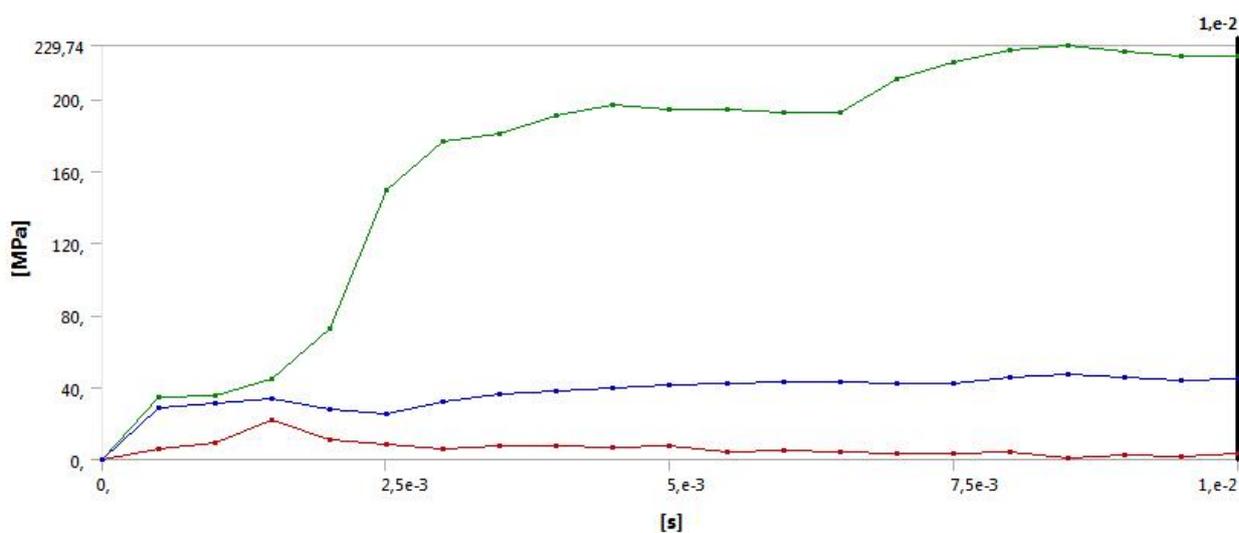


Рис. 4. График напряжений по Von-mises (максимальные, средние и минимальные значения)

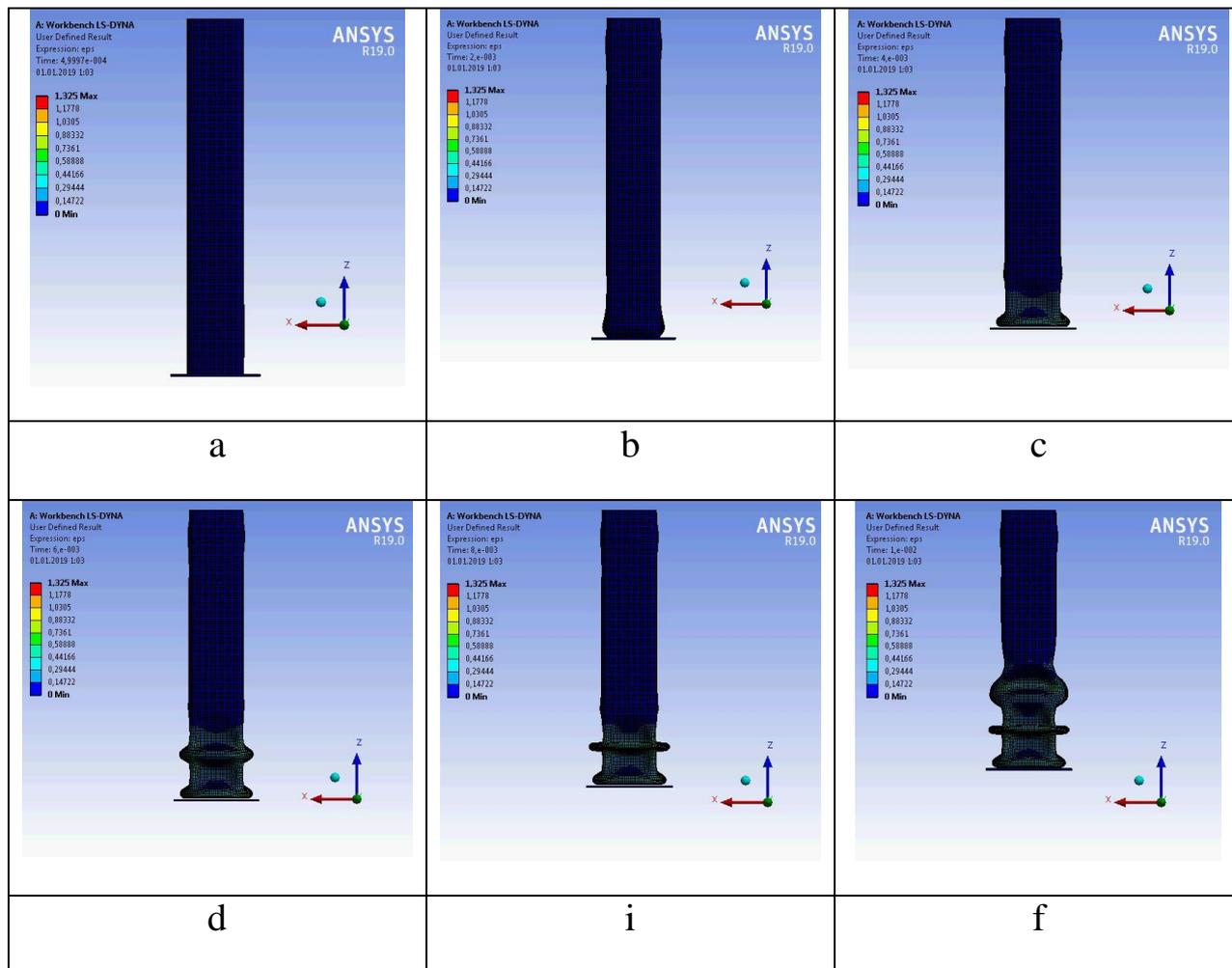
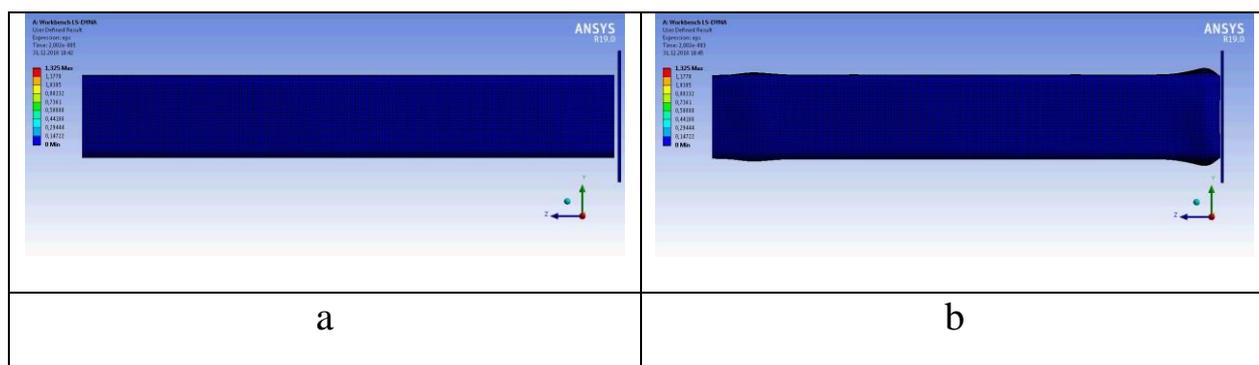


Рис. 5. Этапы смятия короба пластиной по пластическим деформациям в плоскости XZ по времени: а – 0; б – $2e-3$ сек; с – $4e-3$ сек; д – $6e-3$ сек; и – $8e-3$ сек; ф – $1e-2$ сек



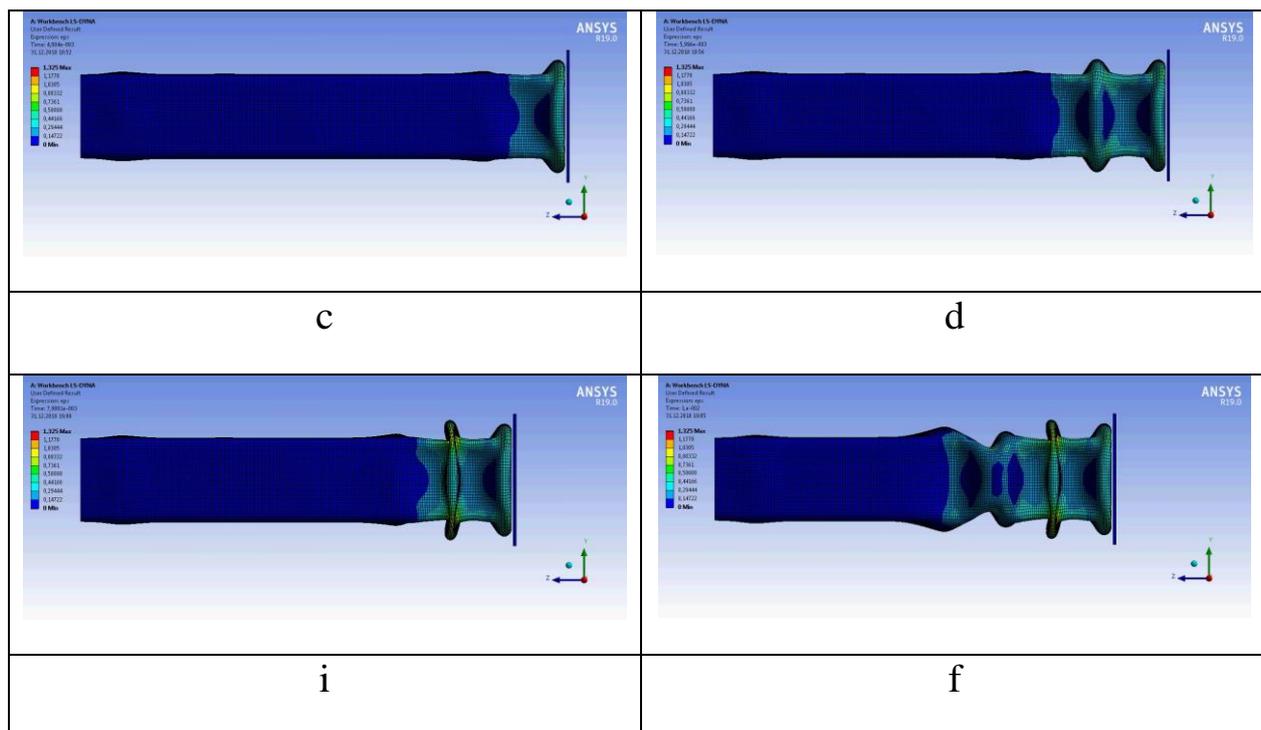


Рис. 6. Этапы смятия короба пластиной по пластическим деформациям в плоскости YZ по времени: а – 0; б – $2e-3$ сек; с – $4e-3$ сек; д – $6e-3$ сек; и – $8e-3$ сек; ф – $1e-2$ сек

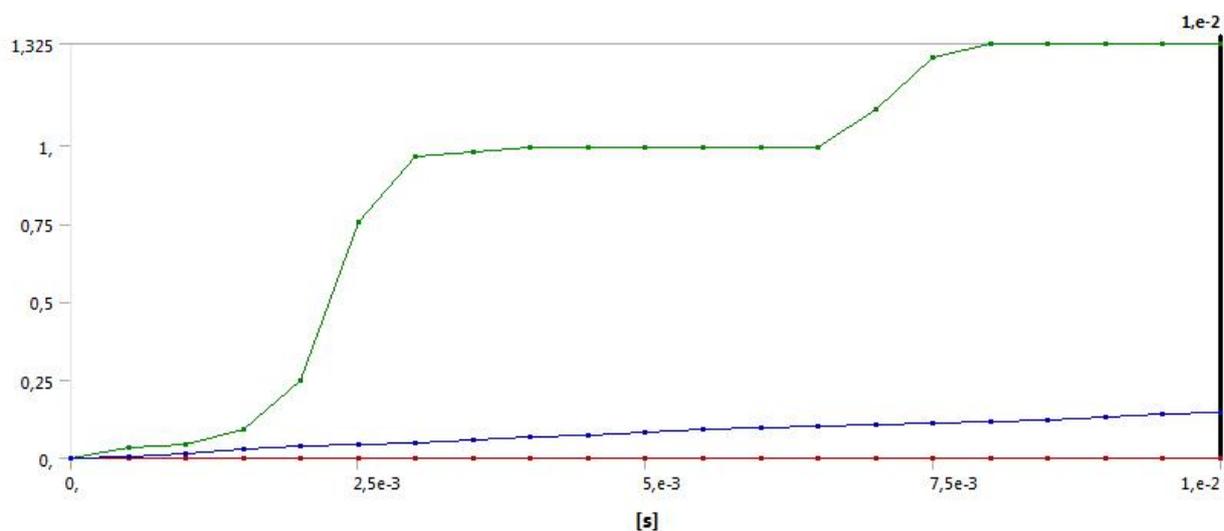


Рис. 7. График по пластическим деформациям (максимальные, средние и минимальные значения)

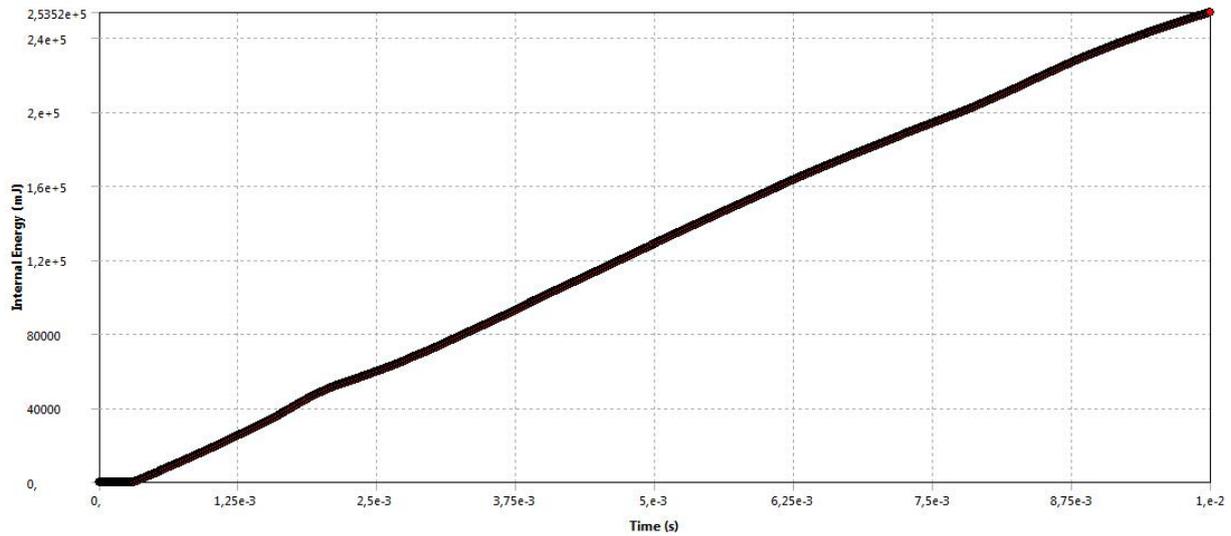


Рис. 8. Внутренняя энергия деформирования короба (файл Matsum)

Пластина деформирует короб, при этом максимальное напряжение Von-mises составляет 229,74 МПа, а максимальная деформация 1,325. Внутренняя энергия увеличивается от 0 до 2,535e5 mJ.

Контрольные карты

*CONTROL_CONTACT

Card 1

- **SLSFAC** = 0 (default = 0.1). Scale factor for sliding interface penalties.
- **RWPNAL** = 0. Scale factor for rigid wall penalties. When equal to 0 the constraint method is used

and nodal points which belong to rigid bodies are not considered.

- **ISLCHK** = 1. Initial penetration check in contact surfaces. When set to 1 there is no checking.
- **SHLTHK** = 1 (default). Shell thickness considered in surface to surface and node to surface

contact types. When set to 1, thickness is considered but rigid bodies are excluded.

- **PENOPT** = 1 (default). Penalty stiffness value option.
- **THKCHG** = 0 (default).
- **ORIEN** = 2. Automatic reorientation for contact segments during initialization. When set to 2 it is active for manual (segment) and automated (part) input.

- **ENMASS** = 0 .

This parameter regulates the treatment of the mass for eroded nodes in contact. When set to 0

eroding nodes are removed from the calculation.

Card 2

- **USRSTR** = 0. Storage per contact interface for user supplied interface control subroutine. When

set to 0 no input data is read and no interface storage is permitted in the user subroutine.

Default values are used for all other parameters.

Card3

- **SFRIC** = 0. Default static coefficient of friction.

Default values are used for all other parameters.

Card4

- **IGNORE** = 2. Specifies whether to ignore initial penetrations in the *CONTACT_AUTOMATIC

options. When set to 2 initial penetrations are allowed to exist by tracking them. Also warning

messages are printed with the original and the recommended coordinates of each slave node.

- **FRCENG** = 1. Calculate frictional energy in contact. Convert mechanical frictional energy to

heat when doing a coupled thermal-mechanical problem.

- **SKIPRWG** = 0 (default).

- **OUTSEG** = 1. Yes, output each beam spot weld slave node and its master segment for

*CONTACT_SPOTWELD into D3HSP file.

- **SPOTSTP** = 0 (default).
 - **SPOTDEL** = 1. Yes, delete the attached spot weld element if the nodes of a spot weld beam or solid element are attached to a shell element that fails and the nodes are deleted.
- SPOTHIN** = 0.5. This factor can be used to scale the thickness of parts within the vicinity of the spot weld.

This factor helps avert premature weld failures due to contact of the welded parts with the weld itself.

Should be greater than zero and less than one.

***CONTROL_ENERGY**

Specifies the controls for energy dissipation options.

Card

- **HGEN** = 2. Hourglass energy is computed and included in the energy balance. Results are reported in ASCII files **GLSTAT** and **MATSUM**.
- **RWEN** = 2 (default).
- **SLNTEN** = 2. Sliding interface energy dissipation is computed and included in the energy balance.

Results are reported in ASCII files **GLSTAT** and **SLEOUT**.

- **RYLEN** = 2. Rayleigh energy dissipation is computed and included in the energy balance. Results are reported in ASCII file GLSTAT.

***CONTROL_ACCURACY**

Specifies control parameters that can improve the accuracy of the calculation.

Card

- **OSU** = 1. Global flag for objective stress updates. Required for parts that undergo large rotations.

When set to 1 the flag is on.

- **INN** = 4. Invariant node numbering for shell and solid elements. When set to 4 the flag is on for

both shell and solid elements.

***CONTROL_BULK_VISCOSITY**

Sets the bulk viscosity coefficients globally.

Card

- **Q1** = 1.5 (constant) Quadratic Artificial Viscosity.

- **Q2** = 0.06 (constant) Linear Artificial Viscosity .

- **TYPE** = -2. Internal energy dissipated by the viscosity in the shell elements is computed and included in the overall energy balance.

***CONTROL_SOLID**

Specifies global parameters for solid element types.

Card

- **ESORT** = 1, full automatic sorting of tetrahedron and pentahedron elements to treat

degeneracies. Degenerate tetrahedrons will be treated as **ELFORM** = 10 and pentahedron as

ELFORM = 15 solids respectively (see ***SECTION_SOLID**).

***CONTROL_SHELL**

Specifies global parameters for shell element types.

Card

- **WRPANG** = 20 (default). Shell element warpage angle in degrees. If a warpage greater

than this angle is found, a warning message is printed

- **ESORT** = 1, full automatic sorting of triangular shell elements to treat degenerate quadrilateral

shell elements as C0 triangular shells.

- **IRNXX** = -1, shell normal update option. When set to -1 . Fiber directions are recomputed at each cycle.

- **ISTUPD** = 4, shell thickness update option for deformable shells. Membrane strains cause changes in thickness in 3 and 4 node shell elements, however elastic strains are neglected. This option is very important in sheet metal forming or whenever membrane stretching is important.

For crash analysis, setting 4 may improve energy conservation and stability.

- **THEORY** = 2 (default). Belytschko-Tsay formulation.

- **BWC** = 1. For this setting, Belytschko-Wong-Chiang warping stiffness is added.

- **MITER** = 1 (default). Plane stress plasticity: iterative with 3 secant iterations.

- **PROJ** = 1, the full projection method is used for the warping stiffness in the Belytschko-Tsay and

Belytschko-Wong-Chiang shell elements. This option is required for explicit calculations.

- **NFAIL1** = 1. Flag to check for highly distorted under-integrated shell elements, print a message, and delete the element.

- **NFAIL4** = 1. Flag to check for highly distorted fully-integrated shell elements, print a message, and delete the element.

- **CNTO = 2.** Flag to account for shell reference surface offsets in the contact

treatment. Offsets are treated using the user defined contact thickness which may be

different than the shell thickness used in the element

***CONTROL_OUTPUT**

- **NPOPT = 1.** nodal coordinates, element connectivities, rigid wall definitions, nodal SPCs,

and initial velocities are not printed in the d3hsp file.

***CONTROL_PARALLEL**

Controls parallel processing usage for shared memory computers by defining the number of processors

and invoking the optional consistency of the global vector assembly.

- **CONST = 1.** Consistency flag disabled for a faster solution

***CONTROL_SOLUTION**

Specify the analysis solution procedure if thermal , coupled thermal analysis or structural only is

performed.

- **SOLN = 0:** Structural analysis only, if the **Solver Type** is set to Program Controlled or

Structural Analysis Only.

- **SOLN = 2:** Coupled structural thermal analysis, if the **Solver Type** is set to Coupled Structural

Thermal Analysis.