

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Работа выполнена в СКБ «Авиастроение»

СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНиПКРС
_____ Е.М. Димитриади
(подпись)

« ____ » _____ 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
_____ А.В. Космынин
(подпись)

« ____ » _____ 2024 г.

Декан ФАМТ

_____ О.А. Красильникова
(подпись)

« ____ » _____ 2024 г.

*«Моделирование изделий из композиционных материалов с применением
CAD/ CAE-систем»*

Комплект проектной документации

Руководитель СКБ

(подпись, дата)

Ю.Б. Колошенко

Руководитель проекта

(подпись, дата)

Г.А. Щербатюк

Комсомольск-на-Амуре 2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ
на разработку

Название проекта: *Моделирование изделий из композиционных материалов с применением CAD/ CAE-систем*

Назначение: Исследование особенностей проектирования и технологии изготовления изделий из полимерных композиционных материалов, а также их соединения.

Область использования: В учебном процессе для подготовки специалистов 24.05.07 «Самолето-и вертолетостроение» в качестве руководства к выполнению практических и лабораторных работ.

Функциональное описание проекта: Модель должна отражать структуру и свойства КМ, особенности изделия выполненного из ПКМ

Техническое описание устройства: Для исследования клеевого соединения панелей в качестве модели выбирается состоящая из двух многослойных пластин и слоя смолы. В качестве первой задачи определить влияние физико-механических параметров смолы при компьютерном моделировании динамических испытаний образцов на разрыв.

Требования: Модель должна содержать условие контакта тел и решиться в нелинейной постановке

План работ.:

Наименование работ	Срок
Создание модели многослойной панели	Март, 2024
Расчет многослойной панели	Апрель, 2024
Создание модели учитывающей условие контакта тел	Май, 2024
Проведение исследования «Соединения материалов в нахлест»	Май, 2024
Формирование отчета первого этапа исследования	Май, 2024

Комментарии:

Пояснительная записка к проекту выполняется по требованиям РД 013-2016 с изм. 4.

Перечень графического материала:

1. 3D-модель (геометрическая, прочностная);
2. Методические указания;
3. Графики зависимости реактивных сил в указанном торце пакета от величины деформации;

Руководитель проекта _____

(подпись, дата)

Г.А. Щербатюк

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

*«Моделирование изделий из композиционных материалов с применением
CAD/ CAE-систем»
Комплект проектной документации*

Руководитель проекта

(подпись, дата)

Г.А. Щербатюк

Комсомольск-на-Амуре 2024

Содержание

1	Общие положения	7
1.1	Цель и задачи работы	7
1.2	Предмет разработки	7
1.3	Исходные данные для решения задачи	7
2	Прочностной расчет многослойной панели выполненной из ПКМ, расчет на прочность соединения многослойной панелей в нахлест	9
2.1	Создание геометрической модели многослойной панели.....	9
2.2	Расчет прочностность многослойной панели.....	14
2.3	Расчет на прочность соединения «в нахлест»	32

					СКБ АС.1.ИП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		6

1 Общие положения

1.1 Цель и задачи работы.

Цель работы: Отработать методику работы в формате MSC Nastran Bulk Data Entries PCOMP, CORD2R, MAT8 и CQUAD4 на примере прочностного расчета многослойной панели из ПКМ.

Задачами проекта являлось:

- создание геометрических и прочностных моделей многослойной панели из ПКМ
- Произвести анализ напряжённо-деформированного состояния в системе MSC.NASTRAN & MSC.PATRAN соединения элементов из ПКМ внахлест.
- Определение зависимости реактивных сил в указанном торце пакета от величины деформации

1.2 Предмет разработки

Прогрессивный анализ отказов на многослойной композитной панели для нелинейного моделирования процесса растяжения из слоистого композита. Разработать методические рекомендации к выполнению практических работ по заданной теме:

1.3 Исходные данные для решения задачи

Геометрические параметры пластины

Операции		Векторные координаты			Координаты начала векторов		
		X	Y	Z	X	Y	Z
Создание плоскости	Surface 1	10	5	0	0	0	0
	Surface 2	15	5	0	10	0	0
Выдавливание		0	0	1	-		

Параметры материала

Модуль упругости E			Коэффициент Пуассона μ			Модуль сдвига G			Плотность
11	22	33	12	23	31	12	23	31	
$100 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	0,4	0,3	0,02	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-4}$

Параметры слоев

Вариант 1

Номер слоя	Наименование материала	Относительная толщина, %	Направление, град.
1	Ortho1	0,001	0
2		9,999	0
3		10	90
4		10	0
5		40	90
6		10	0
7		10	90
8		9,999	0
9		0,001	0

Вариант 2

	Material Name	Thickness	Orientation
1	ply	1.000000E-2	-4.500000E+1
2	ply	1.000000E-2	0.000000E+0
3	ply	1.000000E-2	-4.500000E+1
4	ply	1.000000E-2	0.000000E+0
5	ply	1.000000E-2	0.000000E+0
6	ply	1.000000E-2	-4.500000E+1
7	ply	1.000000E-2	0.000000E+0
8	ply	1.000000E-2	-4.500000E+1

2.2 Прочностной расчет многослойной панели выполненной из ПКМ, расчет на прочность соединения многослойной панелей в нахлест

2.1 Создание геометрической модели многослойной панели

Создать новую базу данных В начале работы в MSC.Patran необходимо создать новую базу данных: File / New / в панель New Database Name вводим имя новой базы данных name.db /OK.

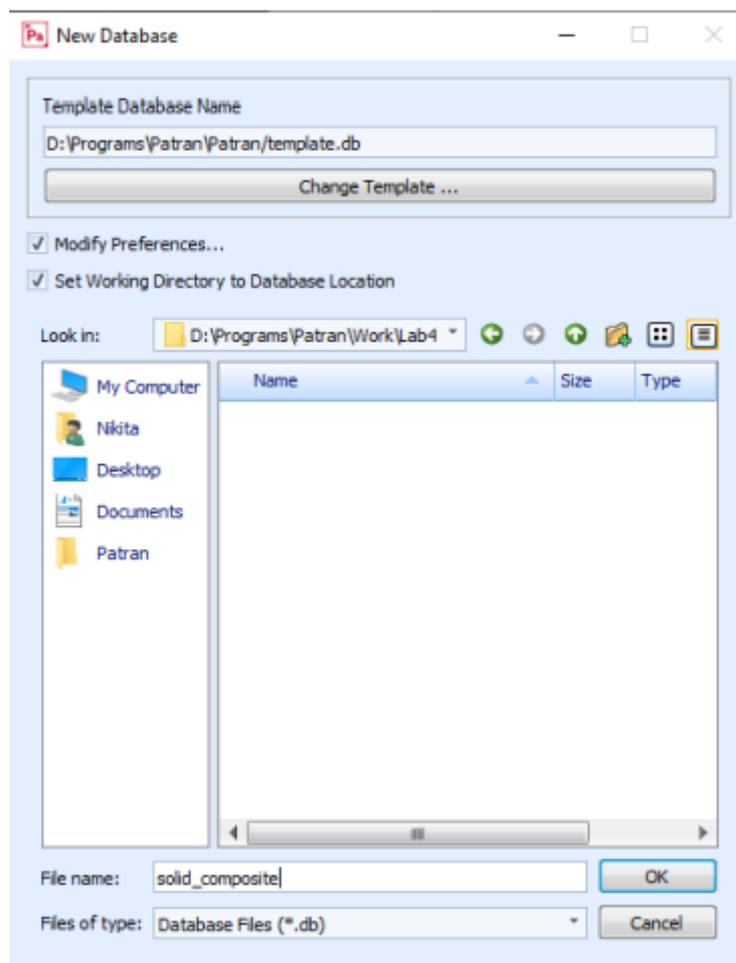


Рисунок 1 – Создание базы данных

Прежде чем переходить к созданию геометрической модели, необходимо выбрать или, по крайней мере, убедиться в установленном коде для анализа модели (Analysis Code), виде анализируемого физического процесса (Analysis Type) и глобальном допуске (Tolerance) на геометрические размеры модели. Эти параметры можно увидеть на панели New Model Preferences. Данная панель автоматически появляется, когда закрывается панель New Data Base.

Если эта панель не появляется, то необходимо проверить в панели New Data Base установку отметки в окне Modify Preferences. В панели New Model Preferences в разделе Tolerances (допуск) для Global Model Tolerance возможны две установки: Base on Model и Default. Две точки в модели будут совпадать, если они расположены на расстоянии равном или меньшем, чем значение параметра Global Model Tolerance. При Base on Model эта величина определяется как 0,05 % от максимального размера модели. По умолчанию Default этот размер определяется во временной базе данных и равен 0,005. Выбор кода анализа для пользователя фактически сводится к выбору вычислительной программы (в лабораторных работах будет использован MSC.Nastran). Таким образом, в появившемся окне New Model Preferences, можно установить Tolerance – default, Analysis Code – MSC.Nastran /OK.

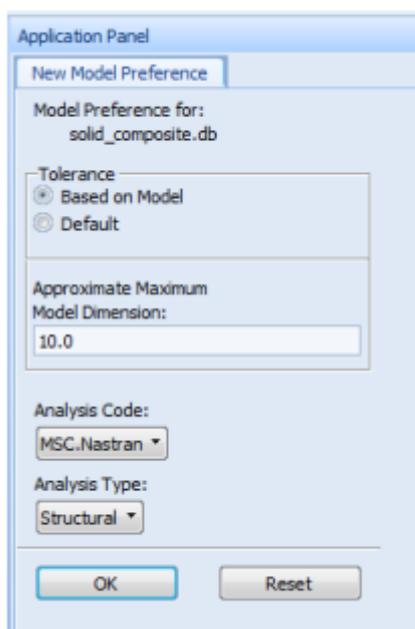


Рисунок 2 – Окно New Model Preferences

Создание двух поверхностей По известным размерам строим поверхности:

Создание поверхности 1: Geometry / Create / Surface / XYZ / Vector Coordinates List: [10 5 0] / Origin Coordinates List: [0 0 0] / Apply.

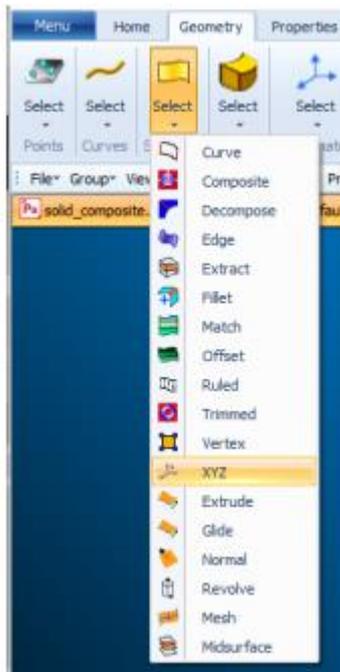


Рисунок 3 – Выбор метода создания поверхности

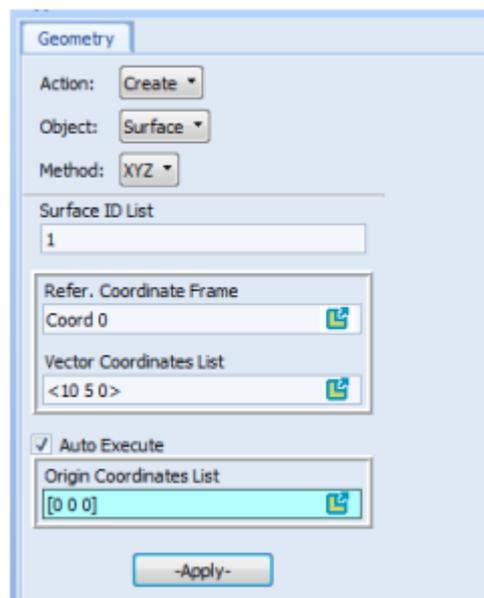


Рисунок 4 – Создание первой поверхности

Создание поверхности 2: Geometry / Create / Surface / XYZ / Vector
 Coordinates List: [15 5 0] / Origin Coordinates List: Выбираем нижний
 правый угол поверхности 1 / Apply
 Нажимаем правой кнопкой на свободном месте в окне модели / Model
 Orientation / Isometric / Iso3 View

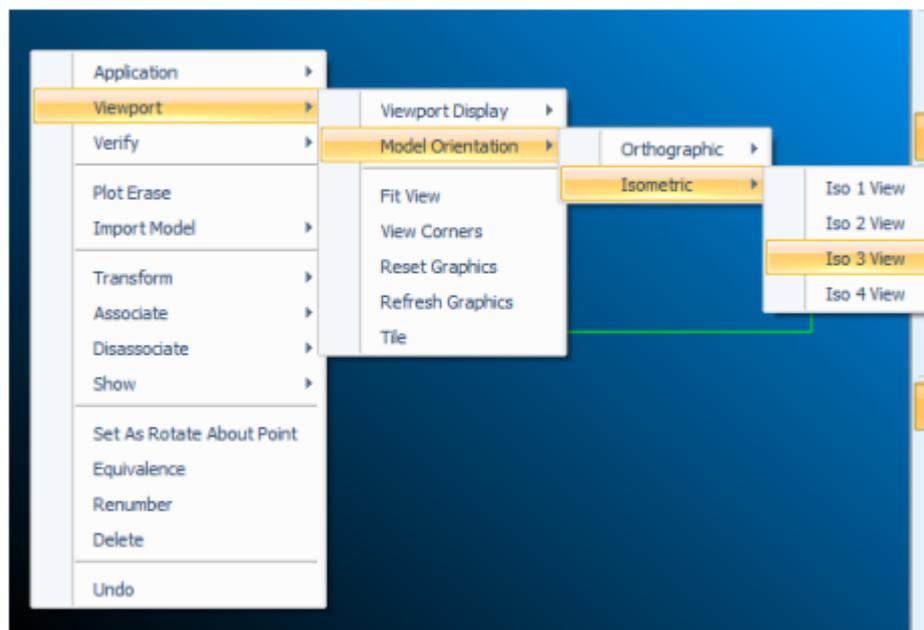


Рисунок 5 – Изменение ориентации отображения модели

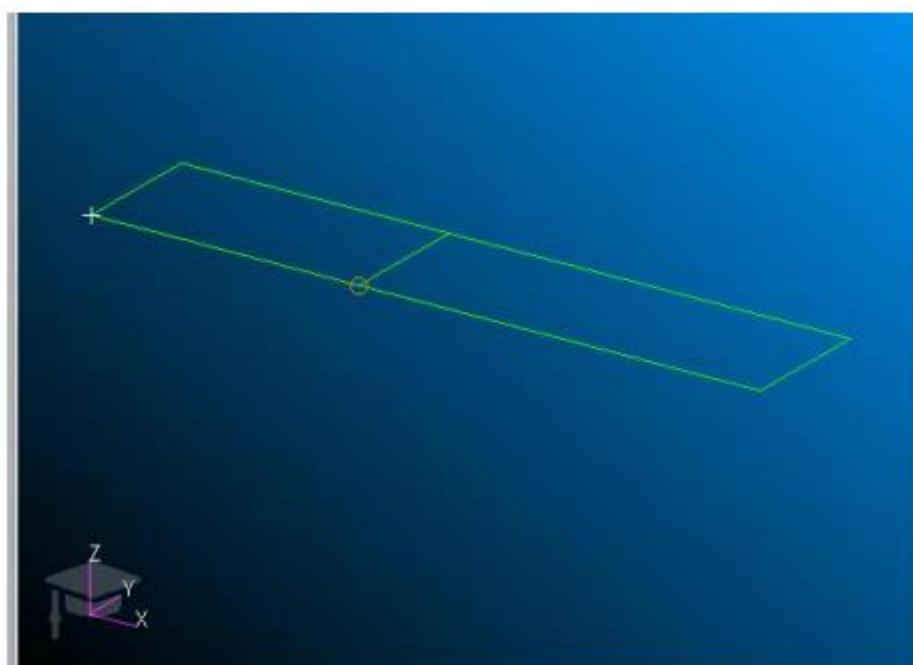


Рисунок 6 – Полученные поверхности

Создание твердых тел из поверхностей Geometry / Create / Solid / Extrude / Solid type: Isomeshable / Translation Vector: [0 0 1] / Surface List / Выбираем поверхность 1 / Apply.

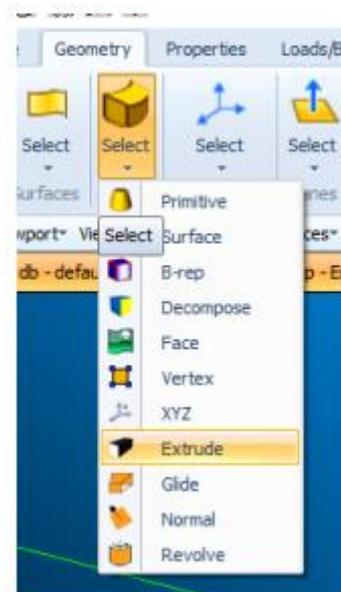


Рисунок 7 – Выбор метода создания твердого тела

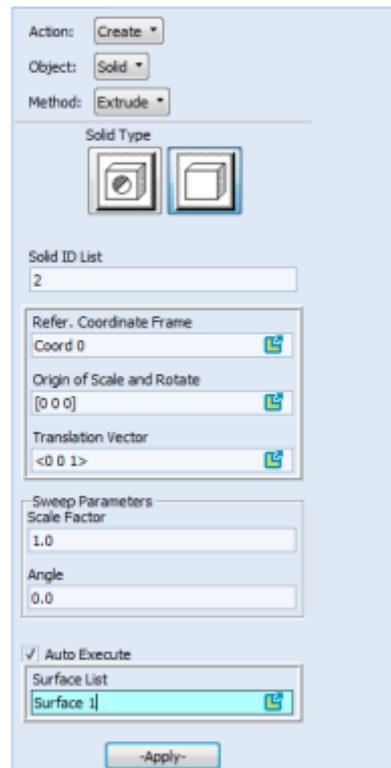


Рисунок 8 – Создание поверхности

Повторяем для второй поверхности.

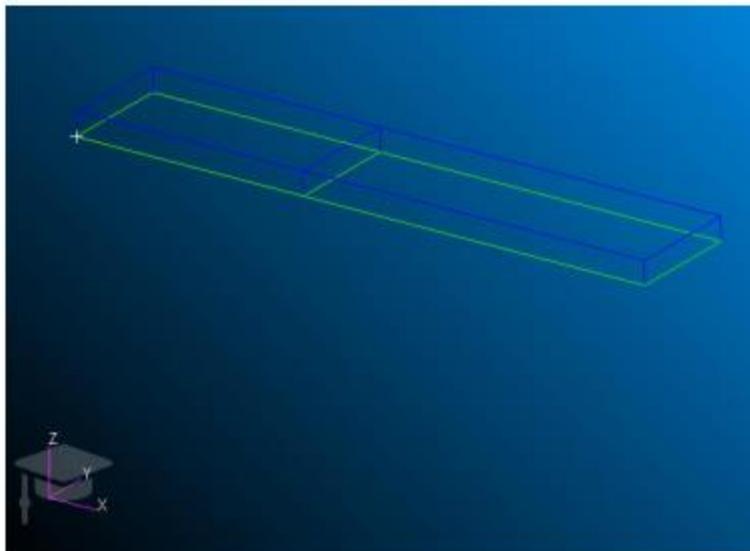


Рисунок 9 – Полученные тела

2.2 Расчет прочностью многослойной панели

Шаг 4

Определение граничных условий Во вкладке Loads/BCs нажимаем Displacement Constraint разделе Nodal. Фиксируем перемещения по оси X:
 Loads/BCs / Create / Displacement / Nodal / New Set Name : sym1 / Input Data /
 Translations : < 0, , > / ОК

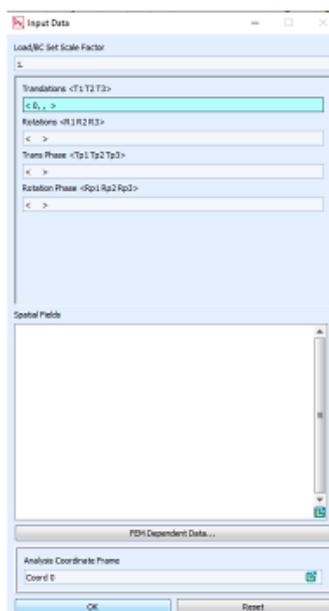


Рисунок 10 – Задание граничных условий

Нажимаем на вкладку Select Application Region Выбираем в фильтре выбора Surface or Face Select Application Region / Select Geometry Entities: Выбираем правую грань тела 2 / Add / ОК / Apply.

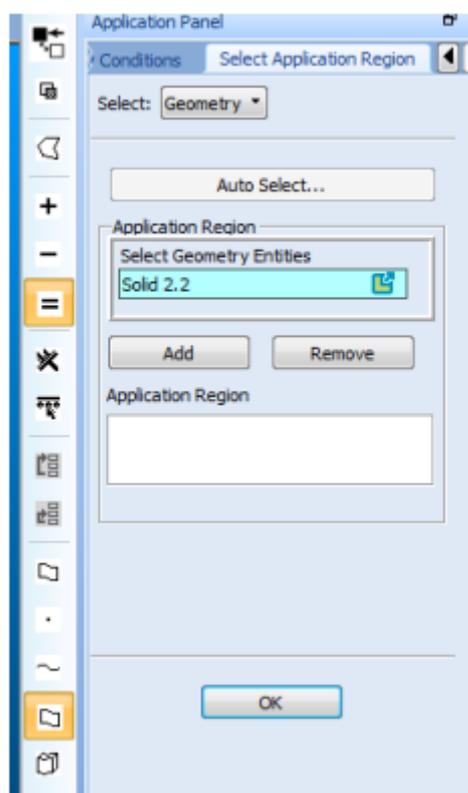


Рисунок 11 – Выбор геометрии

Фиксируем перемещения по оси Y: Loads/BCs / Create / Displacement / Nodal / New Set Name : sym2 / Input Data / Translations : < , 0 , > / ОК Нажимаем на вкладку Select Application Region Выбираем в фильтре выбора Surface or Face На экране выберете заднюю поверхность тела 1, в текстовом окне Select Geometry Entities появится Solid 1.4. С зажатой клавишей Shift выберете заднюю поверхность тела 2, в текстовом окне Select Geometry Entities появится Solid 2.4 / Add / ОК / Apply. Фиксируем перемещения по оси Z: Loads/BCs / Create / Displacement / Nodal / New Set Name : sym2 / Input Data / Translations : < , , 0 > / ОК Нажимаем на вкладку Select Application Region

					СКБ АС.1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		15

Выбираем в фильтре выбора Curve or Edge На экране выберете нижнее ребро средней поверхности, в текстовом окне Select Geometry Entities появится Surface 1.3 / Add / OK / Apply.

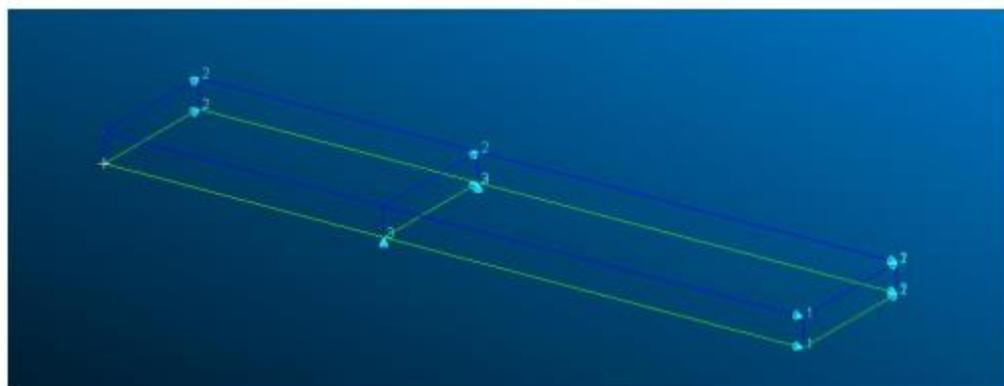


Рисунок 12 – Полученные закрепления

Задание свойств материала Задание свойств материала Создание материала со свойствами согласно условиям задачи: Materials / Create / 3D Orthotropic / Manual Input / Material Name : ortho 1 / нажмите кнопку Input Property / Constitutive Model : Linear Elastic / Elastic Modulus 11 = 100e3 / Elastic Modulus 22 = 5e3 / Elastic Modulus 33 = 5e3 / Poisson Ratio 12 = 0.4 / Poisson Ratio 23 = 0.3 / Poisson Ratio 31 = 0.02 / Shear Modulus 12 = 3e3 / Shear Modulus 23 = 2e3 / Shear Modulus 31 = 1e4 / OK / Apply.

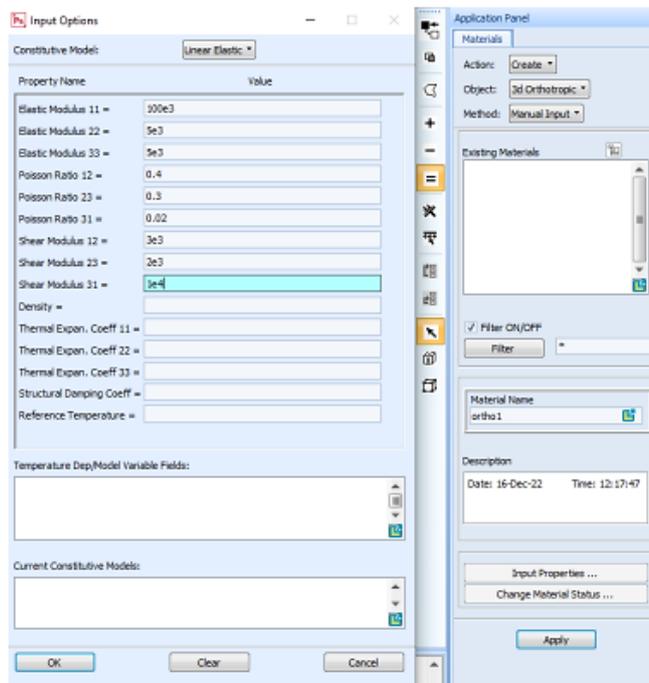


Рисунок 13 - Задание свойств материал

Создание композита Properties / Composite group / Laminate / Material Name: lam1 / Laminated Composite / Stacking Sequence Convention / Total-%thickness / ortho 1 / % Thickness (как на рисунке ?) / Orientation (как на рисунке ?) /Apply.

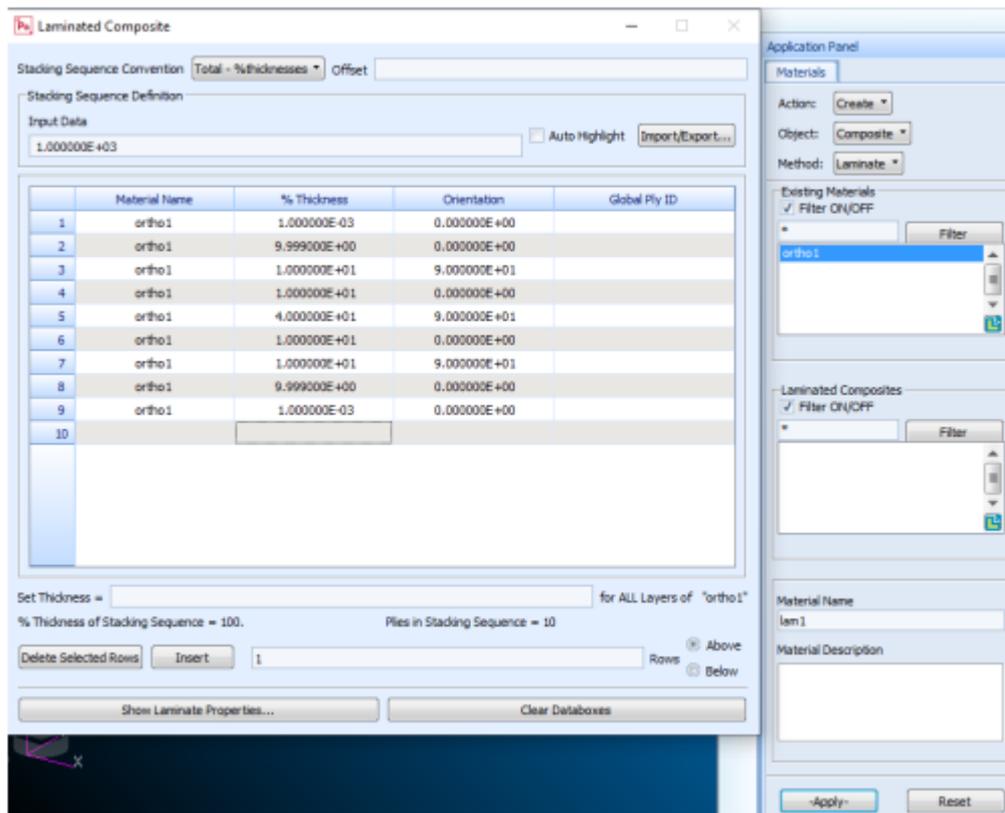
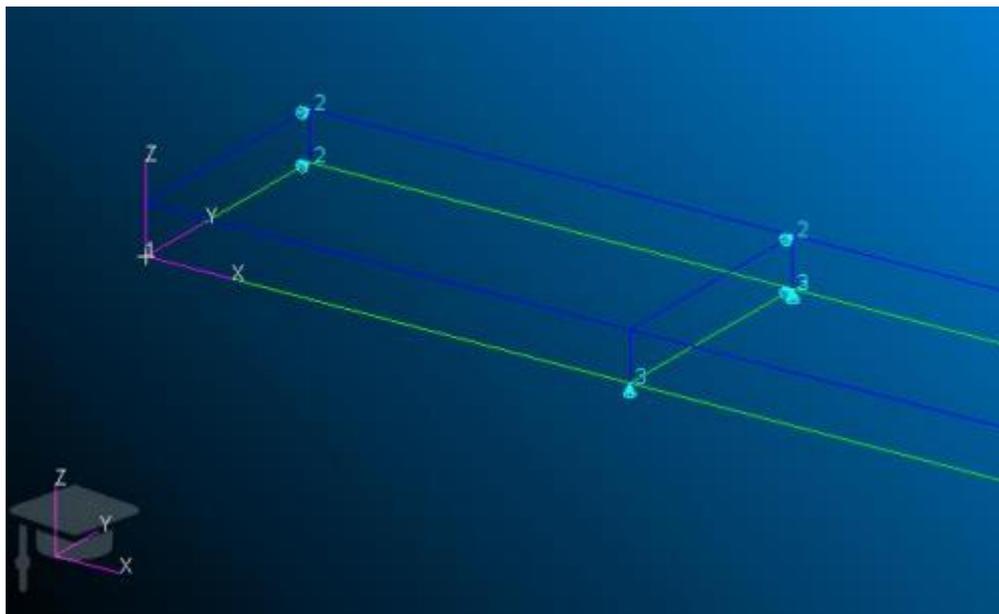


Рисунок 14 – Создание композита

Создать систему координат Geometry / Coordinates group / 3Point / Origin / Point 1 / Point on Axis 3 / Point 7 / Point on Plane 1-3 / Point 4 / Apply.



Создайте свойств твердого тела Properties / 3D Properties group / Solid / Create / 3D / Solid / Property Set Name: 3d-comp / Options / Laminate / Input Properties / Material Name: lam 1 / Material Orientation / Coord 1 / Thickness Direction 3D / Element Z Direction / OK.

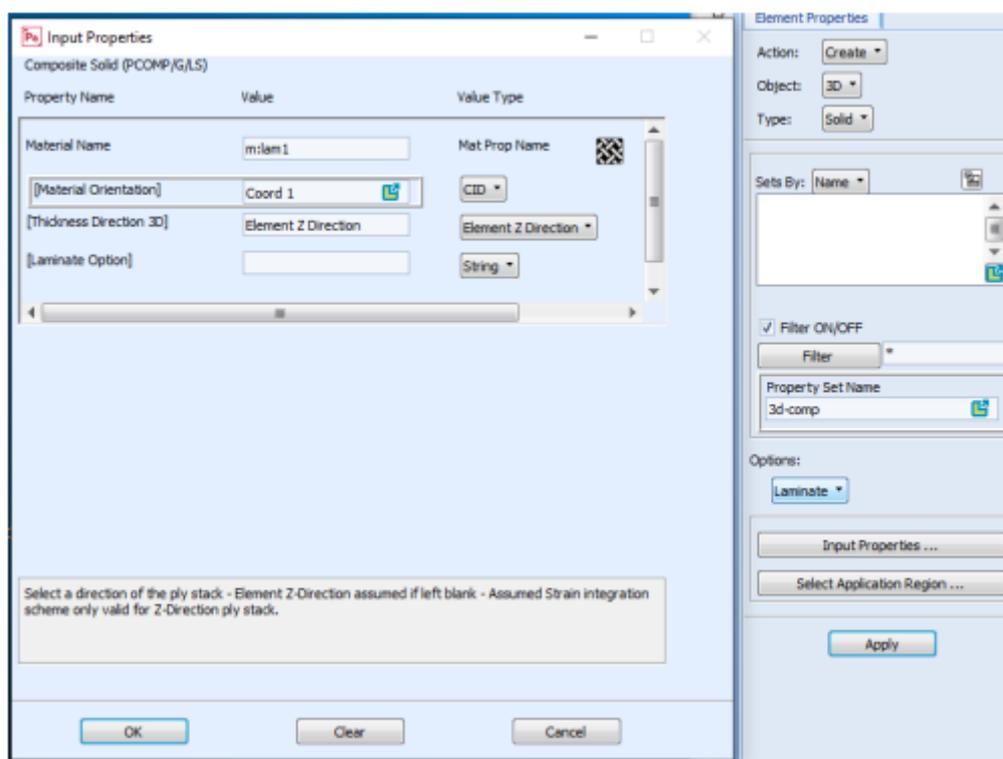


Рисунок 17 – Задание свойств твердого тела

/ Select Application Region / Select Members: Выделяем всю модель (Solid 1 2) / Add / OK / Apply. Шаг 9 Дискретизация 1) Meshing / Mesh Seeds group / Uniform / Create / Mesh Seed / Uniform / Number of Elements : 4 / Curve List: Выбираем левую нижнюю линию (см. рис. 18) / Apply.

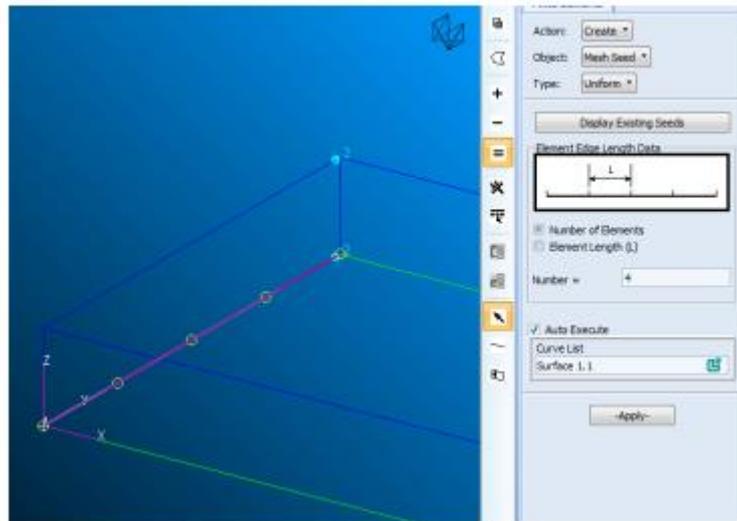


Рисунок 18 – Разбиение грани

2) Create / Mesh Seed / Uniform / Number of Elements: 1 / Curve List: Выбираем левую вертикальную линию (см. рис. 19) / Apply.

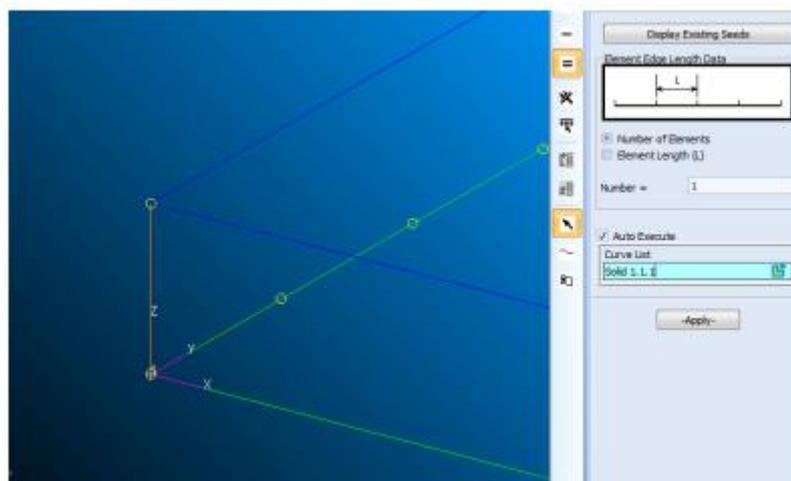
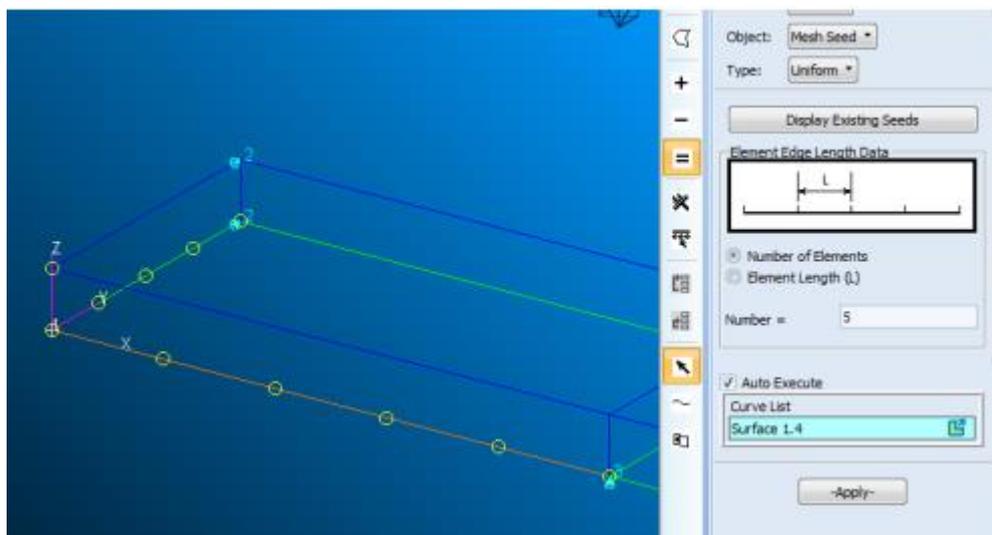


Рисунок 19 – Разбиение грани

3) Create / Mesh Seed / Uniform / Number of Elements : 5 / Curve List: Выбираем нижнюю линию тела 1 (см. рис.) / Apply.



4) Create / Mesh Seed / One Way Bias / Num Elems and L2/L1 / Number : 5 / L2/L1: .1 / Auto Execute / Curve List: Выбираем нижнюю линию тела 2 (см. рис.) / Apply.

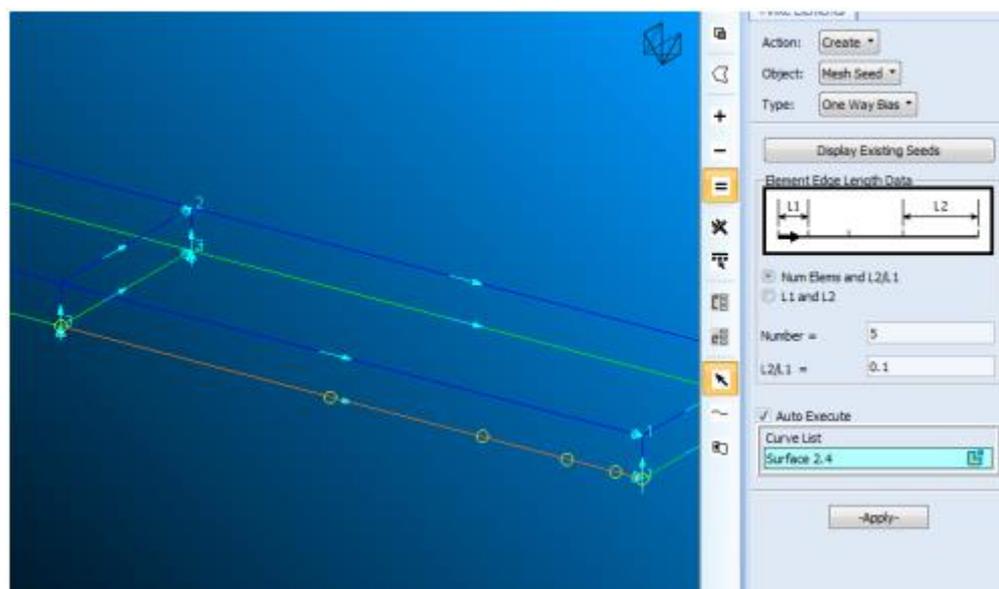


Рисунок 21 – Разбиение грани

Дискретизация Для отображения узлов элементов (увеличение размера изображения узлов) необходимо нажать на иконку Node Size. Meshing / Create / Mesh / Solid / Elem Share: Hex / Meshers: IsoMesh / Topology: Hex8 / Solid List: Выбираем тело 1, затем с зажатой клавишей Shift выбираем тело 2 / Apply.

Meshing / Create / Mesh / Solid / Elem Share: Hex / Meshers: IsoMesh / Topology: Hex8 / Solid List: Выбираем тело 1, затем с зажатой клавишей Shift выбираем тело 2 / Apply.

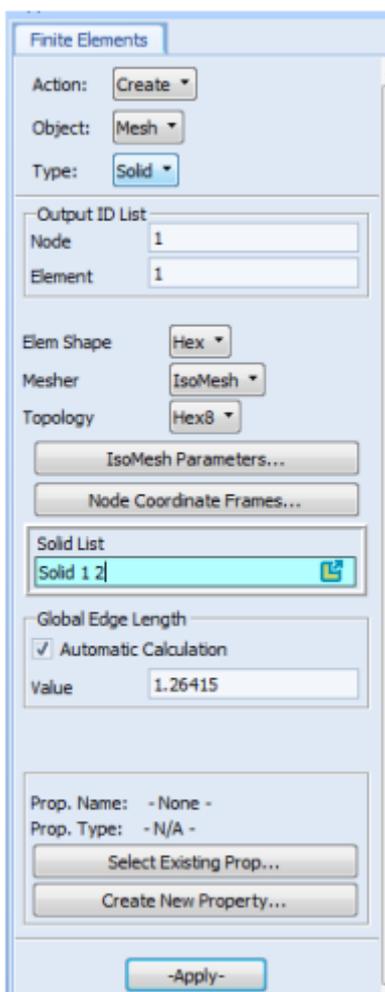


Рисунок 22 – Построение сетки

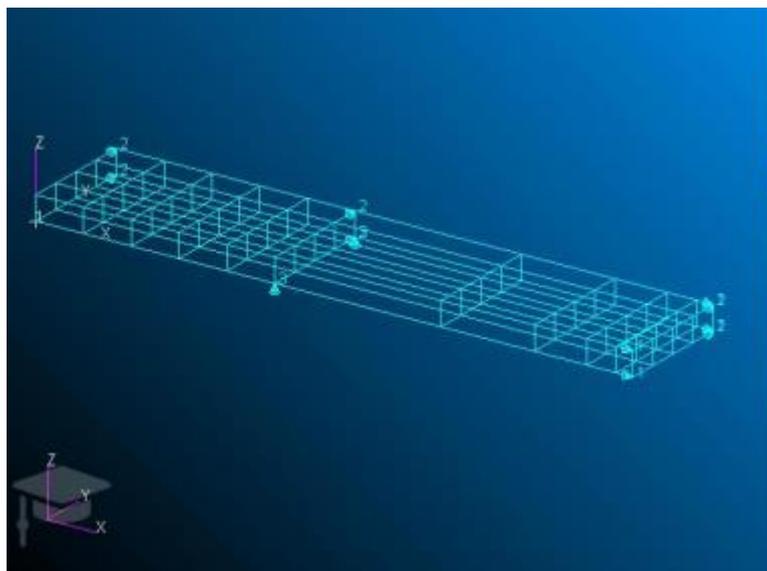


Рисунок 23 – Полученная сетка

Для удаления наложенных узлов или узлов, расположенных вблизи друг друга на определенной дистанции, нужно выполнить следующую команду: Meshing / Equivalence / All / Tolerance Cude / Apply. Допуск 0.005 устанавливается по умолчанию. Если узел находится на расстоянии до другого узла, меньшем указанного допуска, то он удаляется. Шаг 12 Наложение сил Сосредоточенная нагрузка: Loads/BCs / Create / Force / Nodal / New Set Name : force 1 / Input Data / Force : / ОК / Select Application Region / Select: FEM / Select Nodes: Выбираем угол 96, затем с зажатой клавишей Shift выбираем угол 120(см. рис. 25) / Add / ОК / Apply

					СКБ АС.1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		23

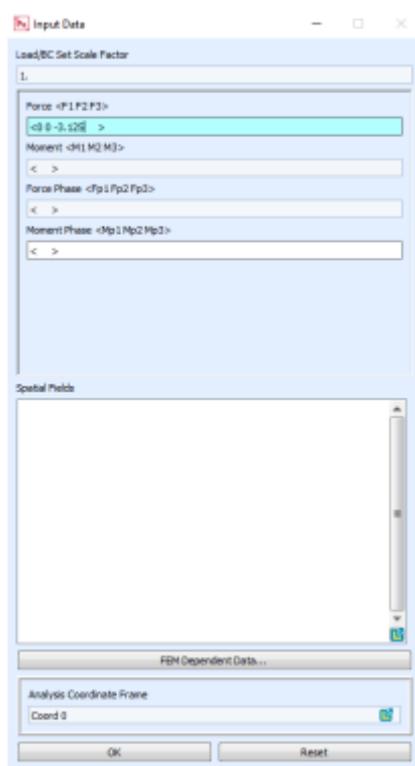


Рисунок 24 – Задание нагрузки

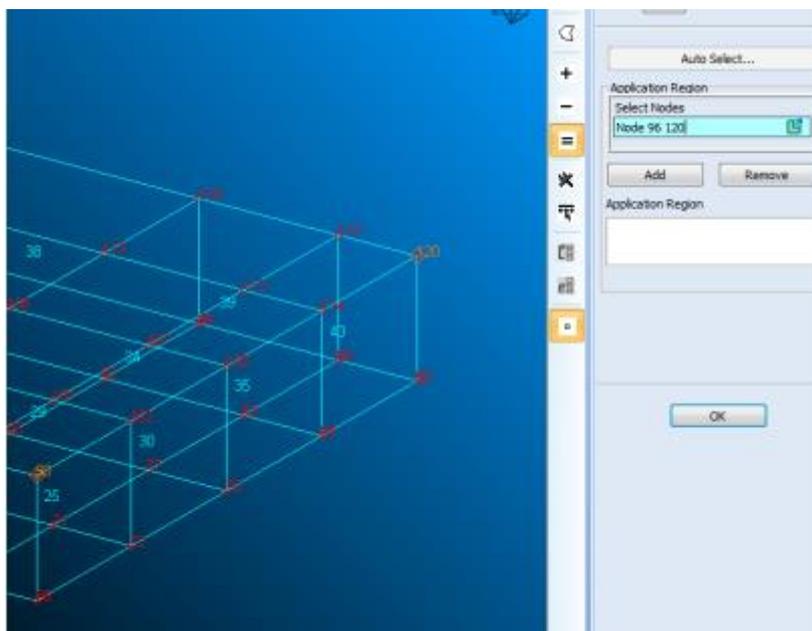


Рисунок 25 – Выбор точек приложения

Loads/BCs / Create / Force / Nodal / New Set Name : force 2 / Input Data / Force : / OK / Select Application Region / Select: FEM / Select Nodes: Выбираем

					СКБ АС.1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		24

угол 102, затем с зажатой клавишей Shift выбираем угол 108 и 114 (см. рис. 27) / Add / ОК / Apply.

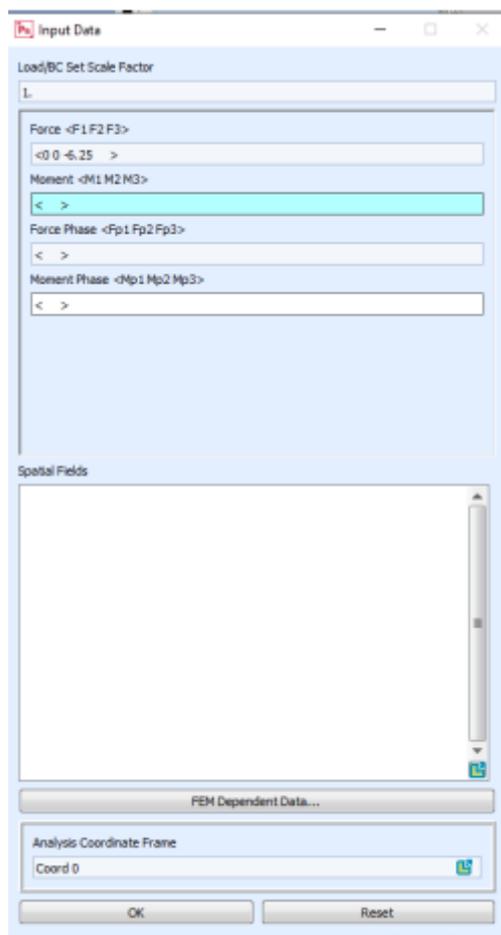


Рисунок 26 – Задание нагрузки

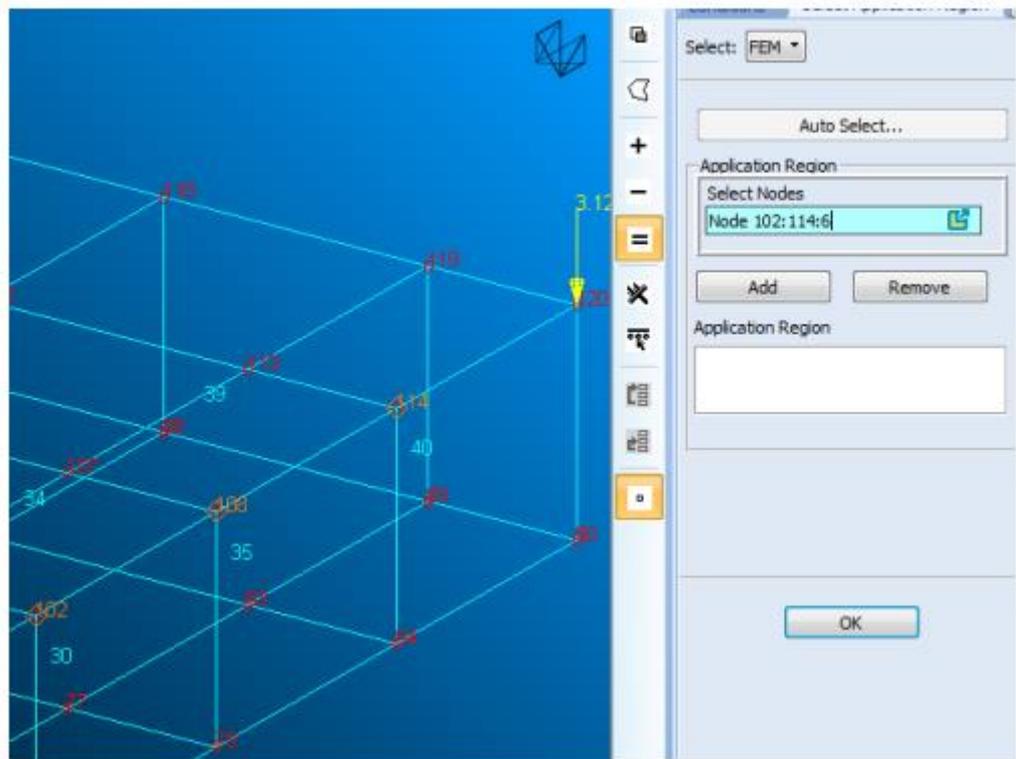


Рисунок 27 – Выбор точек приложения

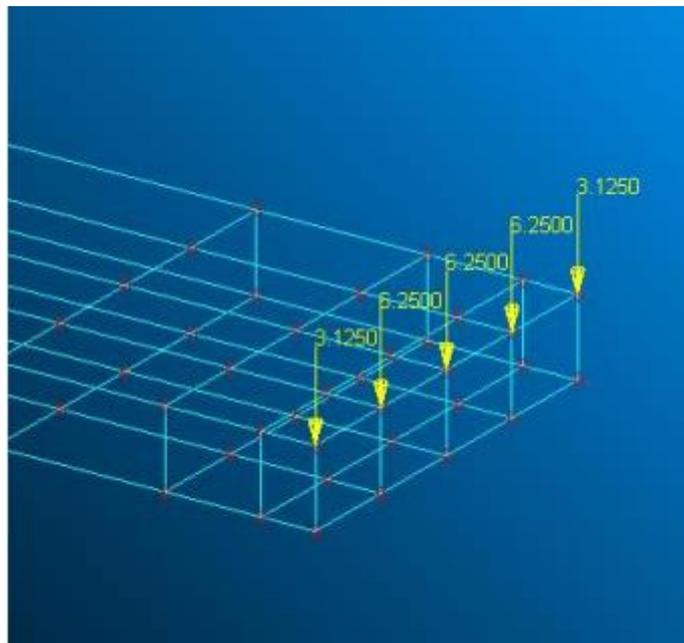


Рисунок 28 – Полученные силы

Выполнение расчета Перед началом расчета необходимо указать тип решения и вывод результатов. При запуске на расчет MSC.Patran формирует входной файл и передает его в MSC.Nastran. Analysis / Analyze / Entire Model

/ Full Run/ Job Name: wk3 / Solution type: Implicit Nonlinear / Solution Parameters / Shell Shear Correction / SOL 400 Run / OK / OK / Subcases / Available Subcases: Default / Subcase Parameters / Linearity: Linear // OK / Apply

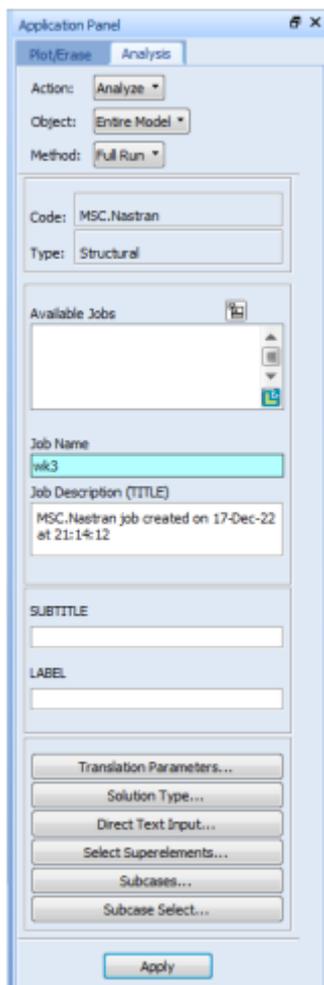


Рисунок 29 – Создание расчета

					СКБ АС.1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		27

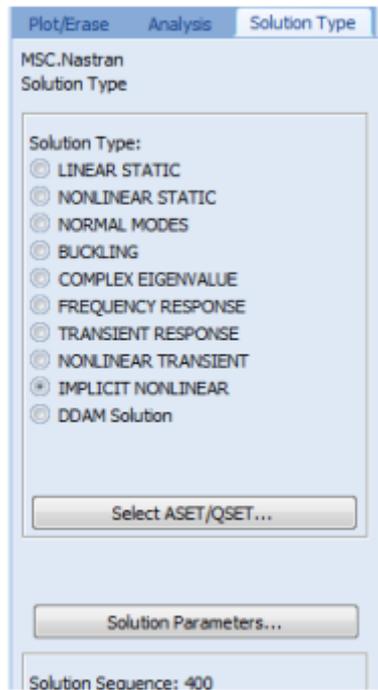


Рисунок 30 – Выбор типа решения

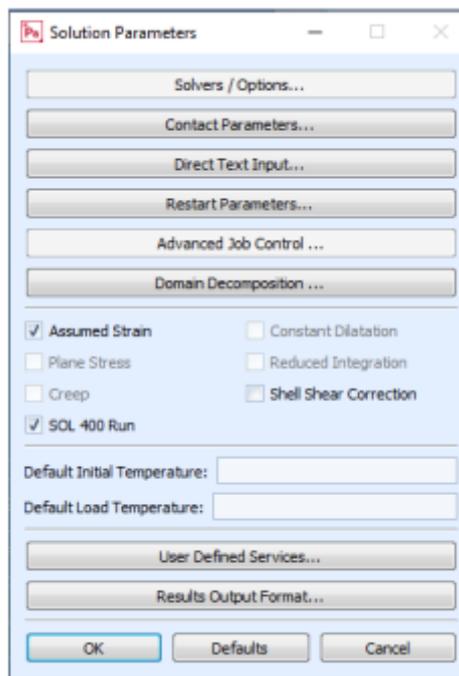


Рисунок 31 – Параметры решения

```

MSC Nastran V2022.1 (wk3)
Scratchdir =
Nfidir = D:\Programs\Patran\Work\Lab4
Acocomand = D:\Programs\Patran\Nastran\bin\nast20221.exe
ModelSuffix = bdf
RestartName =
IterSolver =
NumMachinesCmd =
CommandInputs = %prog-edu%auth-edu%arch=64%
Waitflag = 0
Job submitted to local host with:
D:\Programs\Patran\Nastran\bin\nast20221.exe wk3.bdf prog-edu auth-edu arch=64 bat=no

*** USER WARNING MESSAGE (pgm: nastran, fn: decode_keyword)
batch=no ([4])

This keyword is not available on this platform.
MSC Nastran V2022.1 (Intel Windows 10 Pro 6.2 9200) Sat Dec 17 21:17:59 2022

*** SYSTEM INFORMATION MESSAGE (pgm: nastran, fn: validate_authorize)
Switching to Student Edition. Not for commercial use.

*** SYSTEM INFORMATION MESSAGE (pgm: nastran, fn: estimate_job_requirements)
Starting ESTIMATE, please wait...

*** USER INFORMATION MESSAGE (pgm: nastran, fn: estimate_job_requirements)
Estimated DOF=293
Estimated memory=1522.8MB
Estimated disk=1800.0MB
MSC Nastran beginning job wk3.

```

Рисунок 32 – Выполнение расчета

После расчета присоединяем файлы результатов: Analysis / Access Results / Attach HDF5 / Result Entities / Select Result File: указываете файл результатов / ОК /Apply.

					СКБ АС.1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		29

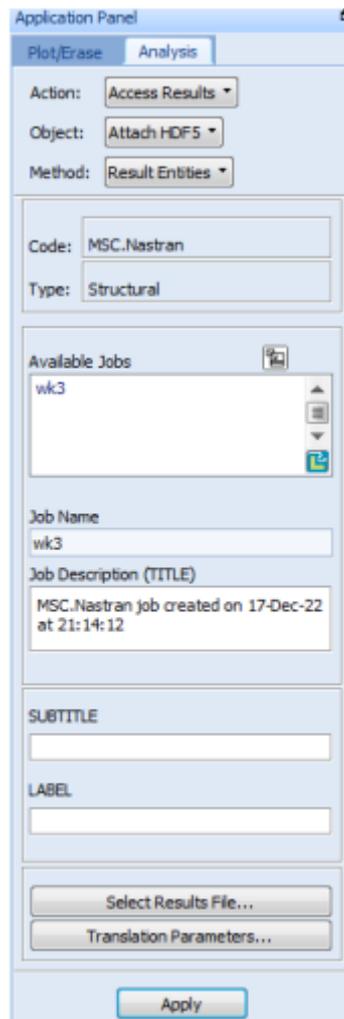


Рисунок 33 – Присоединение файла результатов

Отообразим результат в слое 1 в момент времени 1: Results / Create / Fringe / Select Result Cases: SC1:Step 1:DEFAULT, A1:Time=1 /Select Fringe Results: Composite Stresses, Ply Stresses / Position: Layer 1 / Quantity: X Component / Apply

					СКБ АС.1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		30

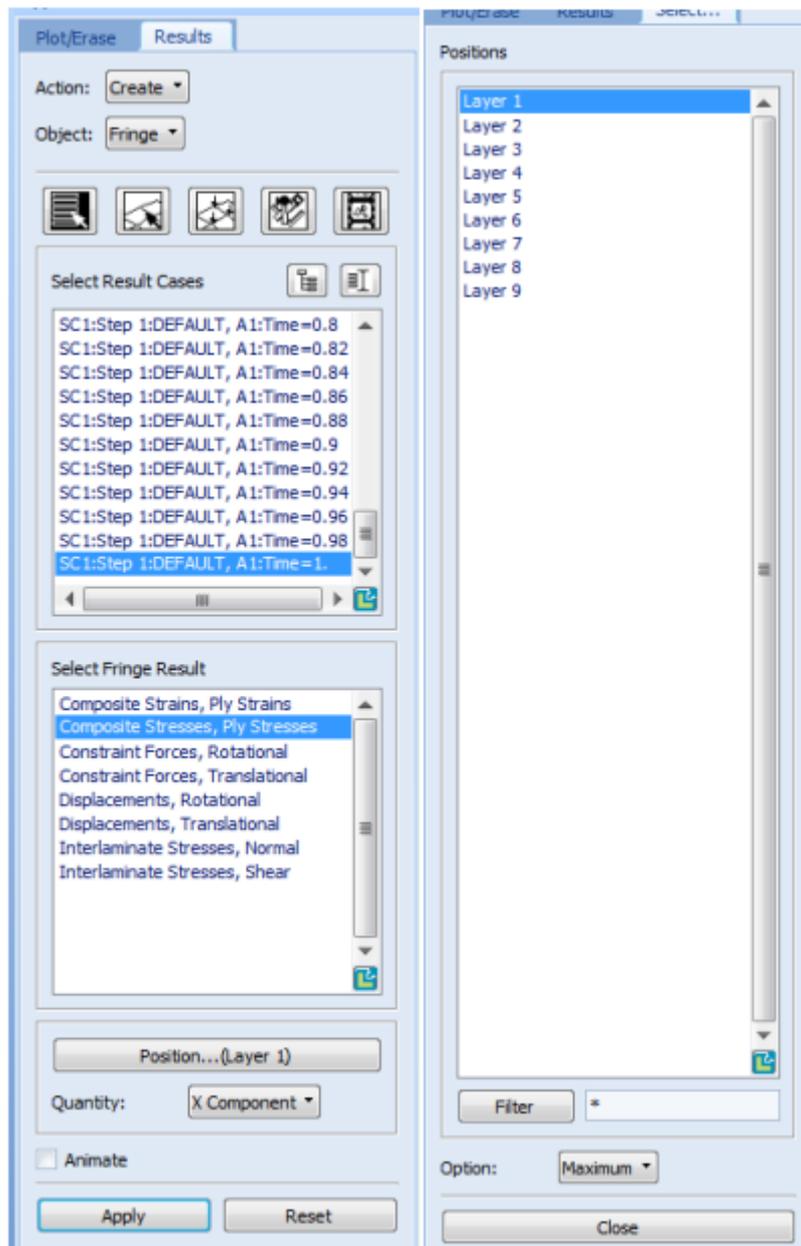


Рисунок 34 – Выбор отображаемого результата

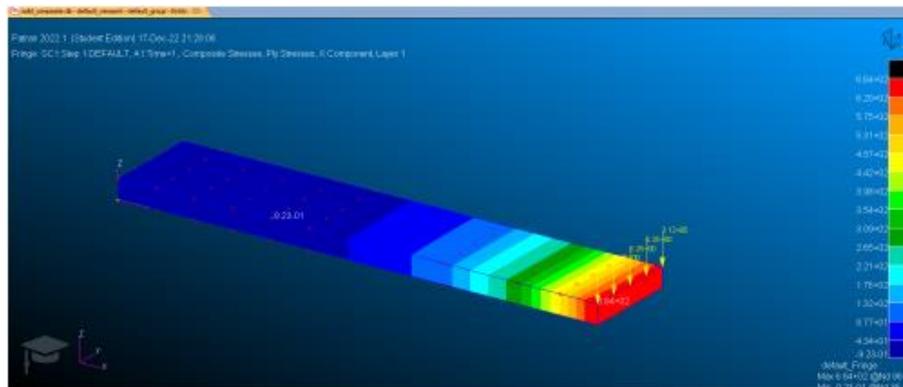


Рисунок 35 – Полученный результат

					СКБ АС.1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		31

2.3 Расчет на прочность соединения «в нахлест»

Соединение материалов внахлест

- 1) создадим новую базу данных: Создаём новую базу, задаём ей имя «СЗМ», подтверждаем

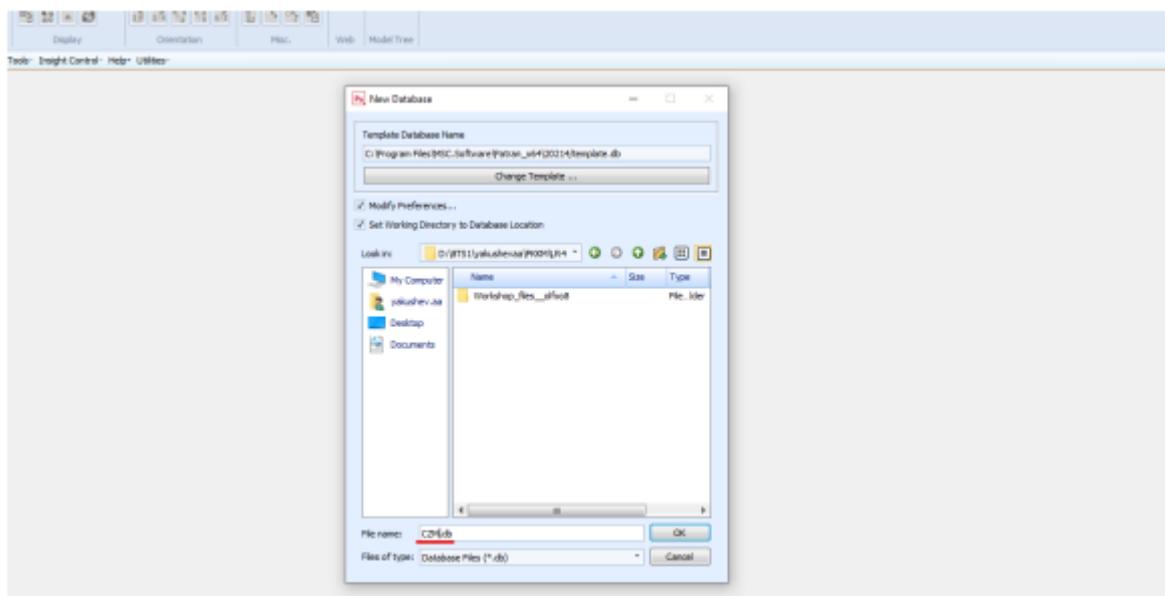


Рисунок 36 – создание новой базы данных

- 2) воспроизведём ранее созданный файл с геометрической моделью: Выбираем в меню Файл: File / Session / Play / build_shear_czm.ses.

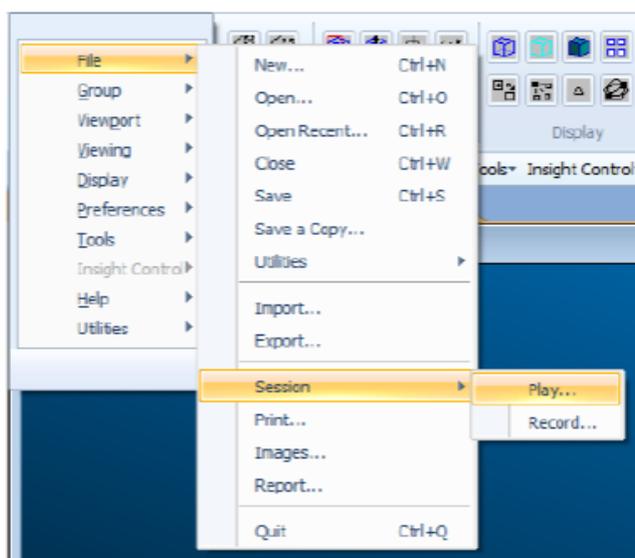


Рисунок 37 – создание новой базы данных

На вкладке «Home» необходимо открыть дерево модели.

В дереве модели открыть вкладку «Displacement».

В качестве объекта выбираем «Contact». Выбрать все существующие наборы характеристик во вкладке «Existing Sets», нажать «Group Color», подтвердить

Рассмотрим связываемые тела

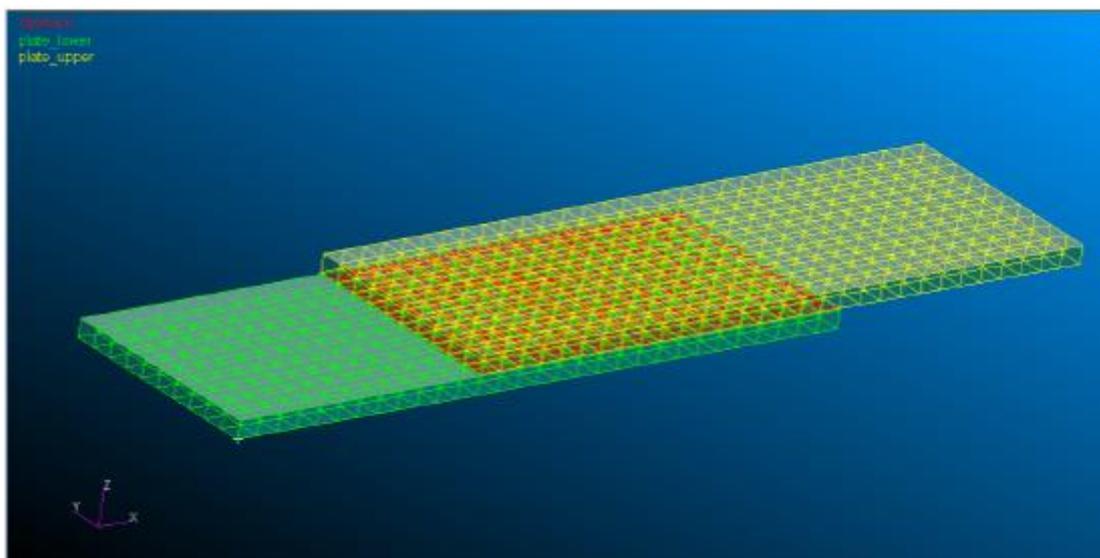


Рисунок 38 – Связываемые тела

Создадим контактные пары:

Loads/BCs / Contact bodies / Create Body Pair / в поле New Set Name ввести «lower_glue» / Input Data / Select : Gluing / поставить галочку в поле «Glued Contact», нажать «ОК»

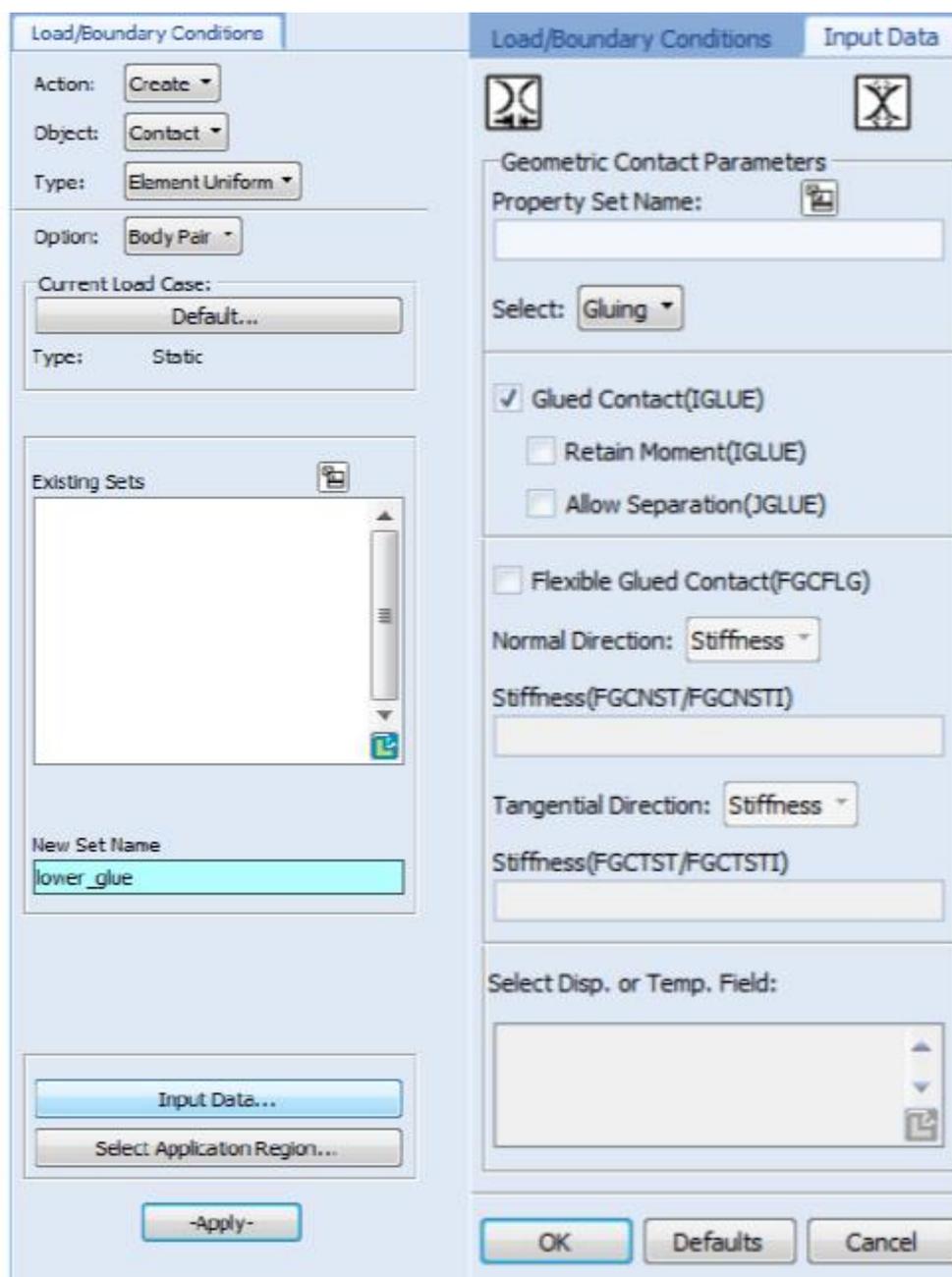


Рисунок 39 – Создание контактных пар

Далее во вкладке «Load/Boundary Conditions» нажать кнопку «Select Application Region», в открывшейся вкладке нажать на иконку «Select existing touched body», отмеченную на рисунке красным, выбрать «plate_lower», затем нажать на иконку «Select existing touched body», отмеченную на рисунке синим и выбрать interface. Подтвердить, принять изменения.

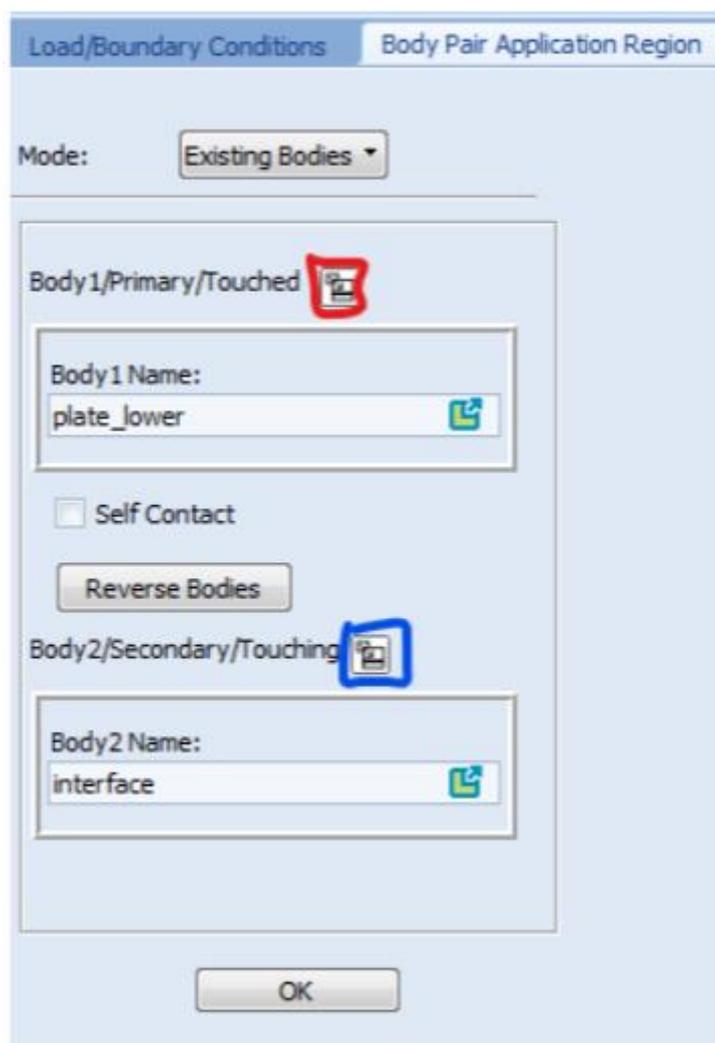


Рисунок 40 – Создание контактных пар

В поле New Set Name ввести «upper_glue» / Input Data / Select : Gluing / убедиться, что стоит галочка в поле «Glued Contact», нажать «OK».

Select Application Region / Body 1 Name : plate_upper ; Body 2 Name : interface / OK / Apply.

Создание связующего материала:

Properties / Cohesive / в поле «Material Name» ввести «cohesive» / Input Properties / Constitutive Model : Exponential ; Cohesive Energy : 3 ; Critical Open-ing Displacement : 0.0002 / OK / Apply

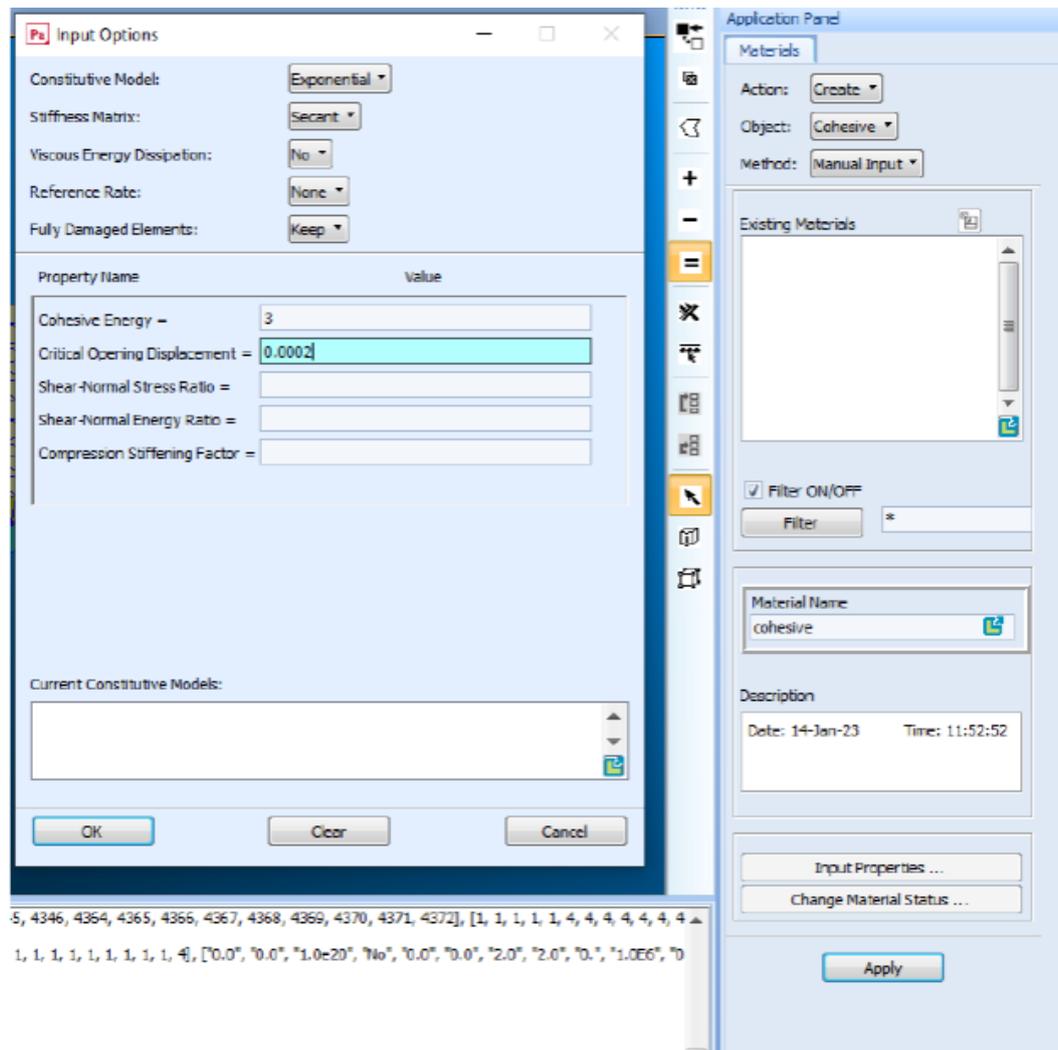


Рисунок 41 – Создание связующего материала

Зададим свойства связующего материала

Properties / Solid / в поле Property Set Name ввести «interface»;
 Option : Interface / Input properties / нажмите на иконку напротив поля
 «Имя материала», выберите «cohesive» / ОК

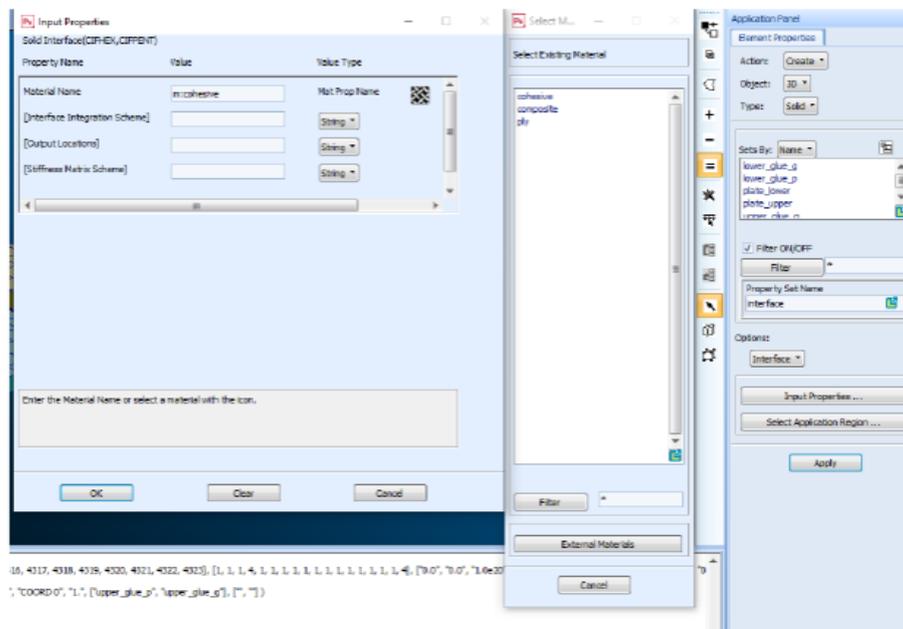


Рисунок 42 – Задание свойств связующего материала

Select Application Region / в фильтре выбираемых элементов выбрать «Wedge Element» (на рисунке отмечены красным), выбираем все доступные элементы, подходящие под данную характеристику / Add / ОК / Apply.

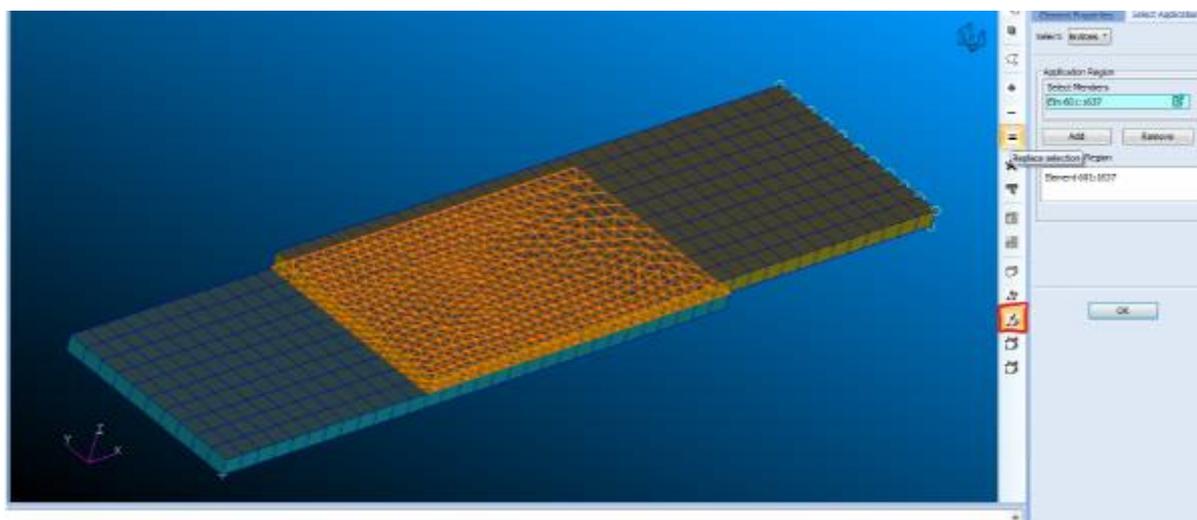


Рисунок 43 - Задание свойств связующего материала

Подготовка анализа:

Analysis / Analyze / Entire Model / Solution Type : Implicit Nonlinear / Solution Parameters / Contact Parameters / Contact Detection: **отожмите кнопку «Permanent Gluing (NLGLUE)» / OK / OK (рисунок 23).**

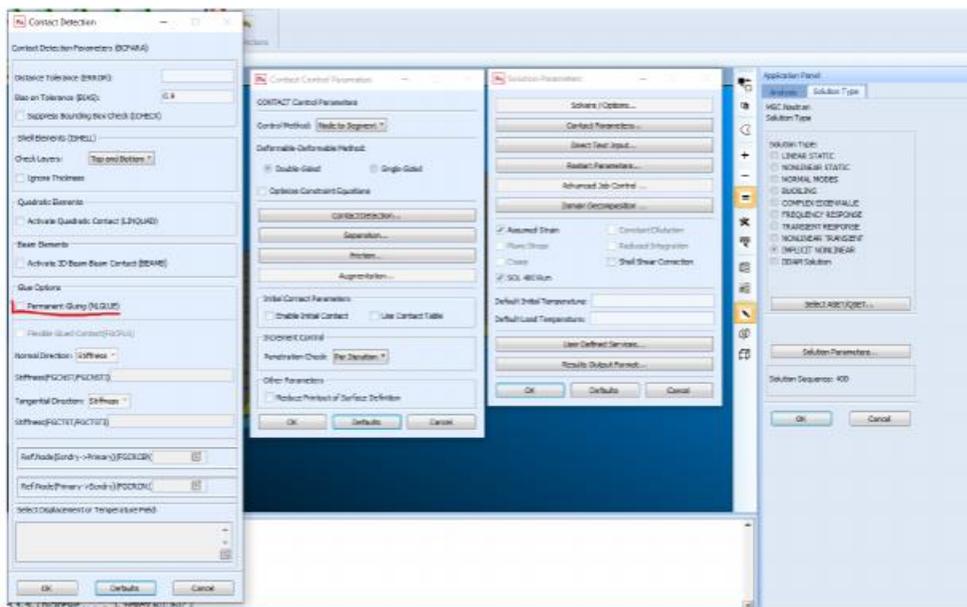


Рисунок 44 – Подготовка анализа

Subcases / Available Subcases : Default / Subcase Parameters / Load Increment Params / Increment Type : Adaptive ; Maximum Time Step : 0.05 / OK / OK

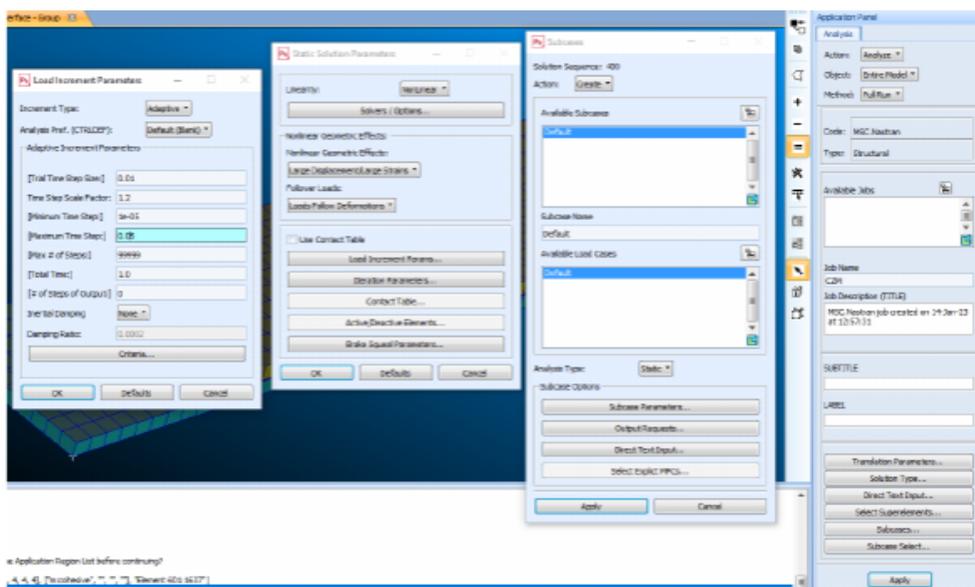


Рисунок 45 – Подготовка анализа

						Лист
					СКБ АС.1.ИП.01000000	
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		38

Subcases / Output Requests / Select Result Type : Non-Linear Stress / OK /Apply / Cancel / Apply

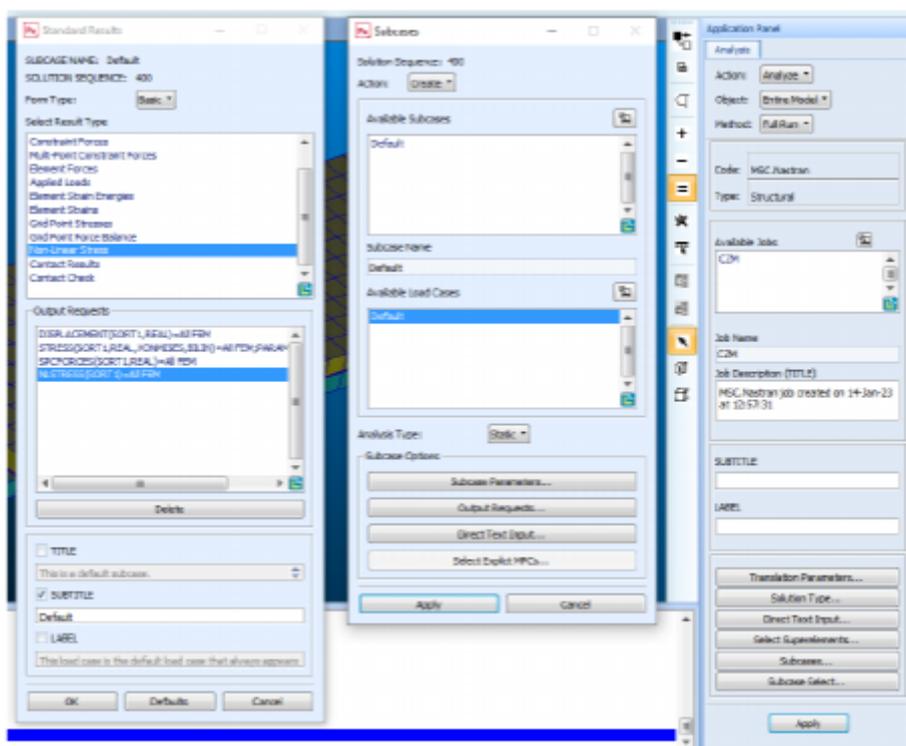


Рисунок 46 – Подготовка анализа

10) открываем в папке работы файл CZM.sts, чтобы убедиться в правильности выполнения расчёта. В строке «Job ends with exit number...» должно быть возвращено значение «0»

```

csm55-160007
Date: 2023-01-14 13:30:43
Information summary of job: ./c2m
version: MSC Nastran 2021.4.0, Built on Dec 14, 2021
date: Jan 14, 2023; Day Time: 13:30:43

subcase      inc  cycl  separ  cut      cycl  split  separ  cut  remesh  time  step  total  wall  cpu  max  resp.  type
/stop #      #    #    #    #        #    #    #    #    #    of  of
1            |---of the inc---|-----of the analysis-----| the inc  the job
1            |---of the inc---|-----of the analysis-----| the inc  the job
1      1    2    0    0      3    0    0    0    0    0.0000E+00  0.0000E+00  8.00    1.92    0.0000E+00  disp
1      1    2    0    0      3    0    0    0    0    1.0000E-02  1.0000E-02  12.00   5.52   -4.0905E-03  disp
1      2    2    0    0      5    0    0    0    0    1.2000E-02  2.2000E-02  15.00   7.86   -7.6307E-03  disp
1      3    2    0    0      7    0    0    0    0    1.4000E-02  3.6400E-02  17.00  10.25  -1.0705E-02  disp
1      4    2    0    0      9    0    0    0    0    1.7200E-02  5.3600E-02  19.00  12.58  -1.3477E-02  disp
1      5    2    0    0     11   0    0    0    0    2.0736E-02  7.4416E-02  22.00  14.91  -1.5991E-02  disp
1      6    2    0    0     13   0    0    0    0    2.4883E-02  9.9299E-02  24.00  17.23  -1.8420E-02  disp
1      7    2    0    0     15   0    0    0    0    2.9660E-02  1.2916E-01  27.00  19.59  -2.0644E-02  disp
1      8    2    0    0     17   0    0    0    0    3.5832E-02  1.6499E-01  29.00  21.94  -2.2920E-02  disp
1      9    2    0    0     19   0    0    0    0    4.2990E-02  2.0799E-01  32.00  24.31  -2.5020E-02  disp
1     10    2    0    0     21   0    0    0    0    5.0000E-02  2.5799E-01  34.00  26.73  -2.6871E-02  disp
1     11    2    0    0     23   0    0    0    0    5.0000E-02  3.0799E-01  37.00  29.12  -3.1286E-02  disp
1     12    2    0    0     25   0    0    0    0    5.0000E-02  3.5799E-01  40.00  31.50  -3.8238E-02  disp
1     13    2    0    0     27   0    0    0    0    5.0000E-02  4.0799E-01  42.00  33.88  -4.6441E-02  disp
1     14    2    0    0     29   0    0    0    0    5.0000E-02  4.5799E-01  45.00  36.23  -5.5124E-02  disp
1     15    2    0    0     31   0    0    0    0    5.0000E-02  5.0799E-01  47.00  38.58  -6.6652E-02  disp
1     16    5    0    0     36   0    0    0    0    5.0000E-02  5.5799E-01  53.00  44.17  5.5800E-02  disp
1     17    2    0    0     38   0    0    0    0    5.0000E-02  6.0799E-01  55.00  46.52  6.0800E-02  disp
1     18    2    0    0     40   0    0    0    0    5.0000E-02  6.5799E-01  57.00  48.88  6.5800E-02  disp
1     19    2    0    0     42   0    0    0    0    5.0000E-02  7.0799E-01  60.00  51.23  7.0800E-02  disp
1     20    2    0    0     44   0    0    0    0    5.0000E-02  7.5799E-01  62.00  53.64  7.5800E-02  disp
1     21    2    0    0     46   0    0    0    0    5.0000E-02  8.0799E-01  65.00  56.03  8.0800E-02  disp
1     22    2    0    0     48   0    0    0    0    5.0000E-02  8.5799E-01  67.00  58.39  8.5800E-02  disp
1     23    2    0    0     50   0    0    0    0    5.0000E-02  9.0799E-01  70.00  60.80  9.0800E-02  disp
1     24    2    0    0     52   0    0    0    0    5.0000E-02  9.5799E-01  72.00  63.19  9.5800E-02  disp
1     25    2    0    0     54   0    0    0    0    4.2011E-02  1.0000E+00  75.00  65.56  1.0000E-01  disp

Job ends with exit number : 0
total wall time: 85.00
total cpu time: 67.05

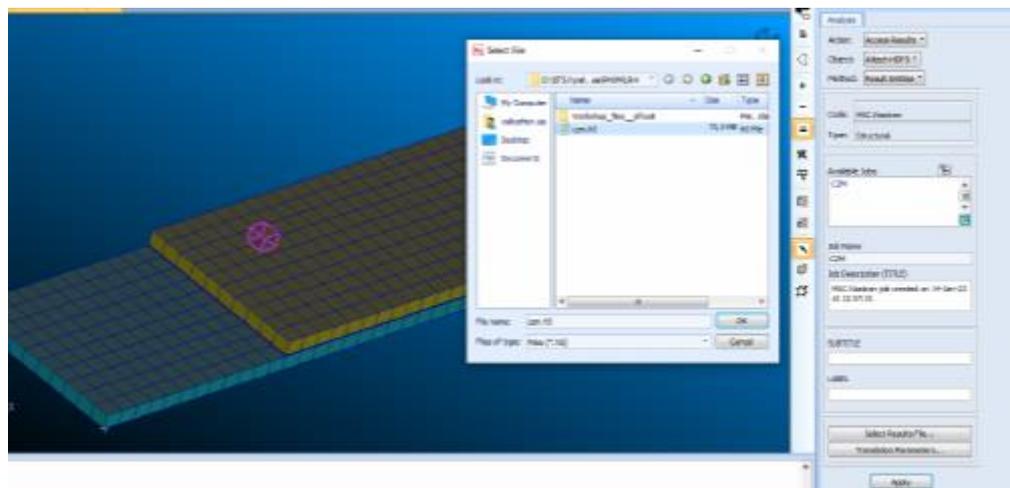
exit DEFINITION -----
- 0 job terminates normally
- 1 job terminates abnormally (check Fatal Error Message in F06)

```

Прикрепляем файл результатов:

Analysis / Access Results / HDF5 / Select Results File / czm.h5 / OK /

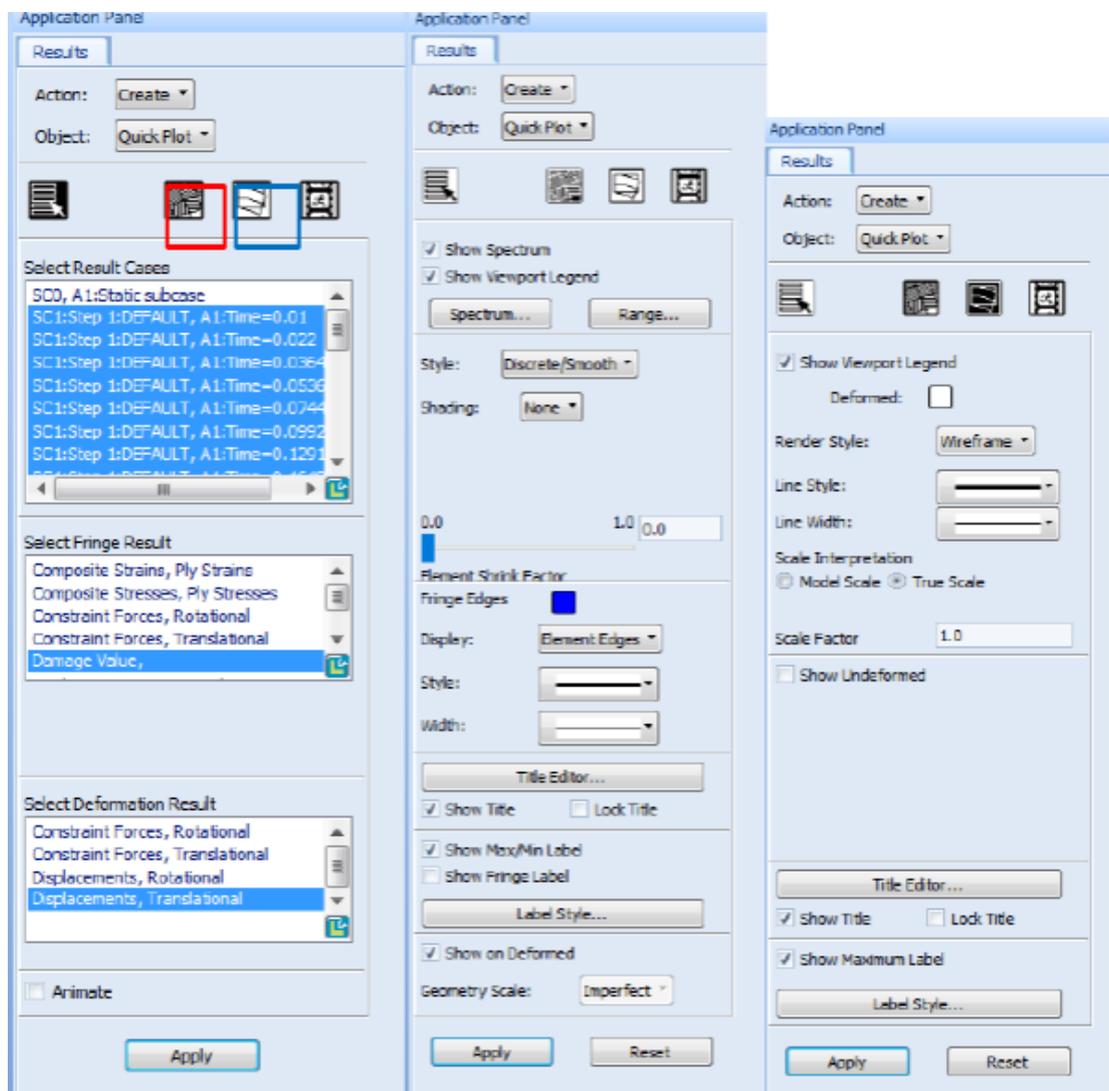
Apply



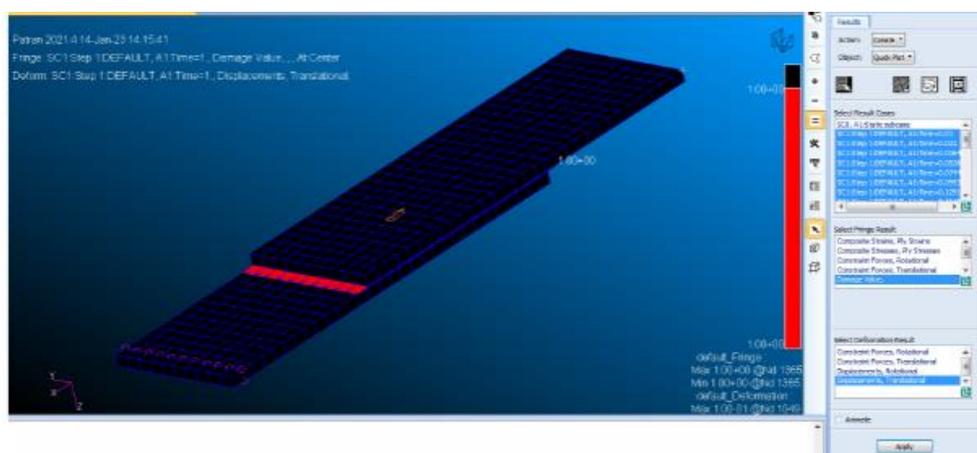
Отображение разрушения соединительного слоя:

Results / Quick Plot / Fringe/Deformation / Select Result Cases : выделить все строки кроме самой первой; Select Fringe Result: Damage Value; Select Deformation Result : Displacements, Translational; нажмите на иконку «Fringe At-

tributes» (отмечена на рисунке красным) / Display : Element Edges; нажмите на иконку «Deform Attributes» (отмечена на рисунке синим) / нажмите кнопку «true scale», отожмите кнопку Show Undeformed / Apply

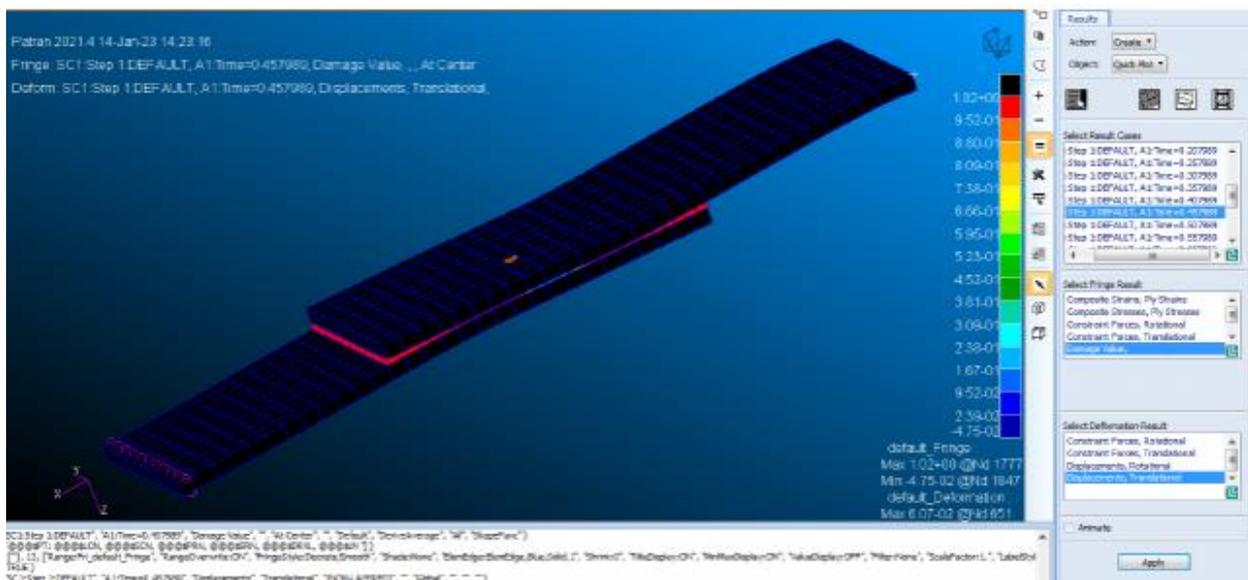


В результате имеем следующее



Рассмотрим состояние соединяющего слоя в определённый момент:
 Results / Quick Plot / Fringe/Deformation / Select Result Cases : Time = 0.45... /
 Select Fringe Result : Damage Value / Select Deformation Result : Displacements,
 Translational / Apply.

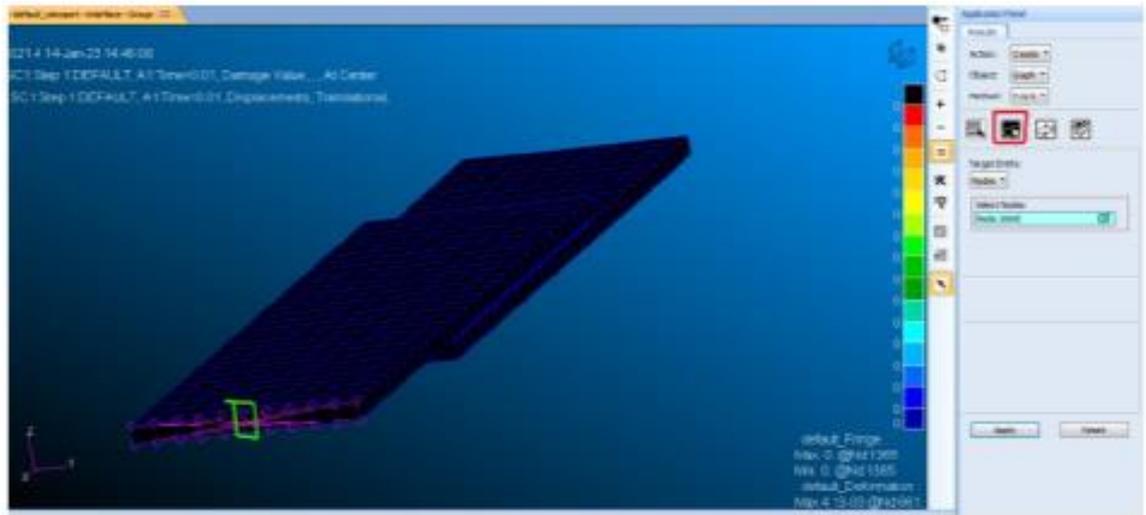
В результате увидим следующее



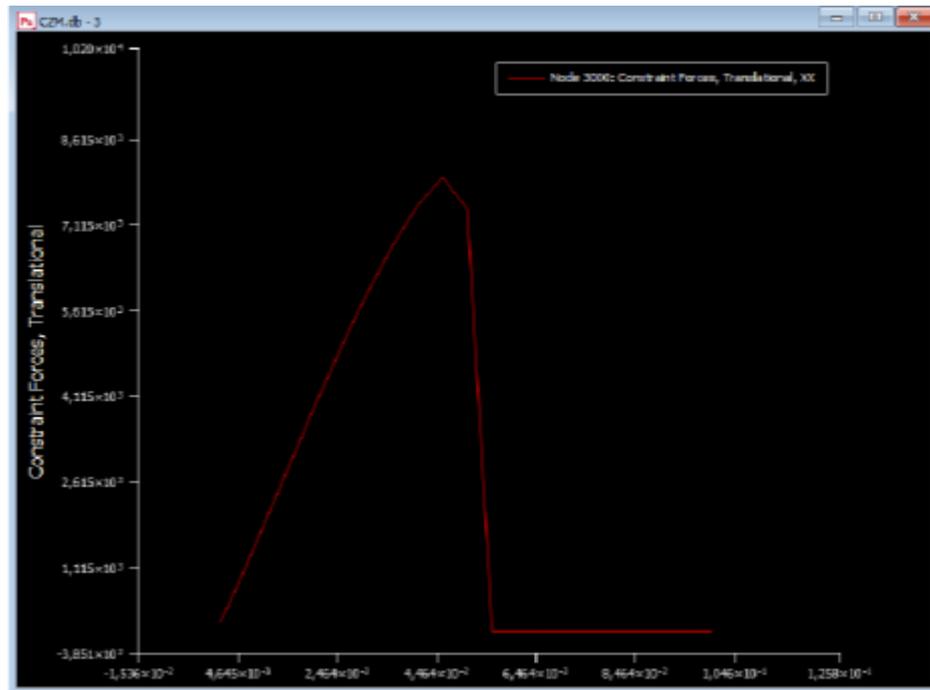
Построение графика нагружения-деформации:

Results / Result Plots / Graph / Object: Graph; Method : Y vs X; Select Result Cases: выбрать все кроме самого первого; Select Y Result: Constraint Forces Translational; Quantity: X Component; X : Result / Select X Result: Displacements, Translational; Quantity : o X Component. / OK.

Нажмите на иконку «Target Entities» (отмечена на рисунке красным) / Target Entity: Nodes / Target Entity : Nodes; Войдите в поле «Select Nodes», затем найдите на одном из торцов пакетов изображённую на рисунке точку (отмечена на рисунке зелёным), выделите её или просто напишите в поле «Node 3000» / Apply



В результате получим график зависимости реактивных сил в указанном торце пакета от величины деформации



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела ОНИПКРС

_____ Е.М. Димитриади
(подпись)

« ____ » _____ 2024 г.

Проректор по научной работе

_____ А.В. Космынин
(подпись)

« ____ » _____ 2024_ г.

Декан _____

_____ О.А. Красильникова
(подпись)

АКТ

о приемке в эксплуатацию проекта

«*Моделирование изделий из композиционных материалов с применением CAD/ CAE-
систем*»

г. Комсомольск-на-Амуре

« »

2024г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

- Ю.Б. Колошенко – руководитель СКБ,
- О.А. Красильникова – декана «ФАМТ»

со стороны исполнителя

- Г.А. Щербатюк – руководителя проекта,
 - Студент Елпанов Илья Игоревич - ИТС-1
 - Студент Полудников Анатолий Евгеньевич - ИТС-1
 - Студент Баркова Полина Романовна - ИТС-1

составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект «*Моделирование изделий из композиционных материалов с применением CAD/ CAE-систем*», в составе:

1. Модель напряжённно-деформированного состояния системы телвыполненных из ПКМ

2. Методические материалы по моделированию напряжённно-деформированного состояния в системе MSC.NASTRAN & MSC.PATRAN соединения элементов из ПКМ в нахлест.

- Студент Елпанов Илья Игоревич - 1ТС-1
- Студент Полпудников Анатолий Евгеньевич - 1ТС-1
- Студент Баркова Полина Романовна - 1ТС-1

Руководитель проекта

(подпись, дата)

Г.А. Щербатюк

Исполнители проекта

(подпись, дата)

И.И. Елпанов

(подпись, дата)

П.Р. Баркова

(подпись, дата)

А.Е. Полпудников