

Практическое занятие № 1

Сравнительный расчет одномерной и трехмерной конечно-элементных моделей бруса

- 1.1. Цель работы.....
- 1.2. Описание объекта исследования
- 1.3. Порядок выполнения работы.....
- 1.4. Верификационный расчет
- 1.5. Содержание отчёта.....
- 1.6. Вопросы для самопроверки

1.1. Цель работы

Оценить относительную погрешность расчета в среде MSC.Patran_Nastran конечно-элементной модели одноосного напряженного состояния бруса.

1.2. Описание объекта исследования

Одноосным называют напряженное состояние, при котором полное напряжение на любой единичной площадке, выделенной в теле, параллельно одной и той же оси. Примером одноосного состояния является центральное растяжение прямого бруса при приложении к нему внешних сил, направленных вдоль его продольной оси.

В работе исследуется консольно закрепленный стальной брус прямоугольного поперечного сечения с постоянной площадью поперечного сечения $A=bh$, который деформируется под действием приложенной растягивающей силы F , равномерно распределенной по поперечному сечению бруса (рисунок 1.1).

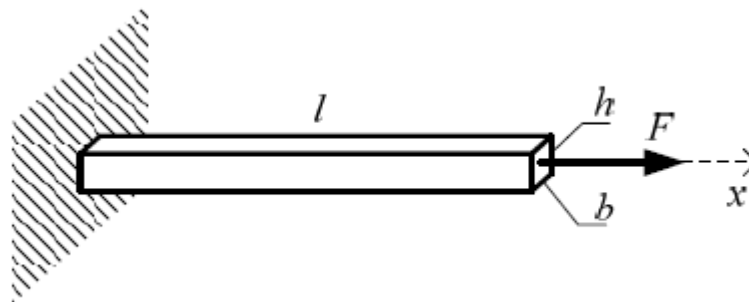


Рис 1.1. Растяжение консольно закрепленного бруса

В таблице 1.1. приведены ширина b и высота h поперечного сечения бруса в соответствии с номером варианта.

Числовые значения приложенной силы F , длины l бруса, модуля упругости E материала бруса:

$$F=50000\text{Н}, E=210000\text{ МПа}, l=500\text{мм} \quad (1)$$

Таблица 1.1

Геометрические размеры поперечного сечения бруса по вариантам

№ варианта	b (мм)	h (мм)	№ варианта	b (мм)	h (мм)	№ варианта	b (мм)	h (мм)
1	10	24	10	19	21	19	28	27
2	11	24	11	20	24	20	29	18
3	12	28	12	21	31	21	30	27
4	13	28	13	22	15	22	31	19
5	14	13	14	23	26	23	32	29
6	15	31	15	24	14	24	33	22
7	16	30	16	25	11	25	34	27
8	17	21	17	26	25	26	35	15
9	18	23	18	27	32	27	36	28

1.3. Порядок выполнения работы

В работе одноосное напряженное состояния бруса моделируется двумя подходами, в соответствии с двумя вариантами его конечно-элементного представления. Первым вариантом является одномерная геометрическая модель, составленная из конечных элементов стержневого типа *BAR*. По результатам компьютерного расчета в MSC.Patran_Nastran и сопоставления их с результатами проверочного аналитического расчета определяются относительные погрешности расчетов.

Выбор согласованной системы единиц измерения.

В качестве согласованной системы единиц будем применять систему, обозначаемую в MSC.Patran как «*SI (mm-N-Ton)*», в которой силы исчисляются в Ньютонах, длины - в миллиметрах, нормальное напряжение σ и модуль Юнга E - в мегапаскалях (МПа).

Последовательность выполнения задания в программном комплексе MSC Patran/Nastran 2014

1. Создание новой базы данных **File**/New.../
- 2.

File/New.../	
New Database Name:	LAB_1 – задаем название нашего файла
Database Files:	*.db – задаем тип файла, например: sterg.db
	OK
New Model Preference	
Tolerance:	Default
Analysis Code:	MSC.Nastran
Analysis Type:	Structural
	OK



3. Geometry_ Построение геометрической модели объектов

В данной задаче следует задать геометрическую модель объекта: одномерный стержень

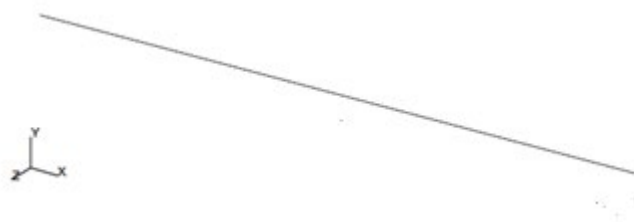
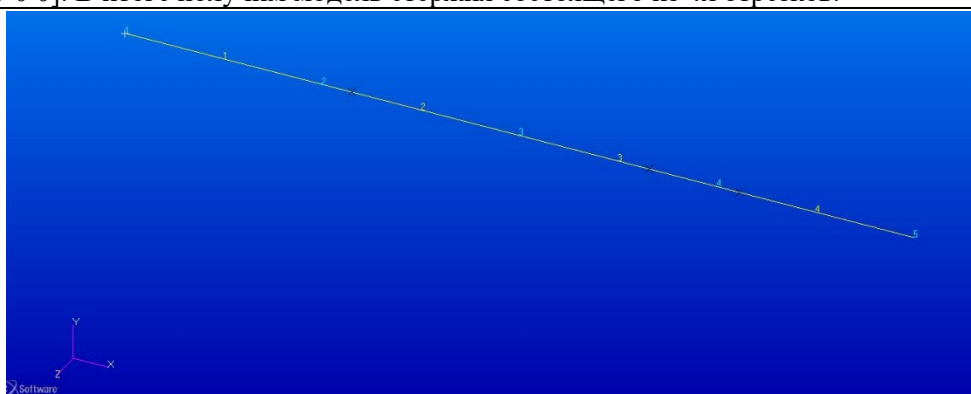


Рис 1.2. Одномерная геометрическая модель бруса в MSC.Patran

Одномерной моделью бруса является отрезок длиной l . Для его задания применим метод построения отрезка по двум граничным точкам (*Geometry|Create|Curve|Point*), задав в полях ввода «Starting Point List» и «Ending Point List» координаты начала и конца бруса.

- Построение геометрической модели одномерного бруса

Geometry	
Action:	Create
Object:	Curve
Method:	XYZ
Vector Coordinates List:	<125 0 0>
Снять галочку с пункта	Auto Execute
Origin Coordinate List:	[0 0 0]
	Apply
Затем повторяем операции, меняя в поле Origin Coordinate List [0 0 0] на [125 0 0], а затем на [250 0 0] и [3375 0 0]. В итоге получим модель стержня состоящего из 4х отрезков.	



Замечание:

Следует отметить, что геометрические модели в системах конечно-элементного анализа применяются лишь на начальном этапе решения задачи для построения на ее основе конечно-элементной модели. При наличии конечно-элементного представления объекта этап построения геометрической модели можно пропустить.



3. *Разбиение геометрической модели на совокупность конечных элементов*

Для геометрических моделей могут быть применены разные типы конечных элементов (рис.1.3) для конечно-элементного разбиения: одномерная геометрическая модель будет разбита на одномерные стержневые конечные элементы *Rod*, *Bar* или *Beam*

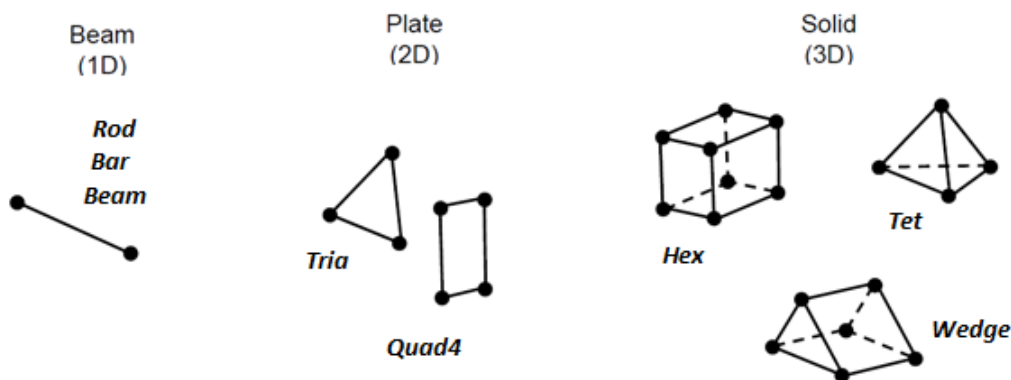


Рис 1.3. Семейства одномерных (1D), двумерных (2D) и трехмерных (3D) конечных элементов

Разобьем одномерную модель на одномерные конечные элементы указав в *Elements|Create|Mesh|Curve* в поле ввода «*Curve list*» на построенную одномерную геометрическую модель. При этом значение длины конечных элементов в поле «*Global Edge Length*» оставим заданным по умолчанию.

Разобраться на этом этапе

- **Построение конечно-элементной модели одномерного бруса**

[Meshing] Elements	
Action:	Create
Object:	Mesh
Type:	Curve
Topology:	Beam
Curve list:	Указать мышью на построенную одномерную геометр. модель или ввести: curve 1:4
Value:	125 такое значение определит 4 конечных элемента $V=L/\text{кол-во КЭ}$: $V=500/4=125$
Global Edge Length:	По умолчанию
	Apply

. В результате модель будет разбита на одномерные конечные элементы *Rod* (рисунок 1.4).

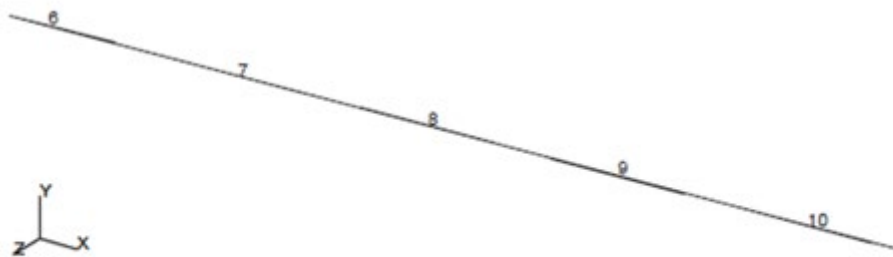
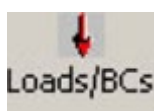


Рис 1.4. Одномерная конечно-элементная модель стержня

- «Сшивание» конечных элементов вдоль геометрических границ и в узлах

[Meshing] Elements	
Action:	Equivalence
Object:	All
Method:	Tolerance Cube
	Apply



4. *Задание граничных условий и приложение нагрузок*

4а. Закрепление левого торца

Консольному типу закрепления соответствуют нулевые вектора в полях ввода граничных условий по линейным и угловым перемещениям:

$$Translations \langle T1 \ T2 \ T3 \rangle = [0, 0, 0] \text{ и } Rotations \langle T1 \ T2 \ T3 \rangle = [0, 0, 0].$$

Соответствующие поля ввода расположены в меню системы MSC.Patran

Loads/BC|Displacement|Nodal|InputData.

Задаваемые граничные условия прикладывают к узлу одномерной модели как показано на рис. 1.5.

- Одномерная модель

[Loads/BCs]	
Action:	Create
Object:	Displacement]
Type:	Nodal
New Set Name:	opora1
[Input Data] →Translations:	<0, 0, 0>
Rotations:	<0, 0, 0>
	OK
[Select Application Region] → Select:	FEM
Select Nodes:	Node 1
	Add
	OK
	Apply

46. Приложение нагрузки к узлу на правом торце КЭ модели стержня

Приложенная к стержню сила задается в соответствующем узле, аналогично заданию перемещений в п.4а, значениями ее проекций на координатные оси глобальной системы координат $\langle F_x, F_y, F_z \rangle$ которые в данной задаче имеют вид

$$\langle 50000, 0, 0 \rangle.$$

Loads/BCs	
Action:	Create
Object:	Force
Type:	Nodal
New Set Name	<i>F1</i>
Input Data ...	
Force:	$\langle 5000, 0, 0 \rangle$
	OK
Select Application Region ...	
Select:	FEM или Geometry
Select Geometry Entities	Point 2
Select Nodes:	Указать узлы приложения силы
	Add
	OK
	Apply

Одномерная КЭ модель стержня с приложенными растягивающей силой и закрепленным левым торцом показана на рисунке 1.5, где граничные условия вида «123456» обозначают ограничение всех шести степеней свободы в соответствующих узле, а вектор с числовыми значениями 50000 обозначают приложенную растягивающую нагрузку.

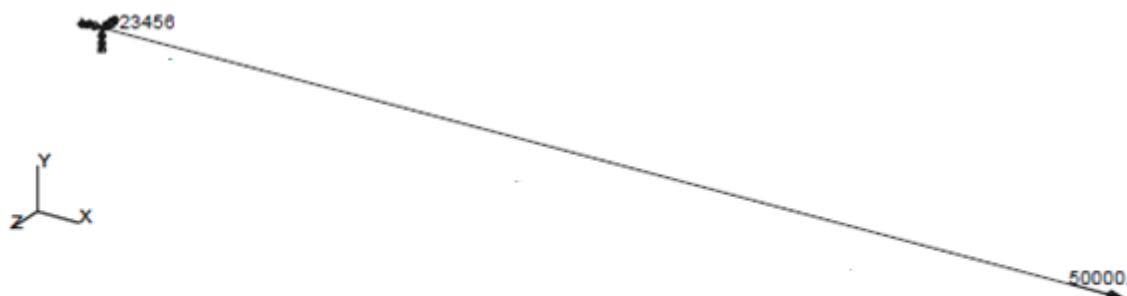


Рис 1.5. Одномерная модель с заданными граничными условиями и приложенной растягивающей силой



5. Моделирование материала конструкции

Для задания свойств материала бруса возможно воспользоваться **встроенной в MSC.Patran библиотекой материалов**. Для этого из главного меню программы следует перейти в библиотеку материалов **Utilites|Materials|MaterialSessionFileLibrary** и выбрать материал в соответствующей системе единиц. Для стального бруса, рассматриваемого в системе единиц СИ (мм-Н-тонны), используется материал «*steel-iso-SI-mm-NTon*». Материал появится в списке доступных материалов меню Materials, значения заданных в нем библиотечных констант можно посмотреть или скорректировать после двойного клика на его названии. В частности, библиотечное значение модуля упругости, заданное для материала «*steel_iso_SI_mm_N_Ton*», равно $E = 210000$ МПа. Этот способ оставим для самостоятельного изучения.



В данном практическом занятии будем использовать **ручной способ задания свойств материала по следующей схеме**.

Proterties / Isotropic / Materials	
Action:	Create
Object:	Isotropic
Method:	Manual Input
Material Name:	<i>steel</i>
Input Properties ...	
Constitutive Model	Linear Elastic
Elastic Modulus:	2.1e05
Poisson's Ratio:	0.3
	OK
	Apply

6. Задание свойств конечным элементам: назначение (присвоение) выбранных свойств материала конечным элементам построенной конечно-элементной модели; выбор формы сечения и его размеров

Задаваемые свойства элементов и их минимальный набор существенно различаются от типа конечных элементов, с помощью которых создается конечно-элементная модель конструкции.

[Tools] → [Beam Library] →	
Action:	Create
Object:	Standard Shape
Type:	Solid
Создание поперечного сечения	
	Apply

[Tools] → [Beam Library] →	
Action:	Create
Object:	Standard Shape
Method:	Nastran Standard
Создание поперечного сечения	
New Section Name:	stergen
Выбираем прямоугольное сечение	[W=10; H=24]
	OK
Properties/ Element Properties	
Action:	Create
Object:	1D
Type:	Beam
Properties Set Name:	Strg1

. Применение созданного поперечного сечения и материала к элементам	
Input Properties...	
Section Name:	Выбираем ранее созданный тип сечения с названием Stergen с помощью иконки справа
Material Name:	правее MatPropName кликаем на иконку и выбираем ранее созданный материал steel
Bar Orientation:	<0 1 0>
	OK
[Select Application Region]	
Select:	Entities
	В колонке слева выбираем иконку Curve or Edge
Select members:	Curve 1:4
	Add
	OK
	Apply

Для применяемого в задаче типа конечного элемента *Rod* (стрержневой элемент, применяемый в задачах центрального осевого растяжения-сжатия) обязательными задаваемыми параметрам являются: материал элемента, площадь его поперечного сечения.

В меню *Properties|Create|1D|Rod* создадим новое свойство. В поле ввода <Material Name> выберем заданную в п.6 модель материала «steel_iso_SI_mm_N_Ton», площадь поперечного сечения конечного элемента $A=bh$ мм² задается в поле ввода «Area» по известным значениям ширины b и высоты h поперечного сечения бруса назначаются в соответствии с номером варианта.

Материал задается в меню *Properties|Create|3D|Solid* в поле ввода <Material Name>, где необходимо выбрать приготовленную ранее (в п.5) модель материала «steel_iso_SI_mm_N_Ton».

Пунктом 6 заканчивается препроцессорная подготовка модели.

7. Процессорная обработка модели в MSC.Nastran и передача результатов для обработки постпроцессором

На этом этапе конечно-элементная задача, сформулированная в MSC.Patran, передается в MSC.Nastran, называемый процессором, и решается в нем. Затем результаты возвращаются в MSC.Patran и отображаются им в желаемом виде, например - в виде градиентной цветной заливки модели, либо в виде текстового файла с таблицей результатов.

При правильной настройке взаимодействия пре-пост-процессора MSC.Patran с процессором MSC.Nastran передача и решение задачи не требует указания на необходимые файлы обмена и производится нажатием кнопки «Apply» в меню *Analysis|Analysis|Entire Model|Full Run*. При этом предварительно необходимо задать в подменю *SolutionType* тип расчета: *LinearStatic*. Подключение результатов для их визуализации постпроцессором MSC.Patran производится нажатием кнопки «Apply» в меню *Analysis|AccessResults|AttachXDB|ResultsEntities*.

Следует отметить, что при неправильном или неполном задании конечноэлементной модели процессор передает нулевой или некорректный файл результатов. Косвенным показателем успешного расчета задачи постпроцессором является запись «End Attach Result File» в строке состояния MSC-Patran при подключении файла результатов.

7.1. Генерация входного файла в MSC. Nastran.

[Analysis]	
Action:	Analyze
Object:	Entire Model
Method:	Full Run
Job Name:	st1D уже назначено именем исходного файла
Solution Type:	Linear Static
Constitutive Model	Linear Elastic
	Apply

Автоматически запускается Nastran и работает решатель и в нижней строке экрана после окончания расчета (длится секунды) выдается сообщение

```
## Executing /bin/sh -c C:\MSC.Software\Patran_x64\20121\bin\exe\MscNastranExecute.  
## exe -j st1d -m bdf -d D:\Work_Patran\Analysis_MSC\P_Nastran_2018\SD_31b\st1d.d
```

Можно вручную реализовать передачу входного файла в MSC.Nastran и получение результатов

[Запуск MSC.Nastran с терминала] → [Выбор файла st1D.bdf] → [OK].

8. Постпроцессорная обработка. Вывод результатов статического расчета моделей.

В пост-процессорной части MSC Patran реализованы различные виды отображения результатов расчета. Результаты могут быть визуализированы в виде приложенных векторов, в виде градиентной заливки модели, изменением размеров и формы модели, могут быть выведены в табличной форме в отдельный текстовый файл и т.д.

В этой работе применим двухэтапный подход. На первом этапе отобразим результаты статического расчета в виде градиентной (цветовой) заливки модели объекта в соответствии

с перемещениями их сечений. Для этого в меню *Results|Create|Fringe* выберем *Displacement Translational*.

На втором этапе, дополнительно укажем на рисунке числовые значения перемещения интересующих нас узлов. Номера узлов перечисляются в поле ввода *Nodes* меню *Results|Create|Cursor|Scalar*. Итоговый результат будет иметь вид аналогичный представленному на рисунке 1.6. Кнопкой меню *Copy To Clipboard* производится копирование окна результатов в буфер обмена компьютера. Окно результатов необходимо сохранить и предоставить преподавателю в отчете по работе.

7.1. Передача результатов анализа из MSC Nastran в MSC.Patran.

[**Action:** Access Results] → [**Object:** Attach XDB] → [**Method:** Result Entities] → [**Job Name:** balka1] → [**Select Results File:** st1D.xdb] → [OK] → [Apply].

[Analysis]	
Action:	Access Results
Object:	Attach XDB
Method:	Result Entities
Job Name:	st1D
Select Results File:	st1D.xdb
	OK
	Apply

7.2. Обработка результатов.

[Results] → [**Action:** Create] → [**Object:** Quick Plot] → [**Select Results Cases:** Default, A1] → [**Select Fringe Result:** Bar Stress, Axial] → [**Select Deformation Result:** Displacements, Translational] → [Apply].

[Results]	
Action:	Create
Object:	Quick Plot
Select Results Cases:	Default, A1
Select Fringe Result:	Bar Stress, Axial
Select Deformation	Displacements, Translational
	Apply

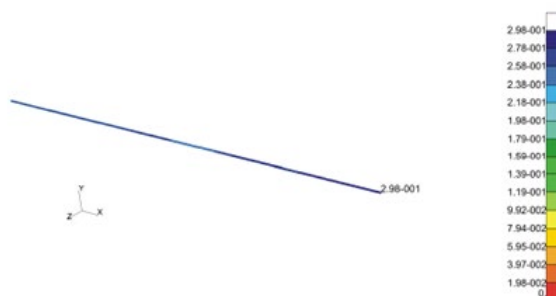


Рис 1.6. Графическое представление расчетов на жесткость одномерной модели

7.1. Вывод графика функции напряжений по длине стержня и перемещений

[Results]	
Action:	Create
Object:	Graph
Method:	Y vs X
Select Y Result:	Bar Stress, Axial
Quantity:	X Component
Select Coordinat Axis:	X (mm)
Иконка Target Entities	
Target Entities:	Path
Select Path Curves:	Curve 1:4 (Выделить мышью все элементы)
Point Per Segment:	100
Addtl. Display Control:	Curves
Иконка Display Attributes	
XY Window Name:	STRESSES
Иконка Plot Options	
Save Graph Plot as	Str_4FE
	Apply

7.2. Вывод графика функции перемещения по длине стержня

[Results]	
Action:	Create
Object:	Graph
Method:	Y vs X
Select Y Result:	Displacements, Translational
Quantity:	X Component
Иконка Target Entities	
Target Entities:	Path
Addtl. Display Control:	Curves
Select Path Curves:	Curve 1:4
Point Per Segment:	100
Иконка Display Attributes	
XY Window Name:	DISPLACEMENTS
Иконка Plot Options	
Save Graph Plot as	Disp_4FE
	Apply

1.4. Верификационный расчет

Под действием внешних сил F в материале бруса возникают внутренние продольные силы N , равные по модулю и противоположные по направлению внешним силам (рисунок 1.7). В поперечных сечениях бруса действует нормальное напряжение σ_x , равное отношению продольной силы N к площади поперечного сечения

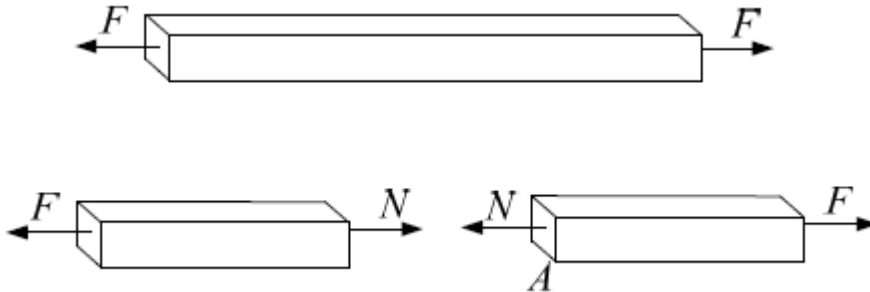


Рис 1.7. Внешние силы F и внутренние силы N при растяжении бруса

При линейных деформациях относительная продольная деформация ϵ_x , задаваемая отношением абсолютной продольной деформации бруса напряжению σ_x

$$\epsilon_x = \frac{\Delta l}{l}, \quad \epsilon_x = \frac{\sigma}{E},$$

где E - модуль нормальной упругости (модуль Юнга), константа, характеризующая упругие свойства материала бруса. Отметим, что закон Гука (0.2) справедлив при нормальных напряжениях, не превышающих предела пропорциональности. Из (0.2) получаем расчетную формулу для абсолютной продольной деформации Δl :

$$\Delta l = \frac{\sigma}{E} l = \frac{Nl}{EA}$$

Подставляя в (0.3) числовые значения параметров N, l, E, A и, принимая во внимание $N = F$, получим точное значение деформации бруса Δl . Относительные погрешности δ_{1D}, δ_{3D} компьютерного расчета одномерной и трехмерной моделей бруса находятся по формулам

$$\delta_{1D} = \frac{(\Delta l_{1D} - \Delta l)}{\Delta l} \cdot 100\%, \quad \delta_{3D} = \frac{(\Delta l_{3D} - \Delta l)}{\Delta l} \cdot 100\%$$

1.5. Содержание отчёта

Отчет должен содержать:

- распечатку окна результатов в среде MSC.Patran|Nastran · верификационный расчет с полученными точными значениями нормального напряжения σ_x и продольной деформации бруса Δl
- относительные погрешности δ_{1D}, δ_{3D} расчета деформации конечноэлементной модели одноосного напряженного состояния бруса при двух вариантах его разбиения на конечные элементы.

1.6. Вопросы для самопроверки

1. Какие геометрические модели строились в данной работе
2. Какие конечноэлементные модели строились в данной работе
3. Какие основные типы конечных элементов применялись
4. Перечислите основные этапы компьютерного решения задачи в MSC.Patran|Nastran
5. В какой системе единиц задавались геометрические размеры и нагрузка модели
6. Приведите примеры согласованных систем единиц
7. Каким образом и в каком из двух модулей (Nastran|Patran) строится геометрическая модель в CAE системе
8. Какой модуль CAE системы представляет результаты расчёта конструкций в графической форме
9. Опишите основные этапы препроцессорной подготовки модели
10. В какой системе размерностей назначают материалы элементам модели

Дополнительная информация

По желанию !!!!!: изменение атрибутов дисплея !!!

При загрузке MSC Patran по умолчанию экран имеет темный фон и для темного экрана назначены все цвета для визуализации номеров кривых, узлов, элементов и другой цифровой информации геометрической и конечно-элементной модели. При желании работать со светлым фоном экрана (для уменьшения расхода картриджа при последующей распечатке результатов расчета) некоторые цвета элементов этих моделей необходимо изменить с целью наилучшего восприятия графической информации на светлом фоне. Для этого возможны изменения при выполнении следующих команд.

Команды	
На панели Viewport - Modify... Attributes	для изменения темного фона экрана на светлый Background color на белый цвет Apply
В главном меню выбираем Display –Entity Color/Label/Render и в открывшейся панели изменяем цвета элементов геометрической модели	Изменяем цвета для изображения на светлом фоне экрана Point Curve
На этой же панели устанавливаем размер шрифта меток (Label Font Size)	14
	Apply
	Cancel
На панели Misc... нажимаем иконку для отображения точек на экране	Point Size
В главном меню выбираем Display LBC/Elem.Prop./Attributes и в открывшейся панели изменяем цвета меток граничных условий	Изменяем цвета для изображения на светлом фоне экрана Displacement Force Pressure Total Load
На этой же панели устанавливаем размер метки вектора, нажав на клавишу Vector/Filters	На одноименной панели в окне ввода Scalar Factor вводим число 0,2 (по умолчанию было -0,1)
	Apply
Закрываем панель Vector Attributes	Cancel
	Apply
Закрываем панель LBC/Elem.Prop./Attributes	Cancel