

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

А. О. Шкловец

**Конструкционный анализ методом конечных элементов
в САЕ-пакете Ansys Mechanical**

Электронное учебное пособие

САМАРА
2012

УДК 621.787

Автор: **Шкловец Александр Олегович**

Рецензент: декан факультета двигателей летательных аппаратов д-р. техн. наук,
проф. А. И. Ермаков

Компьютерная верстка А. О. Шкловец
Доверстка А. О. Шкловец

Шкловец, А. О. Конструкционный анализ методом конечных элементов в САЕ-пакете Ansys Mechanical [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / А.О. Шкловец; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (2,245 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В учебном пособии описана работа в программном пакете для конечно-элементного анализа Ansys. Приведены примеры расчета на прочность различных конструкций. Рассмотрены расчеты с применением балочных, плоских и объемных конечных элементов. Описаны основные приемы по построению геометрии модели, генерации сетки конечных элементов, описаны различные типы нагрузок, прикладываемые в Ansys. Учебное пособие предназначено для студентов 2-го курса факультета двигателей летательных аппаратов, обучающихся по специальности 160301.65 «Авиационные двигатели и энергетические установки», может быть использовано студентами, выполняющими различные прочностные расчеты в рамках курсового и дипломного проектирования.

Разработано на кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

Оглавление

Введение	5
1 Подготовка к работе и запуск пакета	6
1.1 Создание папки на диске	6
1.2 Запуск Ansys	6
2 Расчет на прочность консольной балки с шарнирным подкосом	8
2.1 Создание узлов конечных элементов	8
2.2 Задание типа конечного элемента и свойств материала.....	9
2.3 Генерация конечных элементов по созданным узлам	9
2.4 Ориентация модели и управление видом.....	10
2.5 Приложение граничных условий, запуск на расчет	11
2.6 Анализ результатов расчета	12
2.7 Создание геометрической модели средствами Ansys.....	12
2.8 Генерация конечных элементов по линиям.....	13
2.9 Анализ результатов расчета	14
3 Расчет на прочность балки с двутавровым сечением и распределенной нагрузкой	15
3.1 Построение точек и линий, определяющих балку	15
3.2 Создание конечно-элементной модели	16
3.3 Приложение граничных условий и нагрузки.....	18
3.4 Запуск на расчет и анализ результатов расчета	19
4 Расчет связанных стержней, нагруженных температурной нагрузкой и растягивающей силой.....	20
4.1 Построение геометрической модели	20
4.2 Тип конечного элемента и свойства материала	21
4.3 Граничные условия и нагрузка	22
4.4 Запуск на расчет и вывод результатов	22
5 Создание поверхностей в Ansys	23
5.1 Создание поверхности по точкам	23
5.2 Уничтожение поверхности	23
5.3 Создание поверхности по линиям	23
5.4 Создание поверхности операцией, подобной натягиванию кожи на каркас.....	24
5.5 Создание поверхности вращением линии вокруг оси	25
5.6 Создание поверхности в виде сегмента круга или кольца	27
5.7 Создание поверхности в виде круга или кольца	27
6 Построение сетки оболочечных конечных элементов	29
6.1 Выбрать тип конечного элемента:	29

6.2 Задать свойства материалов и толщину элемента:	29
6.3 Построить поверхность в виде прямоугольника:	29
6.8 Измельчение сетки оболочных конечных элементов	30
6.9 Очищение поверхности от сетки оболочных конечных элементов	31
7 Объёмная сетка конечных элементов	34
7.1 Создание секторной объемной модели диска	34
7.2 Вырезание паза в ободке диска.....	37
7.3 Подготовка модели к генерации сетки.....	39
7.4 Генерация сетки конечных элементов	40
7.5 Граничные условия и приложение нагрузки	44
8 Определение собственных форм и частот колебаний крыла планера	47
8.1 Построение геометрии крыла.....	47
8.2 Создание конечно-элементной модели	48
8.3 Граничные условия и запуск на расчет	49
8.4 Анализ результатов расчета	50
Заключение	52
Список использованных источников	53

Введение

Многие задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться исследователям и инженерам не поддаются аналитическому решению либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию. Зачастую единственной возможностью экспрессного анализа инженерной проблемы является компьютерное математическое моделирование. Прогресс в разработке численных методов позволил существенно расширить круг задач, доступных анализу. Полученные на основе этих методов результаты используются практически во всех областях науки и техники.

В анализе конструкций находит свое наиболее важное применение метод конечных элементов. Причем в конструкционном анализе под конструкциями понимаются мосты, здания, корпуса морских судов, узлы самолетов, детали машин, поршни, инструменты – словом, любые инженерные конструкции.

Первичными переменными, которые вычисляются в ходе конструкционного анализа, являются смещения. В дальнейшем, исходя из вычисленных смещений в узлах сетки, определяются и другие важные параметры – такие как напряжения, упругая и пластическая деформация и пр.

В данном учебном пособии основные положения компьютерного инженерного анализа рассмотрены в примерах, решенных с помощью программы Ansys Mechanical, которая относится к классу «тяжелых» систем и имеет расширенные вычислительные возможности.

1 Подготовка к работе и запуск пакета

1.1 Создание папки на диске

1) Пуск – Программы – Проводник – Все папки– Указанный преподавателем диск – Содержимое папки 'Имя диска: – Правая клавиша мыши– Создать – Папка

2) Ввести имя папки (Ф.И.О. студента).

3) Закрывать меню.

1.2 Запуск Ansys

1) Пуск – Программы –Ansys 13.0 – Mechanical APDL Product Launcher .

Выпадающее меню представлено на рис. 1.1. В графе Working Directory указать путь к созданной ранее рабочей папке. В графе Job Name ввести имя задачи (можно оставить по умолчанию). Нажать Run.

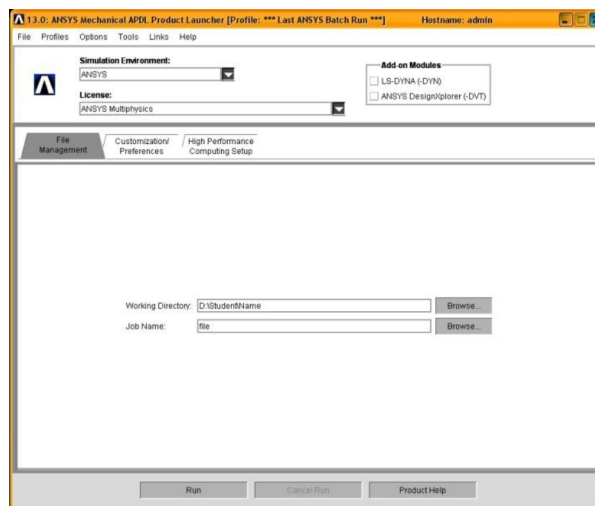


Рис. 1.1. Меню запуска Ansys Mechanical

2) После входа в интерактивный режим диалог пользователя с программой осуществляется через многооконный «Графический интерфейс пользователя (GUI)» (рис. 1.2). Кратко опишем некоторые из них.

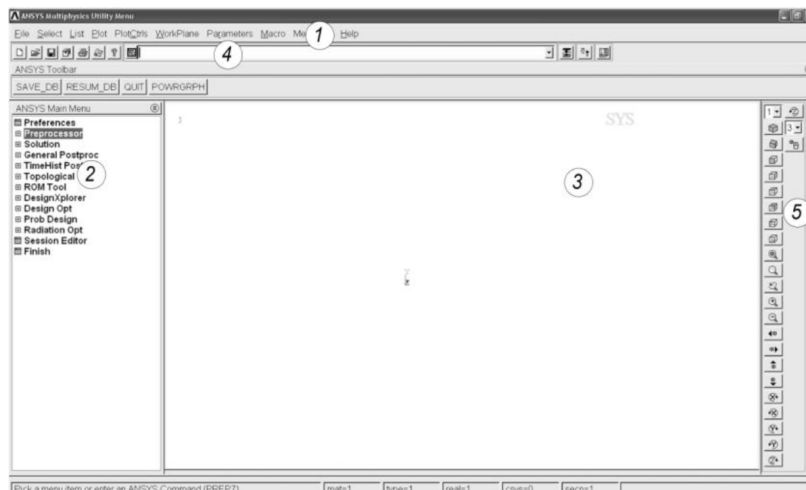


Рис 1.2. Графический интерфейс программы

Верхнее горизонтальное окно 1 представляет собой *Меню утилит (Utility Menu)*, далее UM), содержит набор часто используемых процедур по работе с моделью, такие как сохранение и запуск моделей, отображение различных элементов модели, работа с координатными плоскостями и т.д., по мере знакомства с программой вы ознакомитесь с командами, содержащимися в UM.

Окно 2 представляет собой Главное меню (*Ansys Main Menu*, далее MM). Оно содержит основные функции и этапы выполнения программы, которые группируются в располагаемые сбоку всплывающие (динамические) меню, вид которых зависит от продвижения по программе.

Окно 3 является Графическим окном. Оно представляет собой область для вывода такой графической информации, как конечно-элементная модель или графики результатов анализа.

Окно 4 представляет собой Окно ввода (*Ansys input*) – область для набора команд и вывод сообщений в *Output Window*. Имеется возможность обратиться к списку введенных ранее команд. Команды дублируют действия, проводимые в интерактивном режиме.

Окно 5 позволяет управлять положением геометрии в пространстве, приближать и удалять модель, вращать и т.д.

2 Расчет на прочность консольной балки с шарнирным подкосом

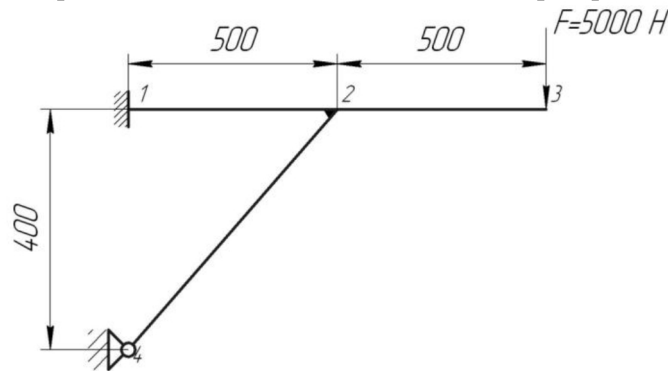


Рис. 2.1. Расчетная схема консольной балки

2.1 Создание узлов конечных элементов

1) Конечные элементы создаются по узлам, в зависимости от типа элемента, для его создания необходимо задать от 1-го до 20-и узлов. В данной задаче используется балочный конечный элемент (тип Beam)

2) Создайте узлы, определяющие балку: Main Menu – PreProcessor – Modeling – Create – Nodes – In Active CS. В появившемся окне вводите координаты узлов:

	x	y	z
1	0	0	0
2	0.5	0	0
3	1	0	0
4	0	-0.4	0

В графе NODE вводится номер узла, причем если оставить графу пустой, номер присвоится автоматически.

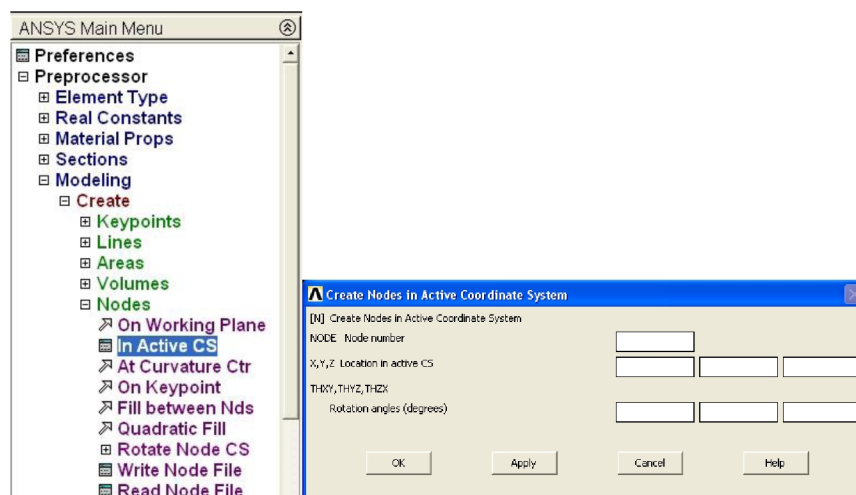


Рис. 2.2. Ввод координат узлов

2.2 Задание типа конечного элемента и свойств материала

1) Тип элемента. Заходите MM – Preprocessor – Element Type – Add/Edit/Delete. Выбирайте тип элемента Beam 188 – ОК. Необходимо определить тип поперечного сечения балки, в данной задаче рассмотрим прямоугольное сечение. Заходите MM – Preprocessor – Sections – Beam – Common Sections. Тип сечения по умолчанию прямоугольник, ширина $B=0,05$ м, высота $H=0,08$ м

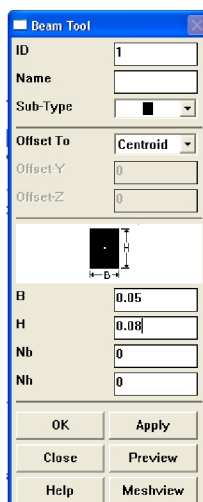


Рис. 2.3. Форма поперечного сечения элемента

2) Свойства материала. MM – Preprocessor – Material Props – Material Models. Для расчета достаточно задать плотность материала, модуль упругости и коэффициент Пуассона. Задать: модуль упругости $E_X=2 \cdot 10^{11}$ (Па); плотность $DENS = 7800$ (кг/м³); коэффициент Пуассона $\nu_{XY}=0,3$;

2.3 Генерация конечных элементов по созданным узлам

1) Задайте атрибуты создаваемых конечных элементов: MM – PreProcessor – Meshing – Mesh Attributes – Default Attrs

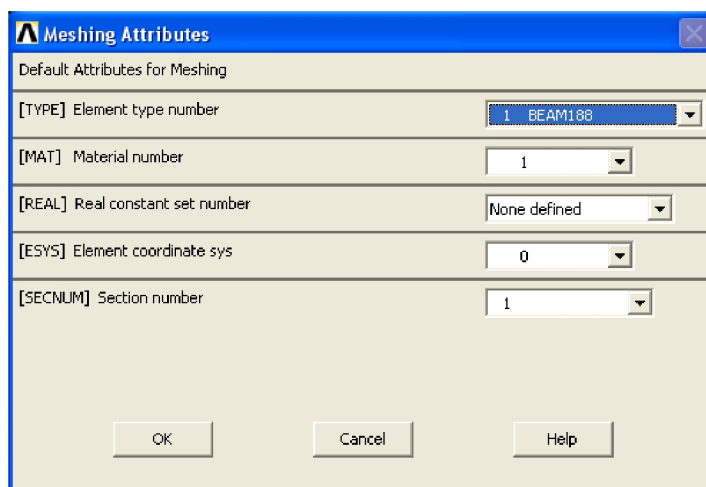


Рис. 2.4. Атрибуты конечных элементов

В графе Type выставляется тип конечного элемента, который будет создаваться по узлам, в графе MAT номер материала, в графе SECNUM номер поперечного сечения балочного элемента. Оставляйте в данной задаче все по-умолчанию.

2) Создайте по полученным узлам конечные элементы: MM – PreProcessor – Create – Elements – Auto Numbered – Thru Nodes. Выбирайте по два узла, начиная с 1-2. Меню выбора узлов представлено на рис. Для переключения между режимом выбора и отмены выбора нажимайте правую кнопку мыши (ПКМ), в окне ввода можно вводить номера узлов, которые необходимо выбрать, для сброса выбора нажмите кнопку Reset.

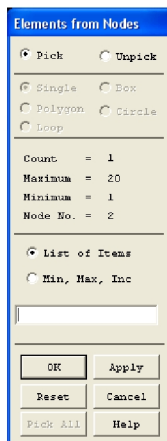


Рис. 2.5. Меню выбора узлов

Чтобы отобразить конечные элементы балочного типа необходимо сделать следующее:
UM – PlotCtrls – Style – Size and Shape – Display of Element – On

В результате должна получиться следующая конечно-элементная модель:

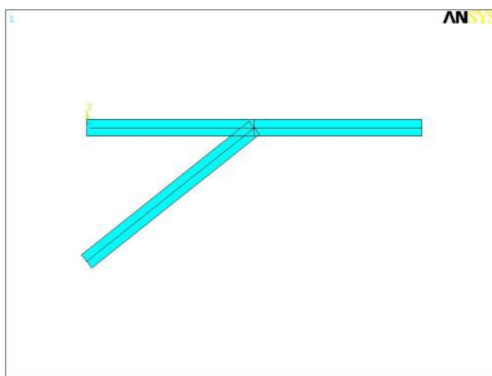


Рис. 2.6. Конечно-элементная модель балки

2.4 Ориентация модели и управление видом

1) Для установки ориентации модели, вращения, приближения и удаления заходите UM–Pan zoom rotate (значок рядом со значком сохранения модели). В выпадающем меню можно выставлять вид на модель (Top, Front и т.д.), увеличивать отдельные участки при помощи

выделения рамкой (Zoom, Box Zoom), включив Dynamic Mode вращать модель, зажав правую кнопку мыши (ПКМ), вписать модель в экран нажав кнопку FIT.

2.5 Приложение граничных условий, запуск на расчет

1) Закрепление модели. Заходите Prpr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Displacement – On Nodes. Выбирайте узел 4 (шарнирное закрепление) – Apply. В выпадающем меню выбрать UX, UY (запрет перемещения вдоль выбранных осей, разрешение вращения)

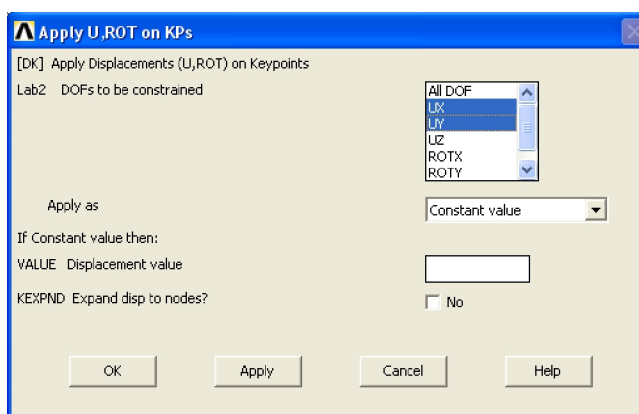


Рис. 2.7. Моделирование шарнирного закрепления

Далее выбирайте узел 1, All DOF – запрет любых перемещений, жесткая заделка.

2) Приложение нагрузки. Заходите Prpr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Force/Moment – On Nodes. Выбирайте узел 3. Направление силы вдоль оси Y в противоположном направлении, значение -10000 Н (рис. 2.7)

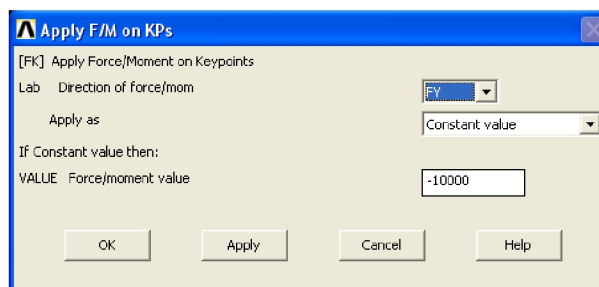


Рис. 2.8. Приложение силы к точке

3) Запуск на расчет. Установка типа расчета: Main Menu – Solution – Analysis Type – New Analysis – Static. Запускайте модель на расчет Solution – Solve – Current LS – OK.

2.6 Анализ результатов расчета

1) Заходите Main Menu – General Postproc – Plot Results – Contour Plot – Nodal Solu. Отобразите эквивалентные напряжения в конструкции: Stress – von Mises stress

2) Отобразите суммарные перемещения в модели, наложенные на начальную форму конструкции: Main Menu – General Postproc – Plot Results – Contour Plot – Nodal Solu DOF Solution – Displacement Vector Sum. В графе Undisplaced shape Key поставьте Deformed shape with undeformed model.

Удалите созданные узлы и конечные элементы. Заходите Preprocessor – Modeling – Delete – Elements – Pick all – Ok, затем Preprocessor – Modeling – Delete – Nodes – Pick all – Ok.

2.7 Создание геометрической модели средствами Ansys

1) Создайте начальную и конечную точки, определяющие балку: MM – PreProcessor – Modeling – Create – Keypoints in Active CS. В появившемся окне вводите координаты точек:

	x	y	z
1	0	0	0
2	0.5	0	0
3	1	0	0
4	0	-0.4	0

В графе NPT Keypoint number вводится номер точки, причем если оставить графу пустой, номер присвоится автоматически.

2) Построить по полученным точкам три линии. Заходите MM – PreProcessor – Modeling – Create – Lines – Lines – Straight Line. В выпадающем меню содержатся подсказки, которые показывают, сколько всего нужно выделить точек для данной операции, и сколько максимально доступно.

При выборе точек графа Count будет меняться от 0 до 2. Кроме того, точки можно выбрать не «кликая» по ним, а вписав их номера через запятую в графу List of Items. Выбрать построенные точки. Отображение номеров линий и точек доступно в UM – PlotCtrls – Numbering. Поставить напротив KP и Line галочки.

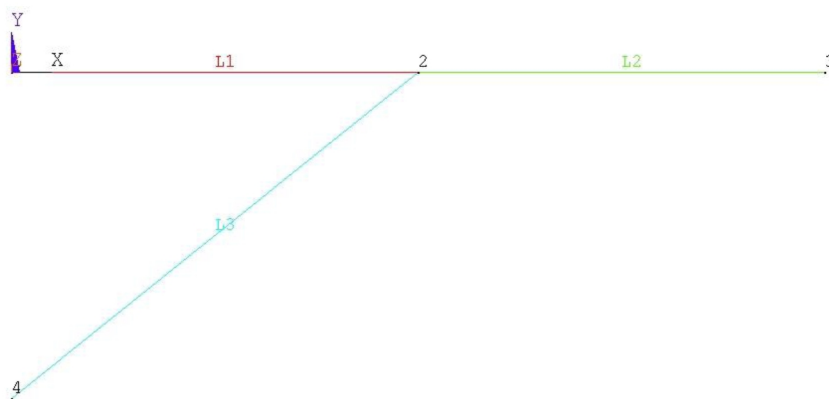


Рис. 2.9. Геометрическая модель в Ansys

2.8 Генерация конечных элементов по линиям

1) Присвоение атрибутов геометрической модели. Заходите MM – PrPr – Meshing – Mesh Attributes –Picked Lines. Присваиваем построенным линиям тип элемента, сечения и номер материала (данную операцию можно не делать в случае, если для всех частей геометрической модели будут использованы одинаковые свойства, а тип элемента, сечения и материала единственный). Кроме того, можно задать ориентационную точку (Pick Orientation Point) для поворота сечения относительно оси симметрии

2) Для задания количества элементов по линиям заходите MM – PrPr – Meshing – Size Cnrtls – ManualSize– Lines. Выбирайте L1, число элементов задается в графе NDIV, введите 30 – Apply. Для L2 NDIV=30, для L3=40. Таким образом, при генерации конечных элементов их число будет равно введенным параметрам NDIV

3) Для генерации конечных элементов по линиям заходите MM – PrPr– Meshing–Mesh–Lines–Pick All. Чтобы отобразить конечные элементы балочного типа необходимо сделать следующее: UM – PlotCtrls – Style – Size and Shape –Display of Element – On



Рис. 2.10. Конечно-элементная модель

Закрепляем модель и запускаем на расчет, сделайте это самостоятельно, пользуясь предыдущим примером.

2.9 Анализ результатов расчета

1) Заходите Main Menu – General Postproc – Plot Results – Contour Plot – Nodal Solu. Отобразите эквивалентные напряжения в конструкции: Stress – von Mises stress



Рис. 2.11. Эквивалентные напряжения в конструкции

2) Отобразите суммарные перемещения в модели, наложенные на начальную форму конструкции: Main Menu – General Postproc – Plot Results – Contour Plot – Nodal Solu DOF Solution – Displacement Vector Sum. В графе Undisplaced shape Key поставьте Deformed shape with undeformed model.

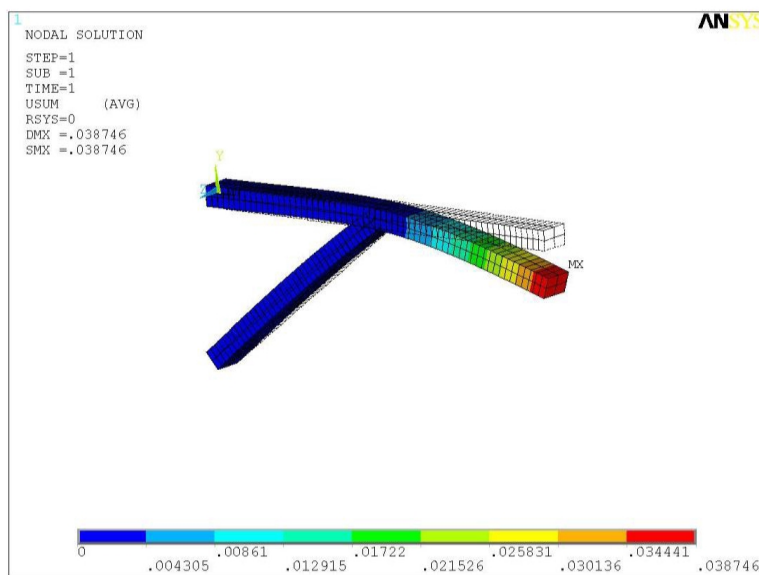


Рис. 2.12. Суммарные перемещения в конструкции

3 Расчет на прочность балки с двутавровым сечением и распределенной нагрузкой

Рассмотрим классическую задачу сопротивления материалов о прямом изгибе в одной плоскости упругой многопролетной балки с кусочно-постоянными изгибными жесткостями. Внешними силовыми факторами, вызывающими такой изгиб, могут являться сосредоточенные силы, моменты и распределенные нагрузки с кусочно-линейным изменением интенсивности.

3.1 Построение точек и линий, определяющих балку

1) В качестве примера возьмем балку с двутавровым поперечным сечением (рис. 3.1).

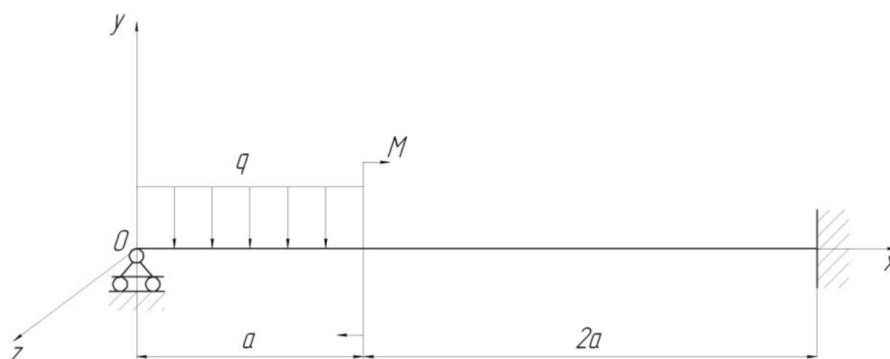


Рис. 3.1. Геометрия балки

Данная балка отнесена к декартовой системе координат $Oxyz$ так, что ось x направлена вдоль оси балки, проходящей через центры тяжести поперечных сечений. Оси y и z направлены вдоль главных осей инерции сечения, а начало отчета расположено в левом конце балки. Прямой поперечный изгиб здесь осуществляется в плоскости Oxy . Характеристики поперечного сечения (рис. 3.2) возьмем из ГОСТ 19425-74, выберем балку с номером профиля 20С:

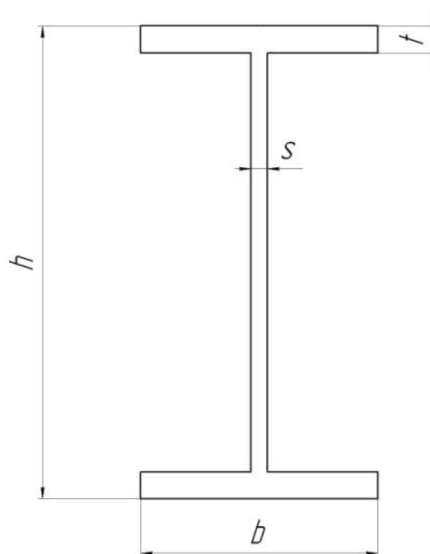


Рис. 3.2. Двутавровое сечение

Таблица 3.1 – Исходные данные к расчету

Параметры балки	a, м	q, кН/м	M, кН·м	
	2	40	20	
Параметры сечения	h, мм	b, мм	S, мм	t
	200	100	7	11,4

2) Создайте начальную и конечную точки, определяющие балку, а также точку, до которой прикладывается погонная нагрузка: MM – PreProcessor – Modeling – Create – Keypoints in Active CS. В появившемся окне введите координаты точек:

	x	y	z
1	0	0	0
2	2	0	0
3	6	0	0

3) По полученным точкам проведите два отрезка: MM – PreProcessor – Modeling – Create – Lines – Lines – Straight Line. Выбирайте точки 1 и 2, – Apply, затем 2 и 3 – OK

3.2 Создание конечно-элементной модели

1) Тип элемента. Заходите MM – Preprocessor – Element Type – Add/Edit/Delete. Выбирайте тип элемента Beam 188 – OK. Необходимо задать тип поперечного сечения. Заходите MM – Preprocessor – Sections – Beam – Common Sections, выберите двутавр в качестве типа сечения (рис. 3.3)

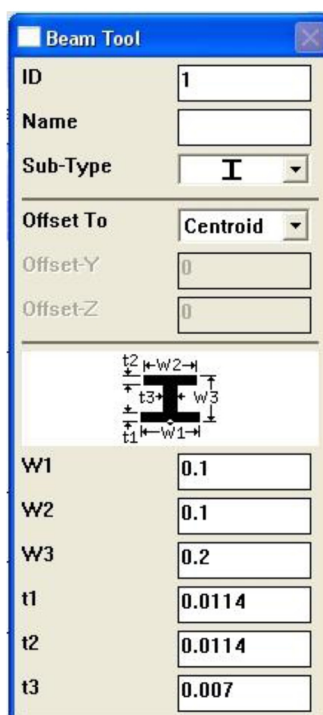


Рис. 3.3. Параметры двутавра

2) Свойства материала. MM – Preprocessor – Material Props – Material Models. Задать: модуль упругости $E_X=2 \cdot 10^{11}$ (Па); плотность $DENS = 7800$ (кг/м³); коэффициент Пуассона $PRXY=0,3$;

3) Для ориентации сечения балки в пространстве задается ориентационная точка. Для ориентации двутаврового сечения вдоль оси Y (рис. 3.4) создайте точку 4 (0,1,0).

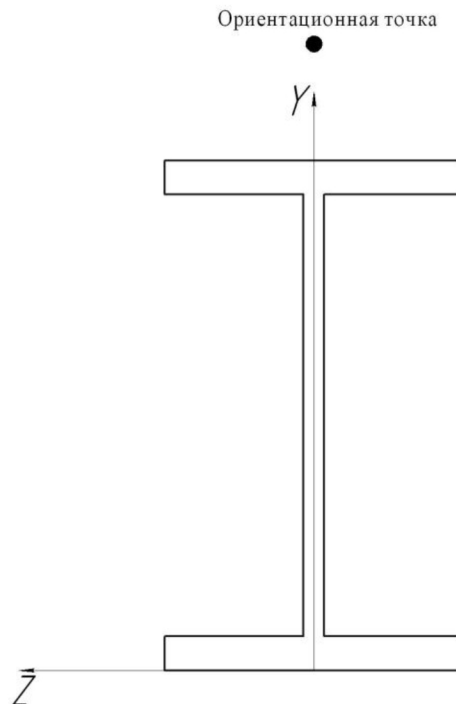


Рис. 3.4. Расположение ориентационной точки

4) Задайте атрибуты создаваемых конечных элементов: MM – PreProcessor – Meshing – Mesh Attributes – All Lines. В графе Pick Orientation Keypoint поставьте Yes. Выберите точку 4 в качестве ориентационной.

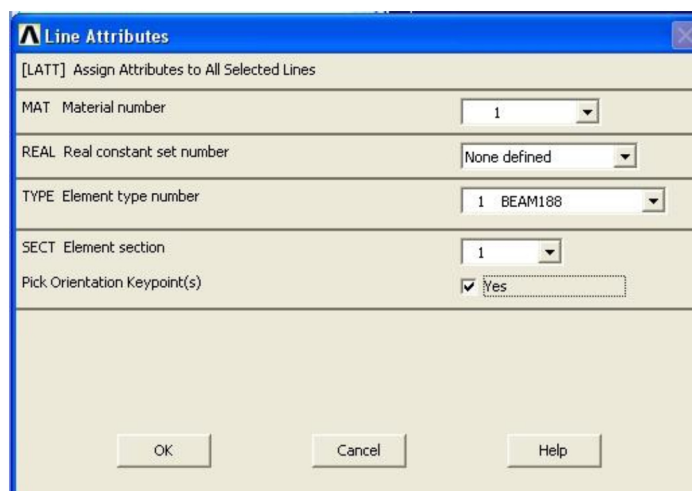


Рис. 3.5. Атрибуты конечных элементов

5) Задайте количество создаваемых элементов по линиям. MM – Prpr – Meshing – Size Cnrtls – ManualSize– Lines. Выбирайте L1, NDIV=10, – Apply. Для L2 NDIV=20

6) Сгенерируйте сетку конечных элементов: MM – Prpr– Meshing–Mesh–Lines–Pick All. Чтобы отобразить конечные элементы балочного типа необходимо сделать следующее: UM – PlotCtrls – Style – Size and Shape –Display of Element – On

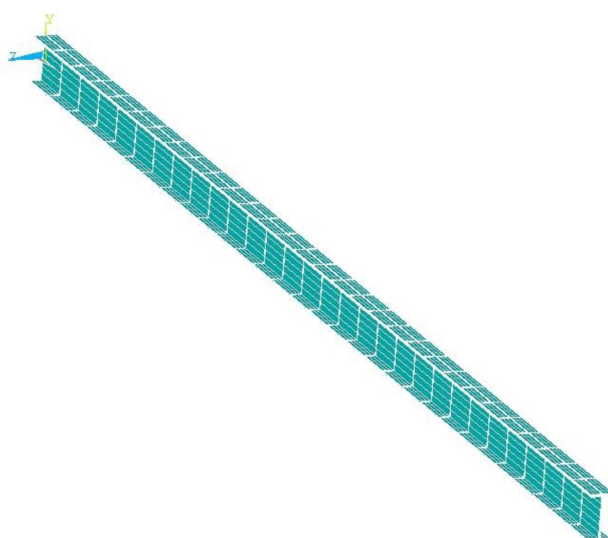


Рис. 3.6. Конечно-элементная модель балки

3.3 Приложение граничных условий и нагрузки

1) Смоделируйте шарнирно-колесную опору ($U_Y=U_Z=0$): Prpr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Displacement – On Keypoints. Выбирайте точку 1 – Apply. В выпадающем меню выбрать U_Y , затем выбрать U_Z . Смоделируйте жесткую заделку.): Prpr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Displacement – On Keypoints. Выбирайте точку 3 – All DOF – OK

2) Смоделируйте погонную нагрузку. Положительным направлением погонной нагрузки считается направление против оси OY. Выберите элементы, принадлежащие линии 1: UM – Select – Entities – Lines By Num/Pick – Line 1. Затем вместо Lines выбирайте Elements, Attached to Lines, Reselect (используется только выбранная линия) – OK (рис. 3.7). Теперь, нажав Plot Elements, вы увидите только выбранные элементы

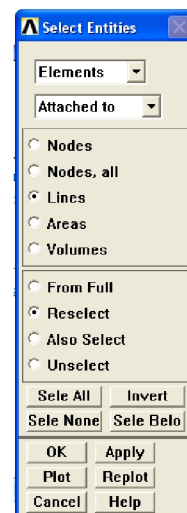


Рис. 3.7 – Выбор элементов

Для приложения нагрузки заходите:

PrPr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – On Beam – Pick All, ValI=40000 – OK. Выберите теперь скрытые линии и элементы: MM – Select – Entities – Everything

3) Приложите крутящий момент в точке. Положительным считается момент, направленный против часовой стрелки. Заходите Prpr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Force/Moment – On Keypoints , выбрать точку 2, задать $MZ=-20000$

3.4 Запуск на расчет и анализ результатов расчета

1) Запуск на расчет. Установите тип расчета: MM – Solution – Analysis Type – New Analysis – Static. Запускайте модель на расчет Solution – Solve – Current LS – OK.

2) Выведите на экран деформацию модели относительно оси OY (рис. 3.7), наложенную на недеформированную модель: Main Menu – General Postproc – Plot Results – Contour Plot – Nodal Solu – DOF Solution – Y-Component of displacement, в графе Undisplaced shape key Deformed shape with undeformed model

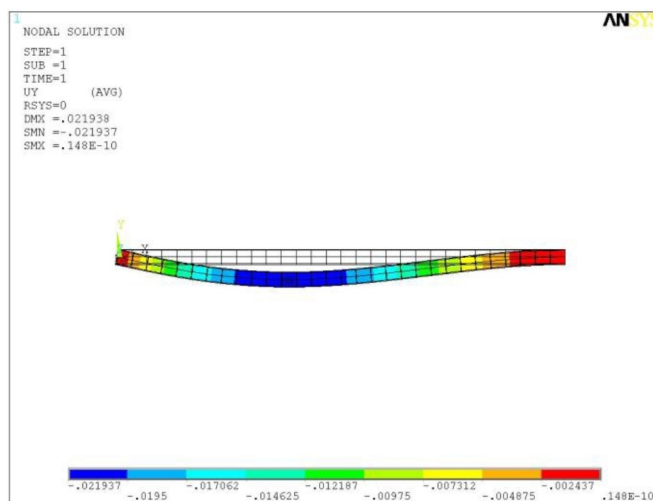


Рис. 3.8. Деформация модели относительно оси OY

3) Постройте эпюру перерезывающих сил Q_y . Перерезывающая сила в Ansys имеет противоположный знак по сравнению с принятым для эпюр перерезывающих сил. Пользуясь Help для элемента Beam 188 находим необходимые команды для задания эпюр. Для построения эпюры перерезывающей силы вводим в командную строку следующее:

```
ETABLE,QYI,SMISC,5
ETABLE,QYJ,SMISC,18
PLLS,QYI,QYJ
```

Для построения эпюры изгибающего момента вводим в командную строку следующее:

```
ETABLE,MZI,SMISC,2
ETABLE,MZJ,SMISC,15
PLLS,MZI,MZJ
```

4 Расчет связанных стержней, нагруженных температурной нагрузкой и растягивающей силой

Рассмотрим систему стержней, связанных между собой балкой:

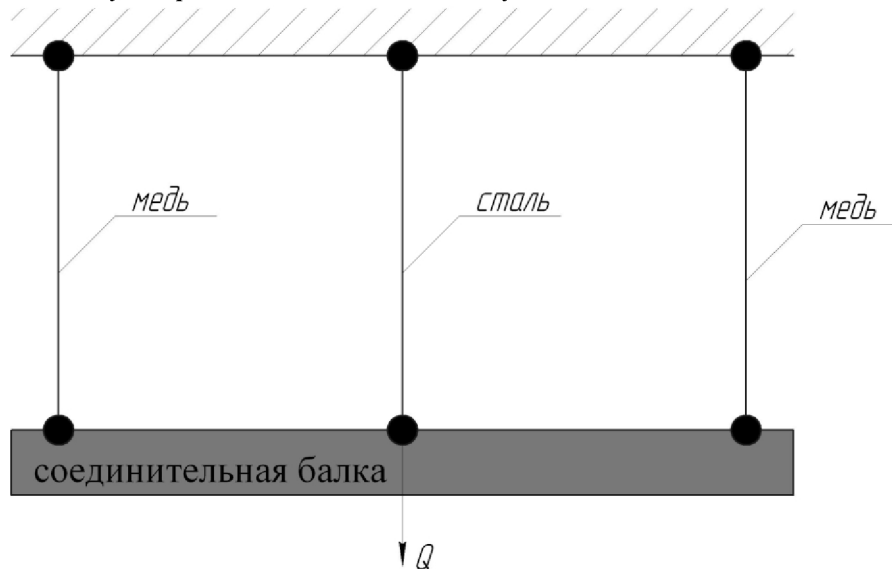


Рис. 4.1. Система стержней

Три стержня одинаковой длины соединены между собой балкой, центральный стержень нагружен растягивающим усилием $Q=10$ кН. Кроме того, стержни нагружены температурным градиентом $\Delta T = 200^\circ C$. Два стержня выполнены из меди, центральный стержень из стали

4.1 Построение геометрической модели

1) Создайте начальные и конечные точки, определяющие стержни: MM – PreProcessor – Modeling – Create – Keypoints in Active CS. В появившемся окне вводите координаты точек:

	x	y	z
1	0	0	0
2	0.04	0	0
3	0.08	0	0
4	0	0.08	0
5	0.04	0.08	0
6	0.08	0.08	0

2) Создайте отрезки между точками 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 (рис. 4.2)

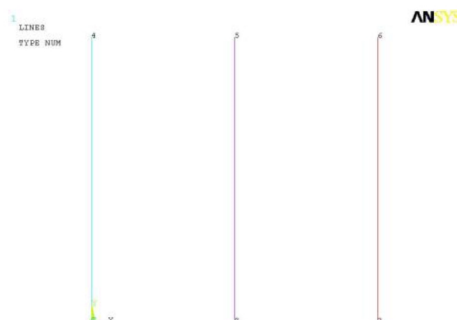


Рис. 4.2. Построение отрезков

MM – PreProcessor – Modeling – Create – Lines – Lines – Straight Line. Выбирайте точки 1 и 4, – Apply, затем 2 и 5 – Apply, затем 3 и 6 – OK

4.2 Тип конечного элемента и свойства материала

1) Задайте тип элемента. Заходите MM – Preprocessor – Element Type – Add/Edit/Delete. Выбирайте тип элемента Beam 188 – OK. Задайте тип поперечного сечения: MM – Preprocessor – Sections – Beam – Common Sections, выбирайте прямоугольное поперечное сечение, задав $B=H=0,001$ м

2) Задайте свойства меди и стали. MM – Preprocessor – Material Props – Material Models. Для стали: $E=2 \cdot 10^{11}$ (Па); плотность 7800 (кг/м^3); коэффициент Пуассона $0,3$; коэффициент температурного расширения (Structural – Thermal Expansion – Secant Coefficient) $\alpha=11,85 \cdot 10^{-6}$ $1/^\circ\text{C}$. Для меди: $E=1,2 \cdot 10^{11}$ (Па); плотность 8950 (кг/м^3); коэффициент Пуассона $0,3$; коэффициент температурного расширения $\alpha=16,8 \cdot 10^{-6}$ $1/^\circ\text{C}$

3) Задайте количество создаваемых элементов по линиям. MM – Prpr – Meshing – Size Cntrls – ManualSize– Lines. Для всех линий задайте 10 элементов

4) Сгенерируйте сетку конечных элементов на медных стержнях. Для этого заходите: Prpr – Meshing – Mesh Attribute – Picked Lines. Выбирайте линию 1 и 3, в появившемся окне в графе Material number поставьте 2 (номер материала меди), затем выберите линию 2 и поставьте номер материала 1. Создайте конечные элементы по линиям. Чтобы отобразить конечные элементы балочного типа необходимо сделать следующее: UM – PlotCtrls – Style – Size and Shape –Display of Element – On

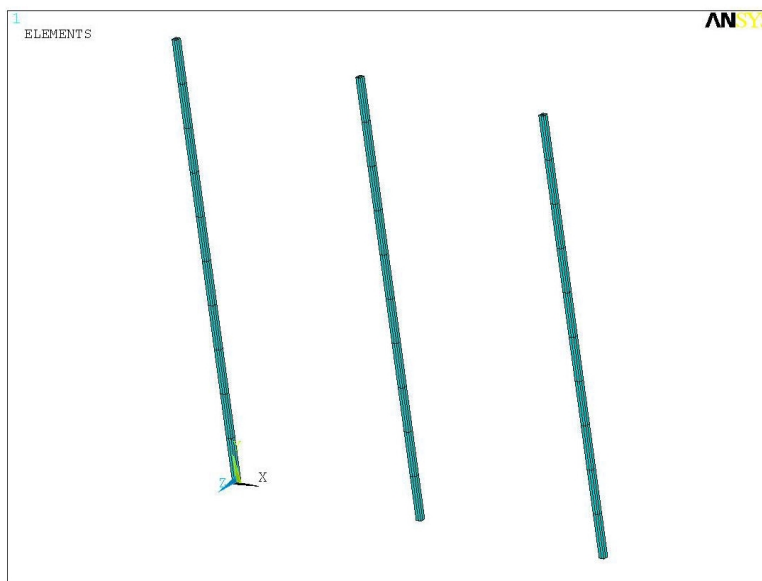


Рис. 4.3. Конечно-элементная модель

4.3 Граничные условия и нагрузка

- 1) Свяжите перемещения концов балок в направлении оси Y. MM – Prpr – Coupling/Ceqn – Couple DOFs. Выбирайте узлы с номерами 2,13, 24, NSET задать 1, Lab задать UY
- 2) Закрепите стержни в основании по всем степеням свободы: Prpr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Displacement – On Nodes. Выбирайте узлы 1, 12, 23 – All DOF – OK
- 3) Приложите температурную нагрузку Prpr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Temperature – On Lines, задайте температуру 300°C по всем линиям
- 4) Приложите сосредоточенную силу в направлении оси Y к концу стального стержня: Prpr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Force/Moment, выберет узел 24, задайте $F_Y=1000$

4.4 Запуск на расчет и вывод результатов

- 1) Запуск на расчет. Установка типа расчета: Main Menu – Solution – Analysis Type – New Analysis – Static. Запускайте модель на расчет Solution – Solve – Current LS – OK.
- 2) Сравните напряжения, возникающие в стальном стержне с напряжениями, возникающими в медном стержне. Выполните в командной строке следующий макрос:

```
FINISH
/POST1
STEEL_N = NODE (0.04,,,)
COPPER_N = NODE (0.08,0,0)
STEEL_E = ENEARN (STEEL_N)
COPPER_E = ENEARN (COPPER_N)
ETABLE,STRS_ST,LS,1
ETABLE,STRS_CO,LS,1
*GET,STRSS_ST,ELEM,STEEL_E,ETAB,STRS_ST
*GET,STRSS_CO,ELEM,COPPER_E,ETAB,STRS_CO
```

Самостоятельно проведите расчет следующей модели:

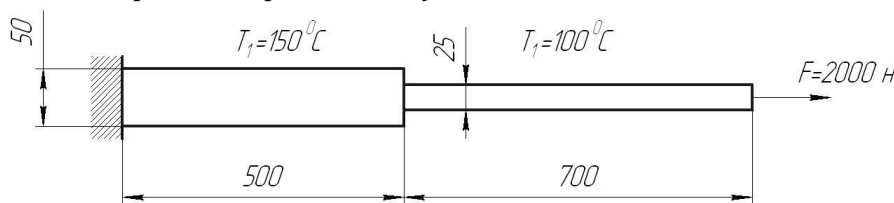


Рис. 4.4. Консольно закрепленный брус

Консольно закрепленный, неравномерно нагретый брус квадратного сечения нагружен осевой силой F . Определить максимальные растягивающие напряжения в заделке, а также осевое перемещение бруса.

5 Создание поверхностей в Ansys

5.1 Создание поверхности по точкам

- 1) Создать ключевые точки с координатами:

	x	y	z
1	0	0	0
2	1	0	0.1
3	1	1	-0.1
4	0	2	0.3

- 2) Создать поверхность по построенным точкам MM – PrPr – Create – Areas- – Arbitrary – through KPs.
- 3) Последовательно в порядке возрастания номеров выбрать курсором созданные точки.
- 4) Нажать ОК.

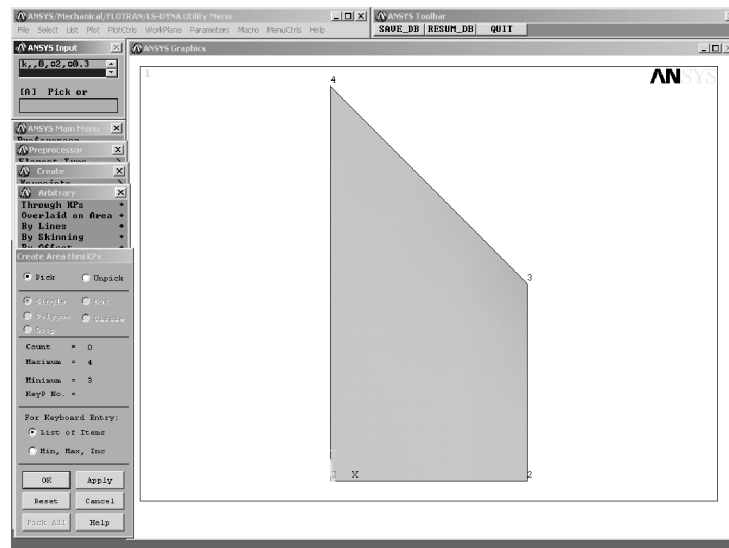


Рис. 5.1. Создание поверхности по точкам

5.2 Уничтожение поверхности

- 1) MM – PrPr – Delete – Areas only.
- 2) Выбрать курсором уничтожаемую поверхность.
- 3) Нажать ОК.

5.3 Создание поверхности по линиям

- 1) UM – Plot – Lines.
- 2) MM – PrPr – Create – Areas- Arbitrarys By lines.
- 3) Выбрать курсором линии, ограничивающие создаваемую поверхность.
- 4) Нажать ОК.
- 5) Уничтожение всех данных об объекте: UM – Files– Clear & Start New – OK – yes

5.4 Создание поверхности операцией, подобной натягиванию кожи на каркас

1) Создать ключевые точки с координатами:

	x	y	z
1	-2.0	0.0	0.0
2	-1.0	0.5	0.0
3	0.0	0.8	0.0
4	1.0	0.4	0.0
5	2.0	0.0	0.0

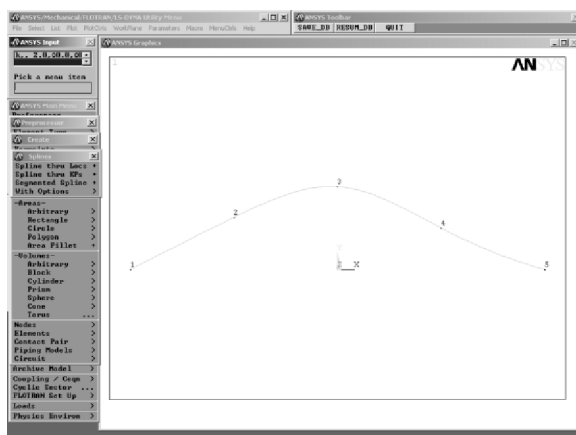


Рис 5.2. Первое сечение

2) Создать сплайн по точкам: MM – Create – Splines – Spline through KPs.

3) Создать ключевые точки с координатами:

	x	y	z
1	-2.0	-0.2	2.0
2	-1.0	0.6	2.0
3	0.0	0.8	2.0
4	1.0	0.5	2.0
5	2.0	-0.1	2.0

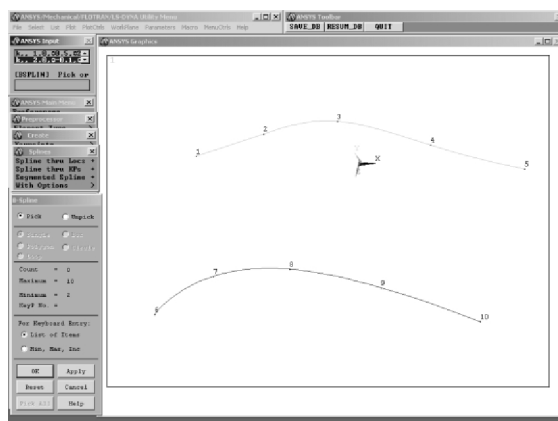


Рис 5.3. Второе сечение

- 4) Создать сплайн по точкам.
- 5) Создать ключевые точки с координатами:

	x	y	z
1	-2.0	0.1	3.0
2	-1.0	0.5	3.0
3	0.0	0.7	3.0
4	1.0	0.3	3.0
5	2.0	0.1	3.0

- 6) Создать сплайн по точкам.

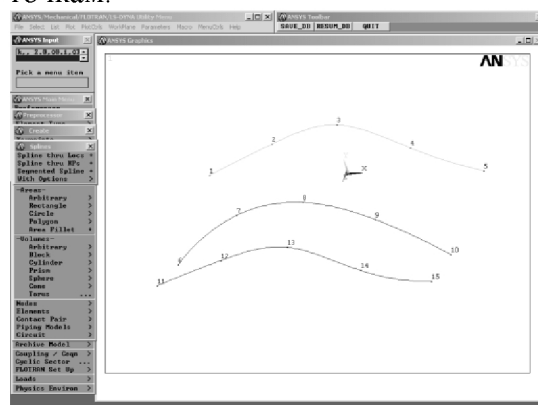


Рис 5.4.1 Третье сечение

- 7) Создать поверхность по сплайнам MM – Create – Areas- Arbitrary – By Skinning.
- 8) Последовательно выбрать курсором три созданных сплайна.
- 9) Нажать ОК.

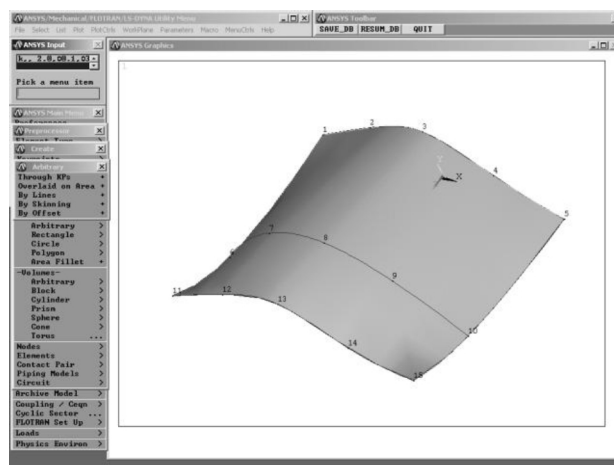


Рис 5.5. Поверхность по сечениям

- 8) Уничтожить все данные об объекте.

5.5 Создание поверхности вращением линии вокруг оси

- 1) Создать ключевые точки с координатами:

	x	y	z
1	-5	0	0
2	10	0	0
3	-5	2	0
4	-2	2	0
5	2	1	0
6	6	3	0
7	8	4	0
8	10	4.5	0

- 2) Создать прямые линии между ключевыми точками KP3...KP4 и KP4...KP5.
- 3) Создать сплайн по точкам KP5...KP8.
- 4) Вывести на экран номера линий:

UM – PlotCtrls – Numbering – LINE – ON – OK;

UM – Plot – LINE .

- 5) Выполнить сопряжение линий:

1. PrPr – Create – Line Fillet;
2. Выбрать курсором линии L2 и L3;
3. Нажать ОК.
4. Ввести величину радиуса сопряжения $RAD = 5$.
5. Нажать ОК.
6. UM – Plot– RePlot.

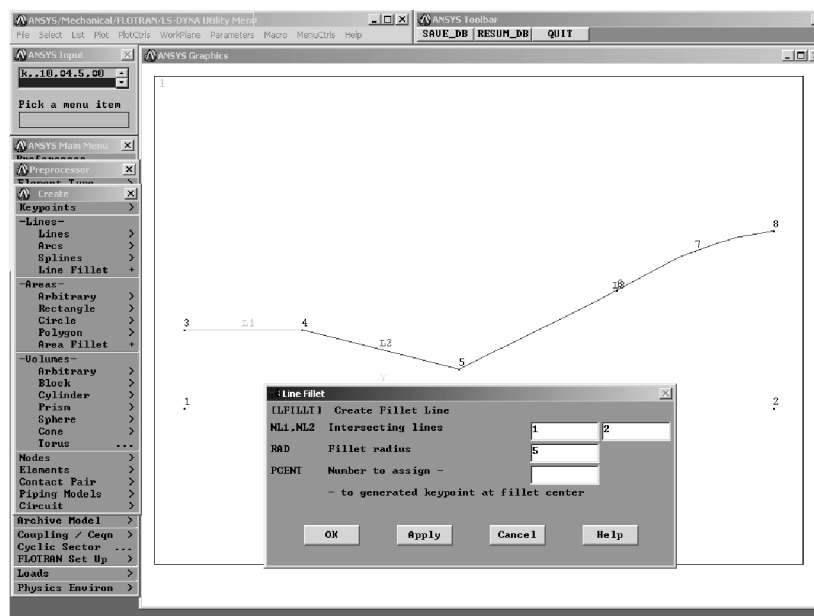


Рис. 5.6. Построение скруглений

- 6) Создать поверхность вращением линий:

1. PrPr – Modeling – Operate – Extrude – Lines- About Axis.
2. Нажать Pick All.

3. Выбрать точки КР1 и КР2, определяющие ось вращения.
4. Нажать ОК.
5. Задать $ARC=360$.
6. Нажать ОК.

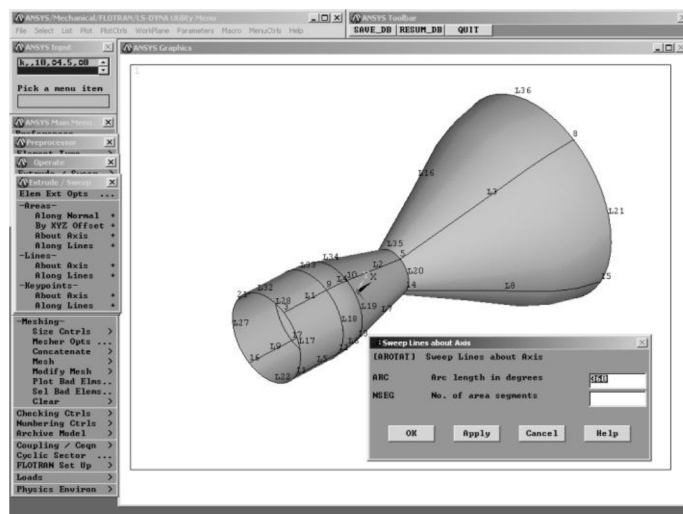


Рис 5.7. Поверхность вращения

- 7) Уничтожить все данные об объекте.

5.6 Создание поверхности в виде сегмента круга или кольца

- 1) PrPr – Modeling – Create – Areas – Circle – Partial Annulus.
- 2) Ввести координаты центра круга: $wpx = 1$; $wpy = 1$.
- 3) Ввести внутренний радиус сегмента $Rad - 1 = 1$ (Для создания сегмента круга необходимо задавать $Rad - 1 = 0$).
- 4) Ввести угол, под которым расположен относительно оси x радиус, определяющий правую границу сегмента: $Theta - 1 = 45$.
- 5) Ввести наружный радиус сегмента: $Rad - 2 = 2$.
- 6) Ввести угол, под которым расположен относительно оси x радиус, определяющий левую границу сегмента: $Theta - 2 = 180$.
- 7) Нажать ОК.
- 8) Уничтожить все данные об объекте.

5.7 Создание поверхности в виде круга или кольца

- 1) PrPr – Modeling – Create – Areas – Circle – Partial Annulus.
- 2) Задать координаты центра круга: $wpx = 1$; $wpy = 1$.
- 3) Задать внутренний радиус круга $Rad - 1 = 0$.

- 4) Задать внешний радиус круга $R_{ad} - 2 = 2$.
- 5) Нажать ОК.
- 6) Уничтожить все данные об объекте.

6 Построение сетки оболочечных конечных элементов

6.1 Выбрать тип конечного элемента:

- 1) PrPr – Element type – Add/Edit/Delete – Add;
- 2) Выбрать в левом окне Shell;
- 3) Выбрать в правом окне Elastic 4 node 181;
- 4) Нажать OK;
- 5) Нажать Close.

6.2 Задать свойства материалов и толщину элемента:

- 1) PrPr – Material Props – Material Models. Для стали: $E=2 \cdot 10^{11}$ (Па); плотность 7800 (кг/м³); коэффициент Пуассона 0,3
- 2) PrPr – Sections – Shell – Lay-up – Add/Edit. Задать: Thickness = 0,002 (м)
- 3) Нажать OK;

6.3 Построить поверхность в виде прямоугольника:

- 1) PrPr – Modeling – Create – Areas – Rectangle – By Dimensions;
- 2) Задать: $x1=-2$ (м); $x2=2$ (м); $y1=-1$ (м); $y2=1$ (м);
- 3) Нажать OK.

6.4 Построить круг радиуса $R=0.5$ м с центром, расположенным в точке с координатами: $x=0$; $y=0$:

- 1) PrPr – Modeling – Create – Areas – Circle – Solid Circle.
- 2) Вычесть поверхность A2 из поверхности A1 операцией Subtract. PrPr – Modeling – Operate – Booleans – Subtract – Areas

6.5 Присвоить построенной поверхности атрибуты:

- 1) PrPr –Meshing – MeshAttributes – Picked Areas. Выбрать построенную поверхность;
- 2) Нажать OK;
- 3) Задать: номер материала MAT=1; тип TYPE = 1; тип системы координат ESYS=0;
- 4) Нажать OK.

6.6 Задать размер ребра генерируемых конечных элементов

- 1) PrPr –Meshing – Size Cntrls – ManualSize – Lines – Picked Lines. Выбрать все линии, задать Size 0,001 м

6.7 Сгенерировать произвольную сетку конечных элементов:

- 1) PrPr – Meshing – Mesh – Areas– Free – Pick All.

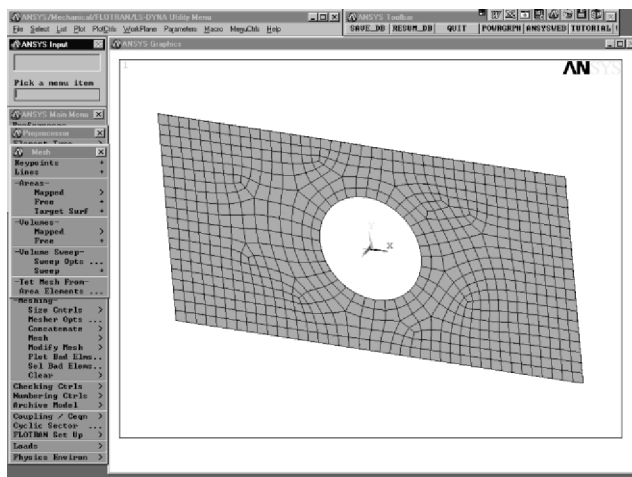


Рис. 2. Свободная сетка конечных элементов

6.8 Измельчение сетки оболочных конечных элементов

PrPr – Modify Mesh – Elements.

- 1) Поставить метку в окне Circle меню Refine mesh at elements.
- 2) Подвести курсор в центр отверстия, нажать левую клавишу и, не отпуская ее, охватить окружностью два слоя элементов.
- 3) Поставить метки в окнах Unpick и Single меню Refine mesh at elements.
- 4) Отменить курсором выбор случайно охваченных рамкой элементов (оставить только два слоя элементов).

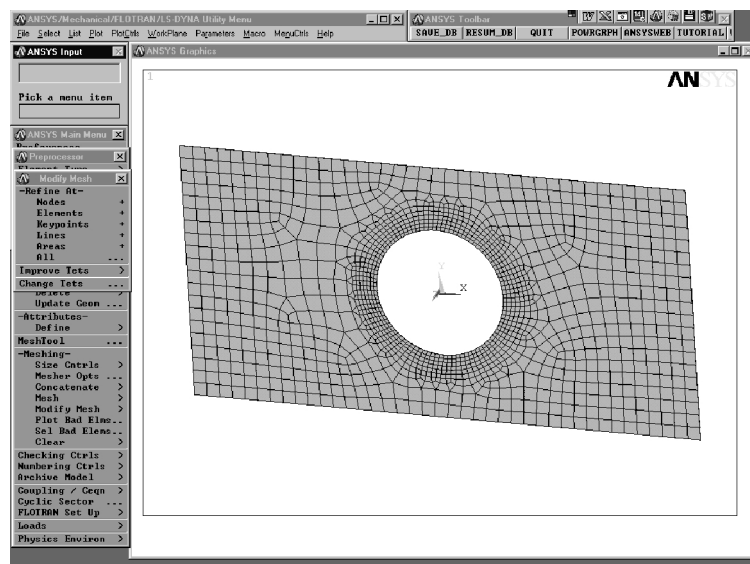


Рис 6.2. Измельчение сетки

- 5) Нажать ОК.
- 6) Задать уровень измельчения LEVEL=2.
- 7) Нажать ОК.

6.9 Очищение поверхности от сетки оболочных конечных элементов

- 1) PrPr – Meshing-Clear – Areas.
- 2) Выбрать поверхность, на которой уничтожается сетка элементов.
- 3) Нажать ОК.
- 4) UM – Plot – Areas.

6.10 Генерация упорядоченной сетки оболочных конечных элементов

- 1) Построить ключевую точку KP9 с координатами: $x=0$; $y=0$; $z=0$.
- 2) Построить прямые линии между точками KP9 и KP4, KP9 и KP3, KP9 и KP2, KP9 и KP1.
- 3) Вычесть с помощью операции Divide из поверхности A3 линии L11, L10, L9 и L12:
- 4) PrPr – Operate – Divide – Areas by line:
 1. Выбрать поверхность A3;
 2. Нажать ОК;
 3. Выбрать линии L9, L10, L11 и L12;
 4. Нажать ОК.

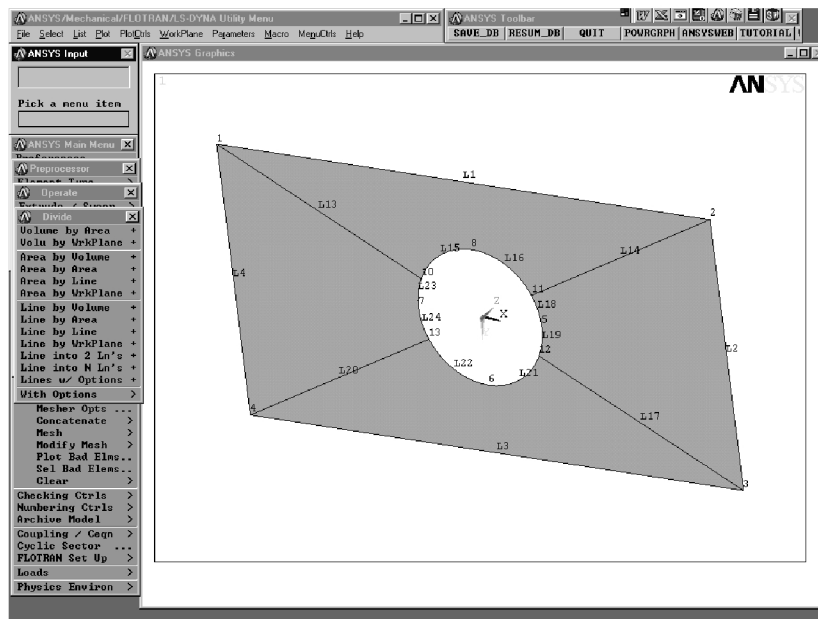


Рис. 6.3. Создание секущих линий

5) Выполнить по парное суммирование линий образующих окружность отверстия для уменьшения их числа:

1. PrPr – Operate – Add – Lines;
 2. Выбрать линии L15 и L16;
 3. Нажать ОК;
 4. Нажать Apply;
 5. Выбрать линии L18 и L19;
 6. Нажать ОК;
 7. Нажать Apply;
 8. Выбрать линии L21 и L22;
 9. Нажать ОК;
 10. Выбрать линии L24 и L23;
 11. Нажать ОК.
- 6) Задать количество элементов по линиям PrPr – Size Cntrl – All Lines.
1. Задать: NDIV=20.
 2. Нажать ОК.

7) Сгенерировать упорядоченную сетку конечных элементов PrPr – Mesh – -Areas-Mapped – 3 or 4 sided – Pick All.

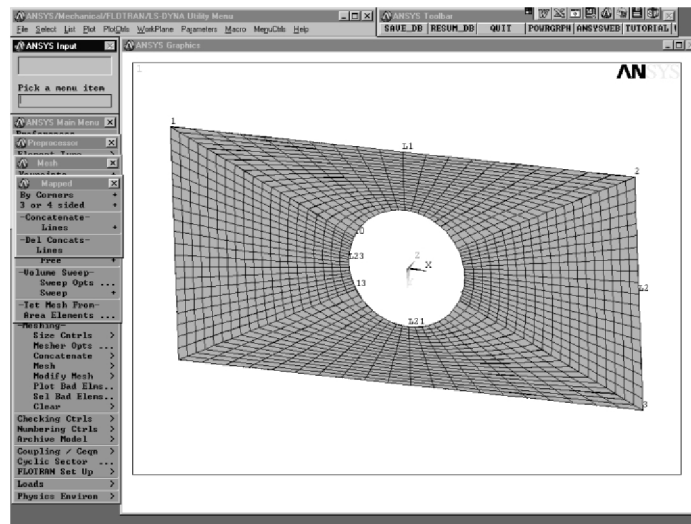


Рис.6.4. Упорядоченная сетка конечных элементов

7 Объемная сетка конечных элементов

Рассмотрим расчет диска рабочего колеса компрессора

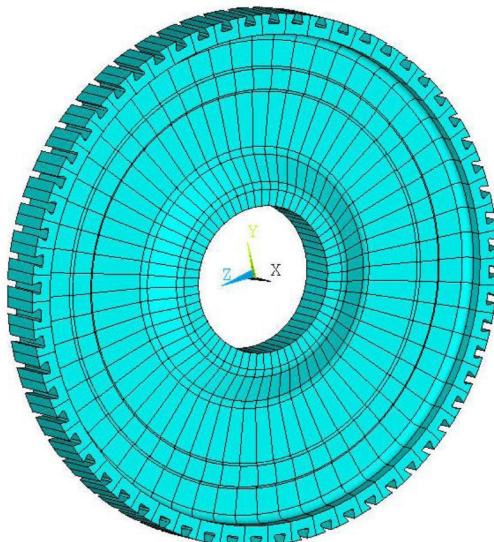


Рис. 7.1. Объемная модель диска рабочего колеса компрессора

7.1 Создание секторной объемной модели диска

1) Создайте точки, определяющие форму диска: PrPr – Create – KeyPoints – in Active CS

Номера точек	X	Y	Z
1	-0.025	0.09	0
2	-0.025	0.115	0
3	-0.004	0.23	0
4	-0.004	0.23	0
5	-0.007	0.255	0
6	-0.007	0.255	0
7	-0.004	0.29	0
8	-0.004	0.29	0
9	-0.014	0.3	0
10	-0.014	0.3	0
11	-0.03	0.325	0

2) Так как полотно диска симметрично относительно оси X, отразите вторую половину точек операцией симметрии: PrPr – – Modeling – Reflect – all – Y-Z plane

3) Создайте две точки с номерами 500 и 501 определяющие ось вращения диска с координатами 500 (-0.01,0,0) , 501 (0.01,0,0)

4) Постройте прямые линии между точками KP10 и KP11, KP11 и KP12, KP12 и KP24, KP24 и KP23, KP23 и KP22, KP20 и KP19, KP19 и KP18, KP18 и KP17, KP17 и KP16, KP16 и KP15, KP15 и KP14, KP14 и KP13, KP13 и KP1

5) Постройте дуги окружности между точками KP10 и KP8 с центром в точке KP9 и радиусом 0,01, и между точками KP20 и KP22 с центром в точке KP21 и радиусом 0,01.

6) Сделайте скругление радиусом 0,02 между следующими линиями L1 и L2, L18 и L19, L2 L3, L18, L17. PrPr – Modeling – Create – Lines – Line Fillet

7) Сделайте скругление радиусом 0,003 между линиями L6 и L4, L13 и L17. На рис.7.2. представлен результат всех проделанных операций

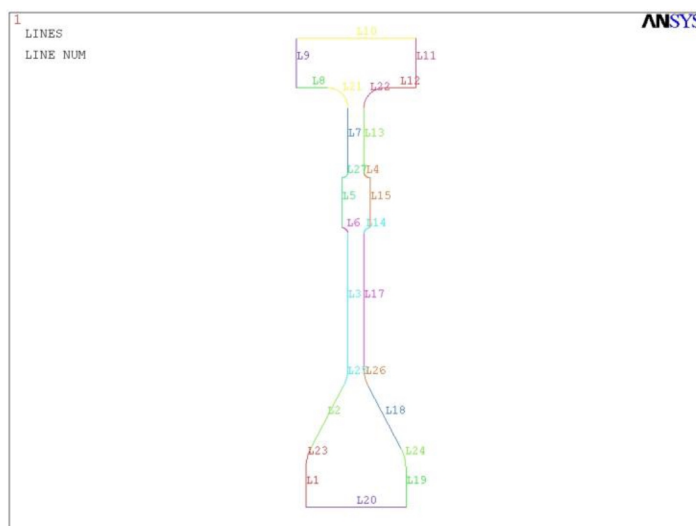


Рис. 7.2. Контур диска

8) Для дальнейшего создания конечно-элементной сетки, необходимо создать дополнительные линии. Создайте линию между точками K25 и K28, K26 и K27, K29 и K31, K30 и K32, K34 и K19, K33 и K35, K8 и K20

9) Создайте дополнительную точку K16 с координатами (0, 0.306, 0)

10) Создайте дугу по трем точкам KP10, KP22, KP 16: PrPr – Modeling – Create – Lines – Arcs – Throught 3 KPs

11) Создайте поверхности по линиям как показано на рис. 7.3

12) Создайте цилиндрическую систему координат:

1. Совместите рабочую систему координат с глобальной: MM – Workplane – Align WP with Global Cartesian

2. Поверните рабочую систему координат на 90^0 относительно оси Y: MM – Workplane – Offset WP by Increments

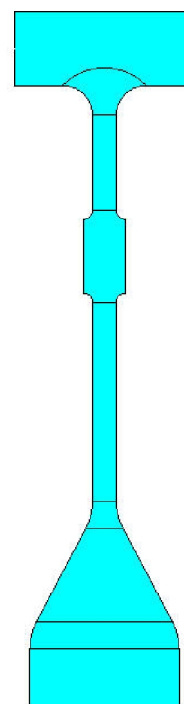


Рис. 7.3. Создание поверхностей

3. Создайте цилиндрическую систему координат 11, совпадающую с рабочей плоскостью: MM - Workplane – Local Coordinate Systems – Create Local CS – At WP origins

5) Поверните поверхности на угол 3^0 относительно оси вращения диска:

1. Перейдите в созданную цилиндрическую систему координат: MM - Workplane – Change Active CS to – Specified Coord Sys – 11

2. Задайте поворот поверхностей на 3^0 относительно оси Z: PrPr – Modeling – Move/Modify – Areas – Areas

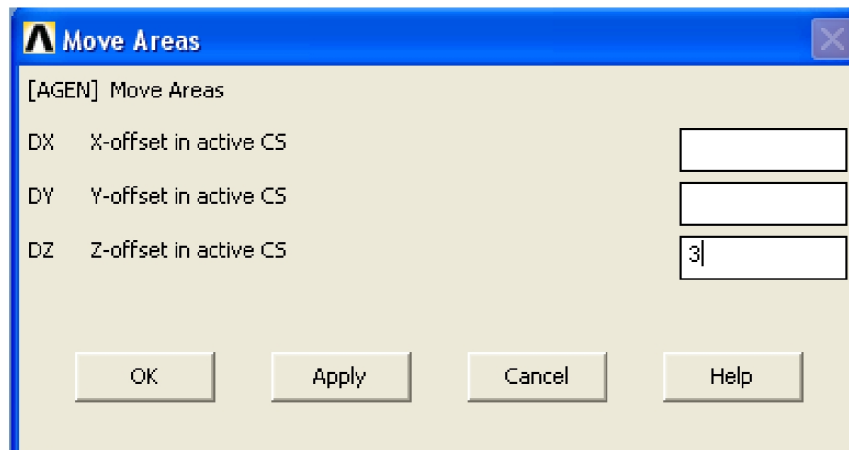


Рис. 7.4. Меню поворота поверхностей

6) Создайте сектор диска операцией продавливания поверхностей: PrPr – Modeling – Operate – Extrude – About Axis. Укажите в качестве двух точек, определяющих ось вращения, точки 500 и 501.

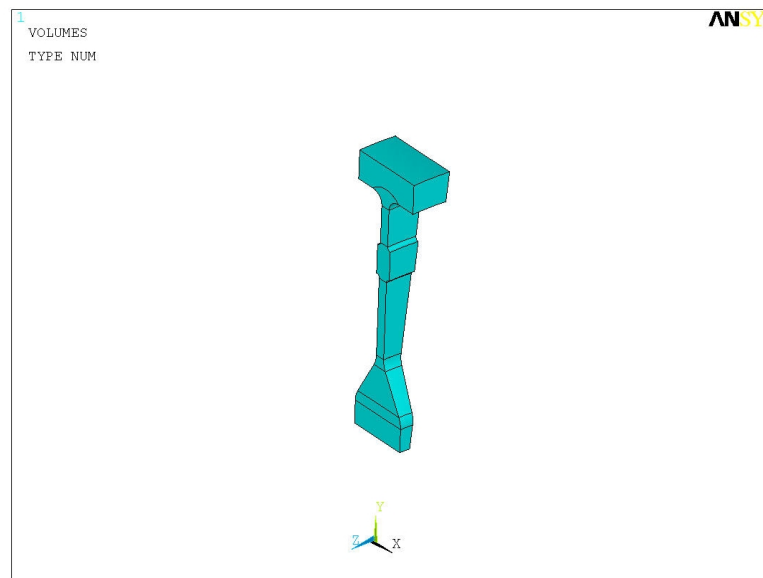


Рис. 7.5. Сектор диска рабочего колеса

7.2 Вырезание паза в ободу диска

1) Установите рабочую систему координат на ободу диска как показано на рис.7.6. MM – WorkPlane – AlignWP with – Plane Normal to Line – L93 – Ratio Along Line 0,5. Система координат должна установиться в середину линии 93, при этом линия будет нормальна к плоскости XY.

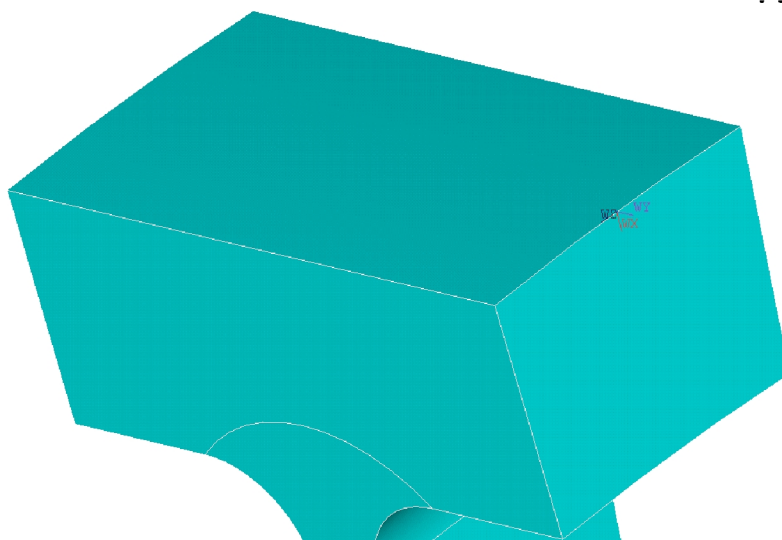


Рис. 7.6. Установка рабочей системы координат

2) Сделайте рабочую систему координат активной: MM – WorkPlane – Change Active CS to – Working Plane

3) Создайте 4 точки, определяющие паз диска:

1	0.012	0	-0.0085
2	0.012	0	0.0085
3	0	0	-0.004132
4	0	0	0.004132

4) Соедините прямыми линиями точки КР64 и КР65, КР65 и КР63, КР63 и КР62, КР62 и КР64

5) Добавьте скругление радиусом 0,002 м между линиями L96 и L97, и между линиями L98 и L97 (рисунок 7.7)

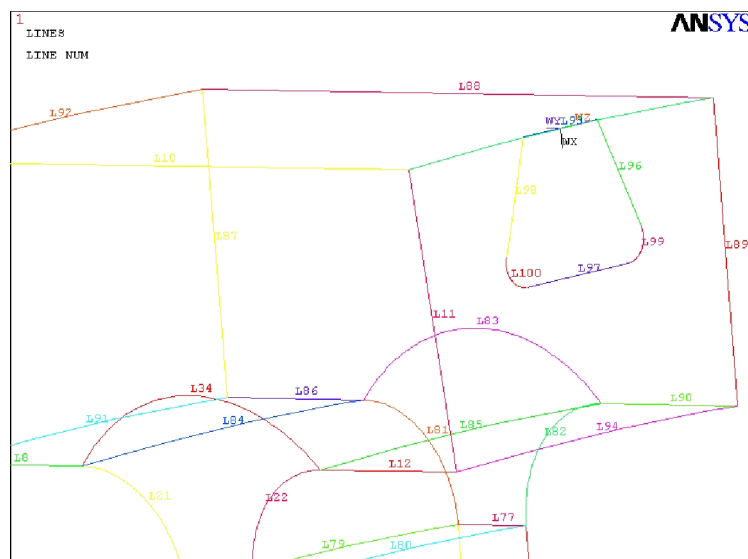


Рис. 7.7. Контур паза диска

6) Создайте поверхность по линиям контура паза: PrPr – Modeling – Create – Areas – Arbitrary – By Lines, выберите по порядку линии с номерами L95, L96, L99, L97, L100, L98.

7) Сделайте глобальную систему координат активной: MM – WorkPlane – Change Active CS to – Global Cartesian

8) Выдавите в направлении, противоположном оси X, созданную поверхность на 0,1 м: PrPr – Modeling – Operate – Extrude – Areas – By XYZ Offset

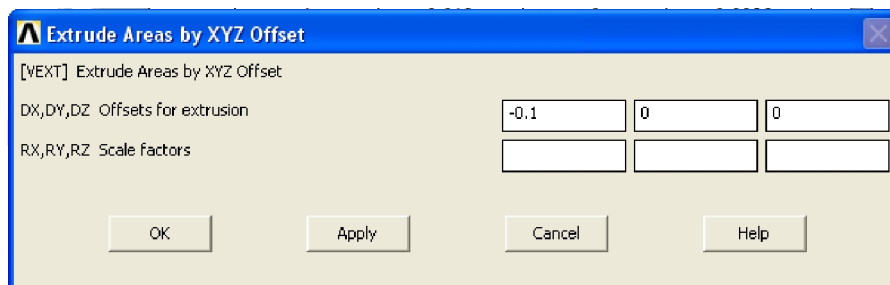


Рис. 7.8. Меню выдавливания поверхности

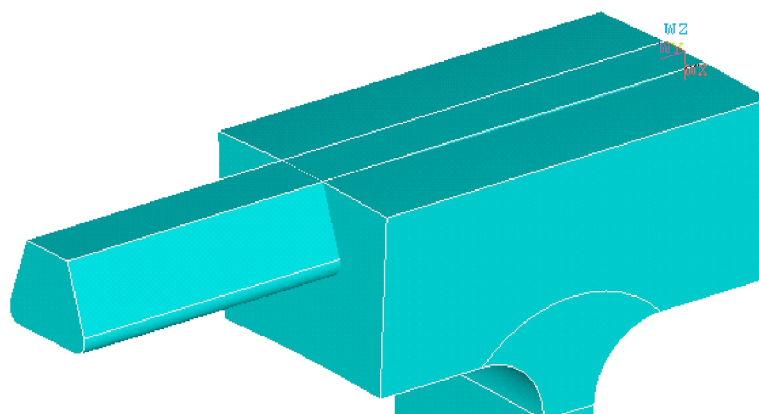


Рис. 7.9. Вспомогательный объем для выреза паза

9) Путем вычитания одного объема из другого, создайте паз в секторе диска: PrPr – Modeling – Operate – Booleans- Subtract – Volumes. Выбирайте сначала объем диска, затем вспомогательный объем.

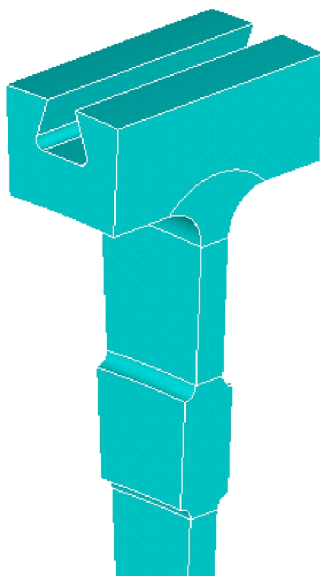


Рис. 7.10. Паз в диске

7.3 Подготовка модели к генерации сетки

Для наложения упорядоченной сетки конечных элементов разбейте обод диска на несколько объемов, каждый из которых легко разбивается упорядоченной сеткой.

1) Постройте отрезок из точки 22, перпендикулярный к линии 10: PrPr – Modeling – Create – Line – Lines –Normal to Line. При этом линия 10 разделится на две линии, с разделяющей точкой КР64 (рис. 7.11)

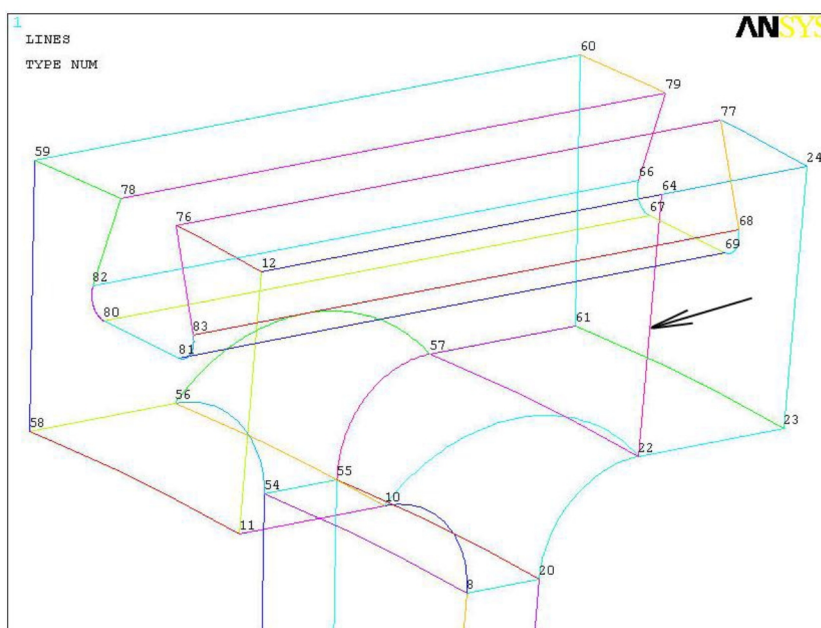


Рис.7.11. Вспомогательный отрезок

2) Разрезать объем обода необходимо рабочей плоскостью (Work Plane), для этого необходимо ее связать с точкам KP64, KP22, KP57: MM – WorkPlane – Align WP with Keypoints.

3) Удалите вспомогательный отрезок: PrPr – Delete – Line and Below – L93

4) Разрежьте объем обода диска рабочей плоскостью: PrPr – Operate – Booleans – Divide – Volu by WrkPlane.

5) Прodelайте аналогичные действия с другой частью обода диска, вспомогательный отрезок строится из точки KP10

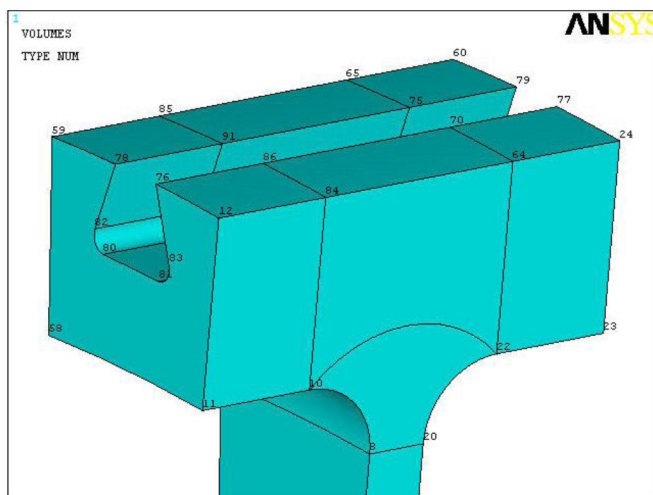


Рис. 7.12. Разбиение обода диска

6) Разрежьте обод горизонтальной рабочей плоскостью. Совместите WorkPlane с точками KP82, KP83, K68, затем аналогично пп. 4 разрежьте три объема обода, указав их в меню булевой операции. Результат на рис. 7.13

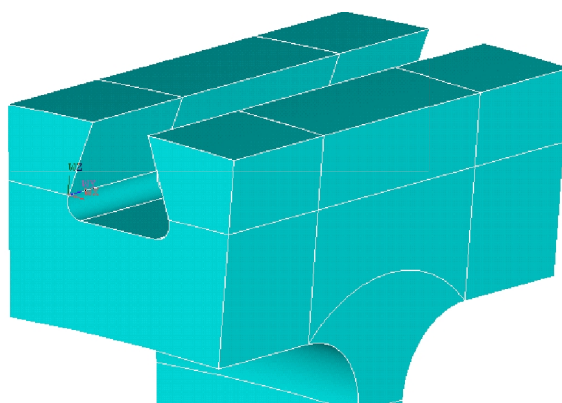


Рис. 7.13. Окончательное разбиение обода диска на отдельные объемы

7.4 Генерация сетки конечных элементов

1) Задайте свойства материала диска PrPr – Material Props – Material Models. Для стали: $E=2 \cdot 10^{11}$ (Па); плотность 7800 (кг/м³); коэффициент Пуассона 0,3.

2) Задайте тип конечного элемента

1. PrPr – Element type – Add/Edit/Delete – Add – Shell – 3D 4node 181

2. PrPr – Element type – Add/Edit/Delete – Add – Solid – Brick 8 Node 185

3) Задайте количество элементов по линиям так, как указано на рис. 7.14 и 7.15: PrPr – Meshing – Size Cntrls – Lines – Picked Lines.

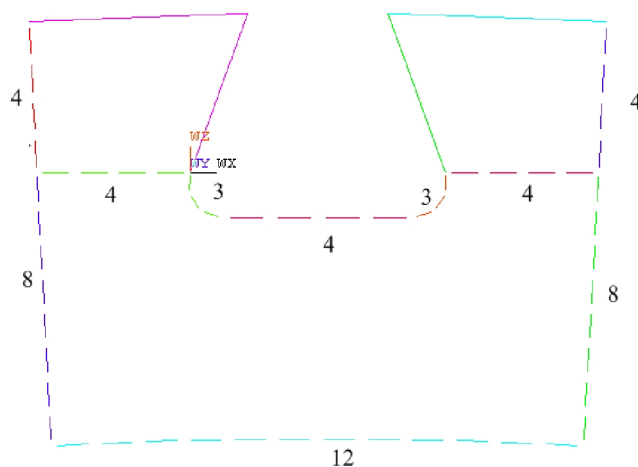


Рис. 7.14. Количество элементов по торцевой поверхности

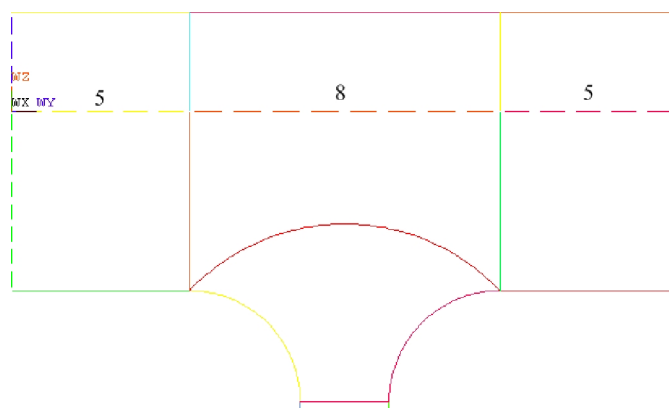


Рис. 7.15. Количество элементов по боковой поверхности

4) Установите тип элемента Shell 181: PrPr – Meshing – Mesh Attributes

5) Разбейте нижнюю торцевую поверхность A105 (рис. 7.14) неупорядоченной сеткой конечных элементов: PrPr – Meshing – Mesh – Areas – Free. На основе этой сетки будет создаваться объемная сетка КЭ

6) Установите тип элемента Solid 185, разбейте нижнюю половину обода диска методом выдавливания (sweep): PrPr – Meshing – Mesh – Volume Sweep – Sweep.

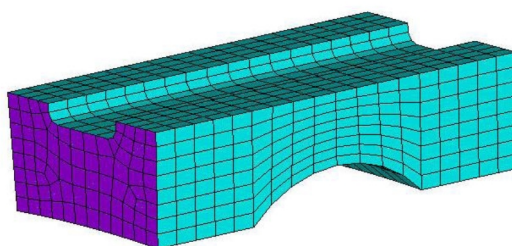


Рис. 7.16. Объемная сетка на нижней части обода диска

7) Разбейте оставшиеся объемы обода диска упорядоченной сеткой: PrPr – Meshing – Mesh – Volumes – Mapped -4 to 6 sided

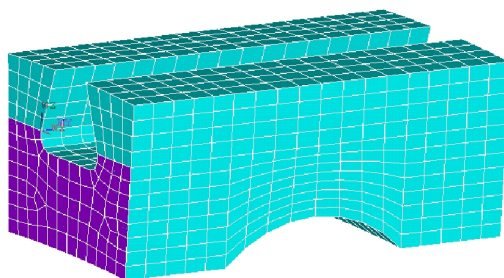


Рис. 7.17. Объемная сетка на ободке диска

8) Задайте количество элементов по ребрам полотна диска как показано на рис. 7.18.

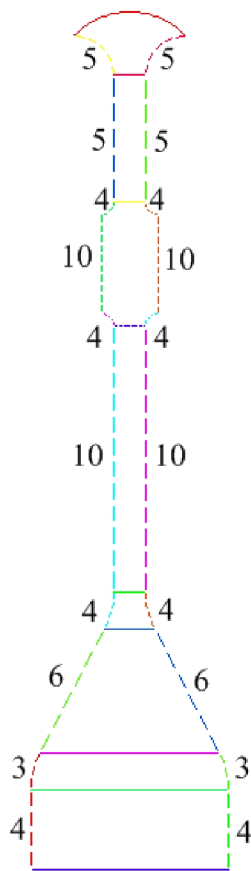


Рис. 7.18. Полотно диска

9) Начиная с верхней поверхности (A8), разбейте поверхности полотна конечно-элементной сеткой. Для A6 укажите тип сетки Free, для остальных тип Mapped. Результат на рис. 7.19

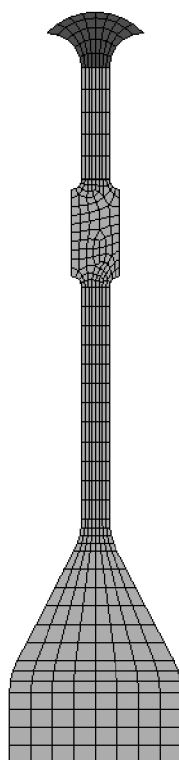


Рис. 7.19. 2D сетка на полотне диска

- 10) Разбейте объемы полотна диска конечно-элементной сеткой методом выдавливания: PrPr – Meshing – Mesh – Volume Sweep – Sweep. Укажите объемы с номерами от 8 до 1.
- 11) Удалите сетку с поверхностей: PrPr – Meshing – Clear – Areas – Pick all

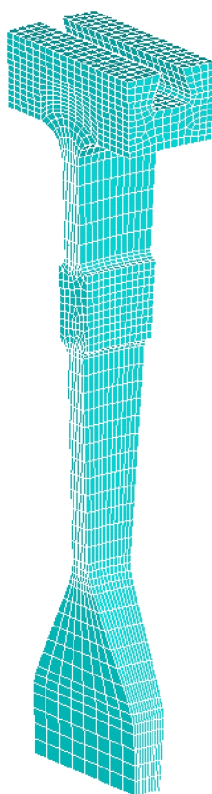


Рис. 7.20. Конечно-элементная модель сектора диска

7.5 Граничные условия и приложение нагрузки

Так как для расчета используется секторная модель, на противоположные грани сектора диска нужно наложить условия циклической симметрии, связав перемещения узлов этих граней в цилиндрической системе координат в направлении вращения

- 1) Выберите поверхности, принадлежащие противоположным граням сектора: UM – Select – Entities – Areas – By NumPick

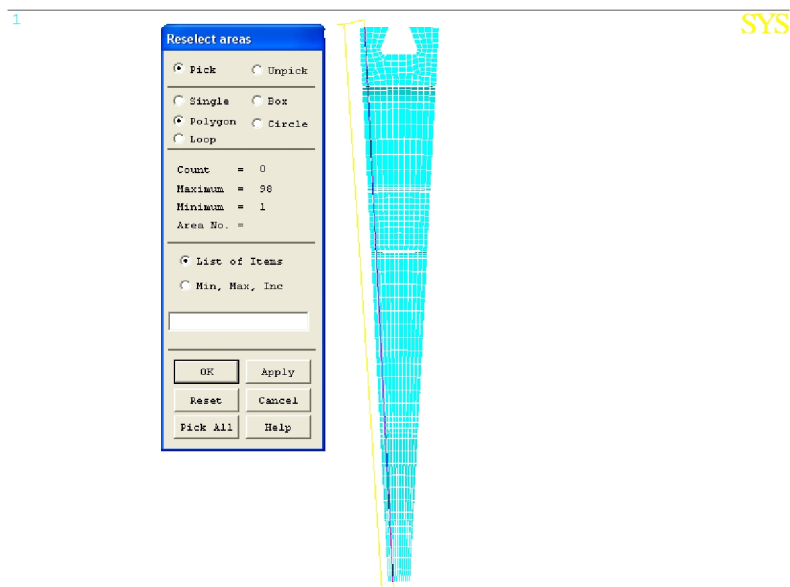


Рис. 7.21. Выбор поверхностей операцией Polygon

- 2) Выберите узлы, принадлежащие этим поверхностям: UM – Select – Entities – Nodes – Attached to – Areas all – Reselect

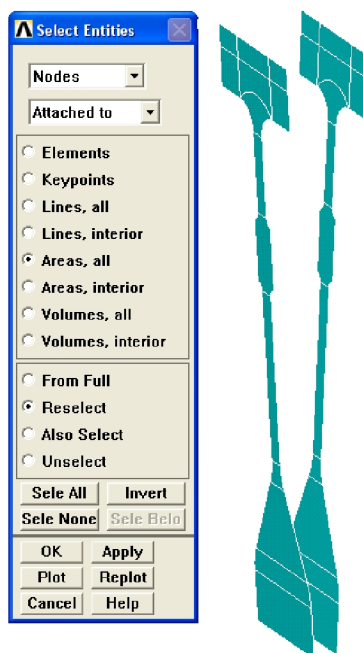


Рис. 7.22. Выбор узлов, принадлежащих противоположным граням сектора

3) Свяжите противоположные узлы условием циклической симметрии: PrPr – Coupling/ Ceqn – Offset Nodes. Укажите систему координат 11 (KCN), $DY=6^0$. Выберите все элементы модели: UM – Select – Everything.

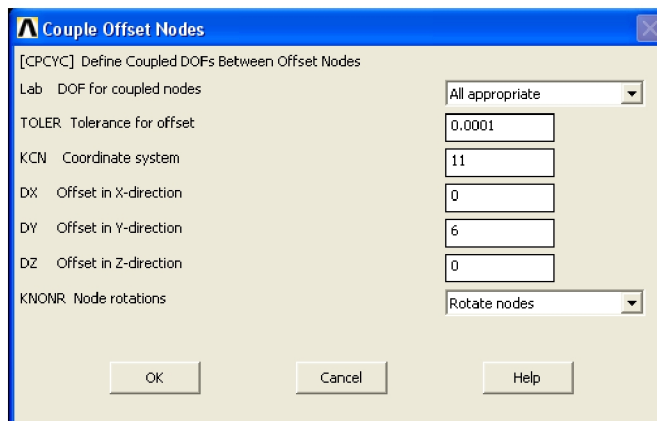


Рис. 7.23. Меню наложения условия циклической симметрии

4) Закрепите сектор диска. Выберите поверхности A33 и A36, затем узлы, принадлежащие этим поверхностям.

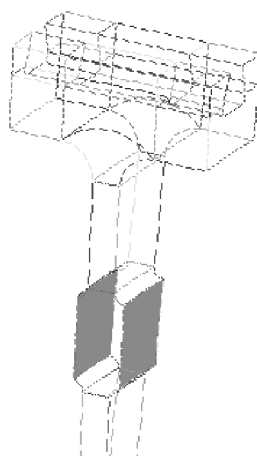


Рис. 7.24. Поверхности для закрепления модели

5) Закрепление модели удобно проводить в цилиндрической системе координат. Перейдите в локальную цилиндрическую систему координат 11: UM – WorkPlane – Change Active CS to – Specified Coord Sys – 11

6) Переместите выбранные узлы в локальную систему координат: PrPr – Modeling – Move/Modify – Rotate Node CS – to Active CS

7) Закрепите модель, запретив осевые (UZ) и радиальные (UY) перемещения: PrPr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Displacement – On Nodes

8) Выберите всю модель: MM – Select – Everything

9) Приложите центробежную нагрузку 600 rad/c : PrPr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Inertia – Angular Velocity – Global – OmegX=600

- 10) Запустите модель на расчет: Solution – Analysis Type – New Analysis – Static.
Solution – Solve – Current LS
- 11) Выведите на экран окружные и радиальные напряжения в диске:
1. Задайте вывод результатов в цилиндрической системе координат: General Postproc – Options for Outp - в графе RSYS поставьте Local system

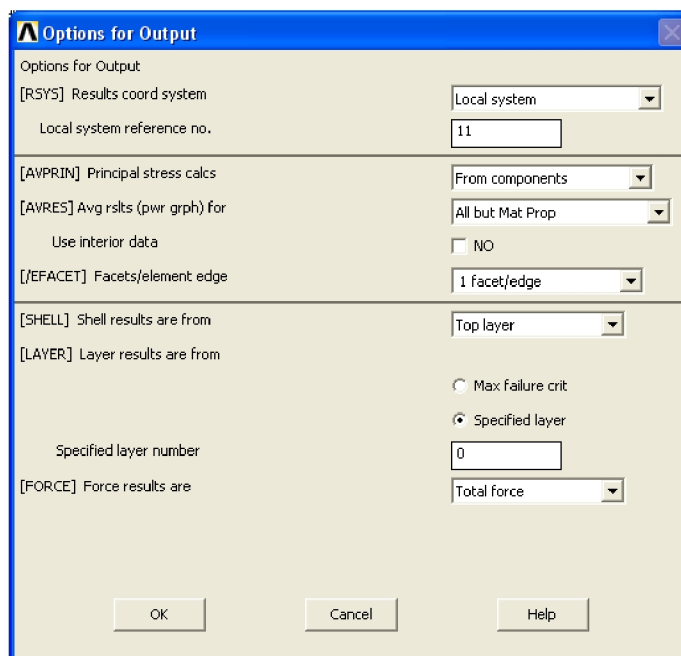


Рис. 7.25 Вывод результатов расчета в цилиндрической системе координат

2. Выведите окружные напряжения: General Postproc – Plot Results – Contour Plot – Nodal Solu – Stress – X-Component of stress
3. Выведите окружные напряжения: General Postproc – Plot Results – Contour Plot – Nodal Solu – Stress – Y-Component of stress

8 Определение собственных форм и частот колебаний крыла планера

Для определения частот и мол собственных колебаний конструкции применяется частотный анализ. Знание параметров собственных колебаний становится важным в условиях динамического нагружения и при моделировании вибраций и переходных процессов в конструкциях.

8.1 Построение геометрии крыла

1) Построить точки со следующими координатами:

	x	y	z
1	0	0	0
2	2	0	0
3	2,3	0,2	0
4	1,9	0,45	0
5	1	0,25	0

2) Соедините прямой линией точки KP1 и KP2, KP5 и KP1.

3) Постройте сплайн по точкам KP2, KP3, KP4, KP5 с заданием координат вектора, направленного по касательной к сплайну в начальной точке, и вектора, направленного по касательной к сплайну в конечной точке: PrPr – Modeling – Create – Lines – Splines – With Options – Spline thru KPs/. Указать подряд точки 2 -5, в выпадающем меню задать параметры согласно рис. 8.1.

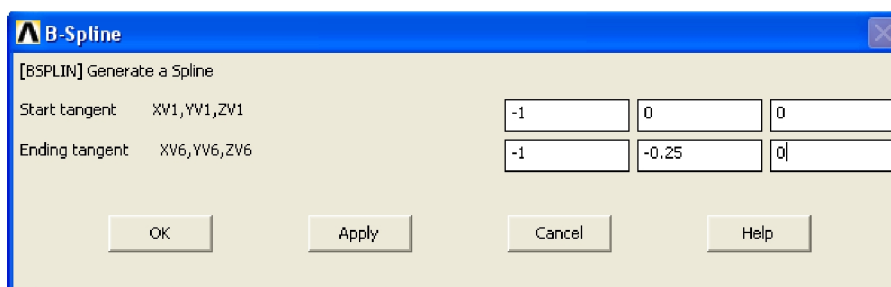


Рис. 8.1. Генерация сплайна с заданием касательных

4) Сгенерируйте поверхность по трем линиям: PrPr – Modeling – Create – Areas – Arbitrary – By Lines, выберете подряд три линии.

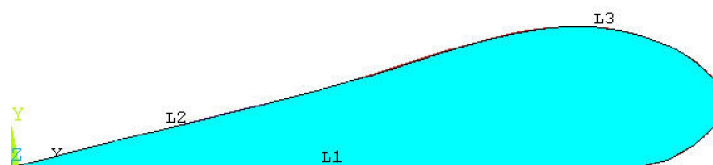


Рис. 8.2. Поверхность торцевой части крыла

8.2 Создание конечно-элементной модели

1) Задайте тип элемента:

1. PrPr – Element type – Add/Edit/Delete – Add – Shell – 3D 4node 181

2. PrPr – Element type – Add/Edit/Delete – Add – Solid – Brick 8 Node 185

2) Назначьте свойства материала: PrPr – Material Props – Material Models. $E=1,3 \cdot 10^{11}$ (Па); плотность 4500 (кг/м^3); коэффициент Пуассона 0,3.

3) Задать длину величину элемента по линиям: PrPr – Meshing – Size Cntrls – Manual Size – Global – Size, укажите длину элемента 0,2 (рис. 8.3.)

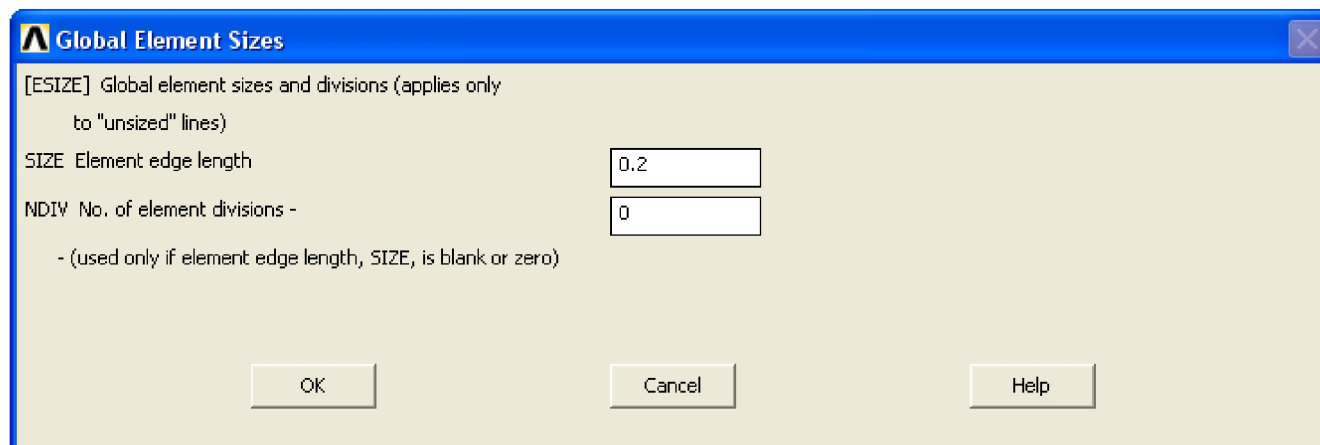


Рис. 8.3. Длина элемента вдоль линии

4) Разбейте поверхность свободной сеткой конечных элементов: PrPr – Meshing – Mesh – Areas – Free (рис. 8.4.)

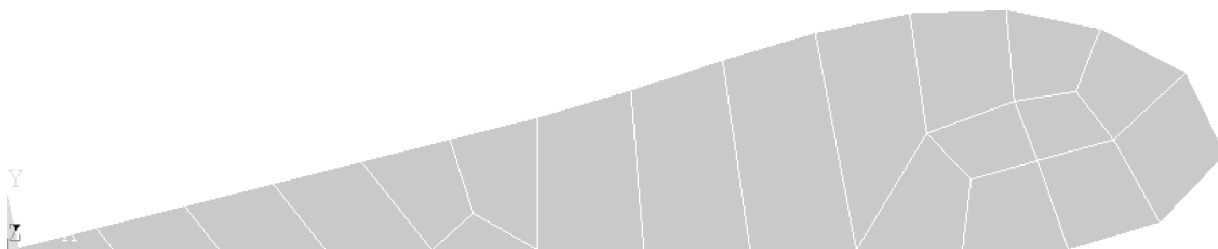


Рис. 8.4. Плоская сетка конечных элементов

5) Выберите тип элемента 2: PrPr – Meshing – Mesh Attributes – Default Attrs – [Element Type Number > Solid 185 > OK]

6) Вытяните поверхность вдоль оси Z, при этом задайте опции для создания объемных элементов (рис. 8.5.):

1. PrPr – Modeling – Operate – Elem Ext Opts – [No. Elem divs > 10; Clear areas after ext > Yes > OK]

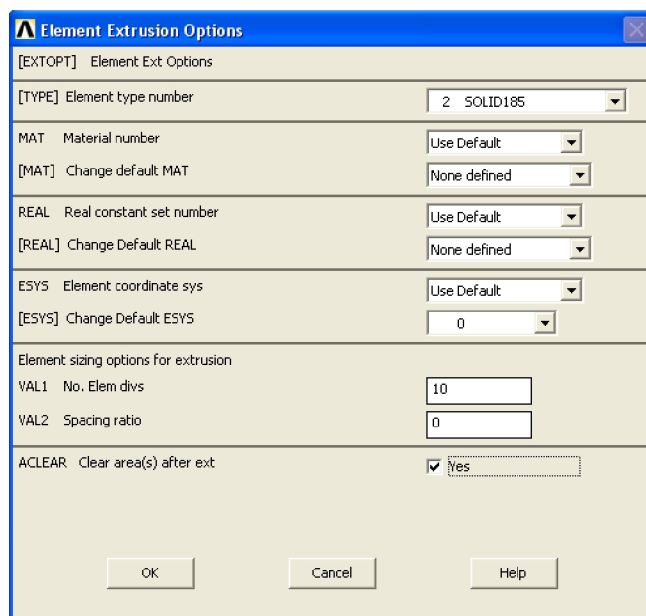


Рис. 8.5. – Опции для создания объемной сетки

2. PrPr – Operate – Extrude – Areas – By XYZ Offset – DY=10. В результате должна получиться следующая сетка (рис. 8.6.)

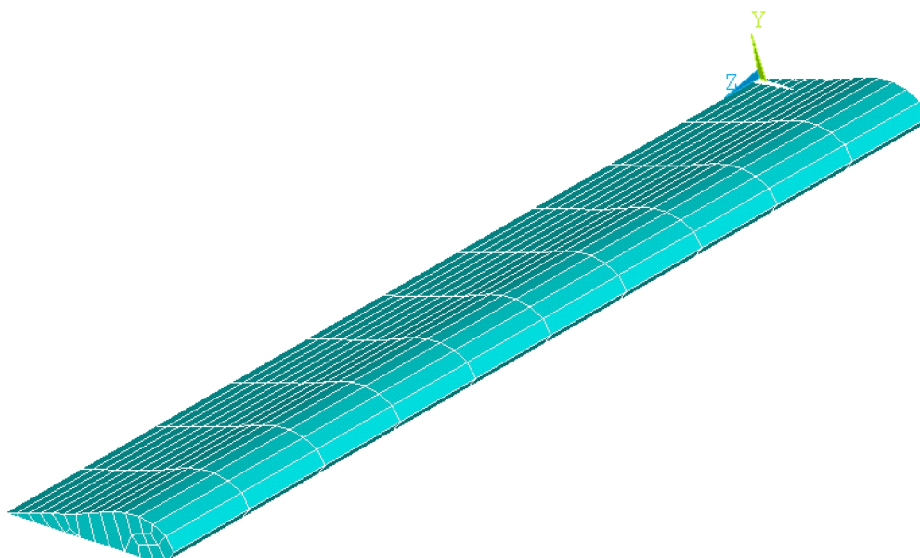


Рис. 8.6. Конечно-элементная модель крыла планера

8.3 Граничные условия и запуск на расчет

1) Закрепите крыло по одной из торцевых поверхностей, выбрав узлы, принадлежащие ей:

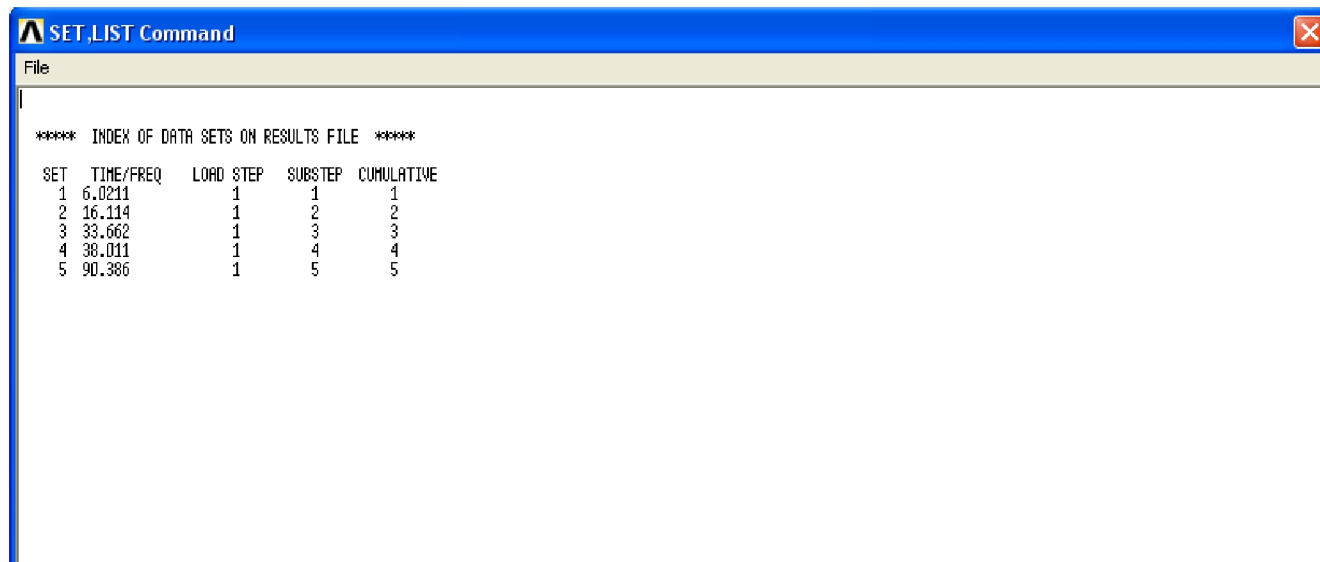
1. UM – Select – Entities – [Nodes – By Location – Z coordinates – Min,Max>0>OK]
2. PrPr – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Displacement – On Nodes – Pick All – All dof
3. UM – Select – Everything
- 2) Задайте тип расчета: Solution – Analysis Type – New Analysis – [Modal>OK]

3) Задайте число извлекаемых собственных форм: Solution – Analysis Type – Analysis Options – [No. of modes to extract>5; No. of modes to expand>5]

4) Запустите модель на расчет: Solution – Solve – Curent LS

8.4 Анализ результатов расчета

1) Выведет на экран собственные частоты колебаний лопатки (рис. 8.7.): General Postproc – Results Summary



SET,LIST Command

File

**** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE ****

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	6.0211	1	1	1
2	16.114	1	2	2
3	33.662	1	3	3
4	38.011	1	4	4
5	90.386	1	5	5

Рис. 8.7. Собственные частоты колебаний крыла

2) Выведете на экран различные собственные формы колебаний крыла

1. Выберите форму колебаний для вывода: General Postproc – Read Results – By Pick –Set 1

2. Выведете на экран первую форму колебаний (рис. 8.9.): General Postproc – Plot Results – Nodal Solu – DOF Solution – Displacement vector sum. В настройках поставьте масштаб 100, вывод деформированной конструкции с исходной формой (рис. 8.8.)

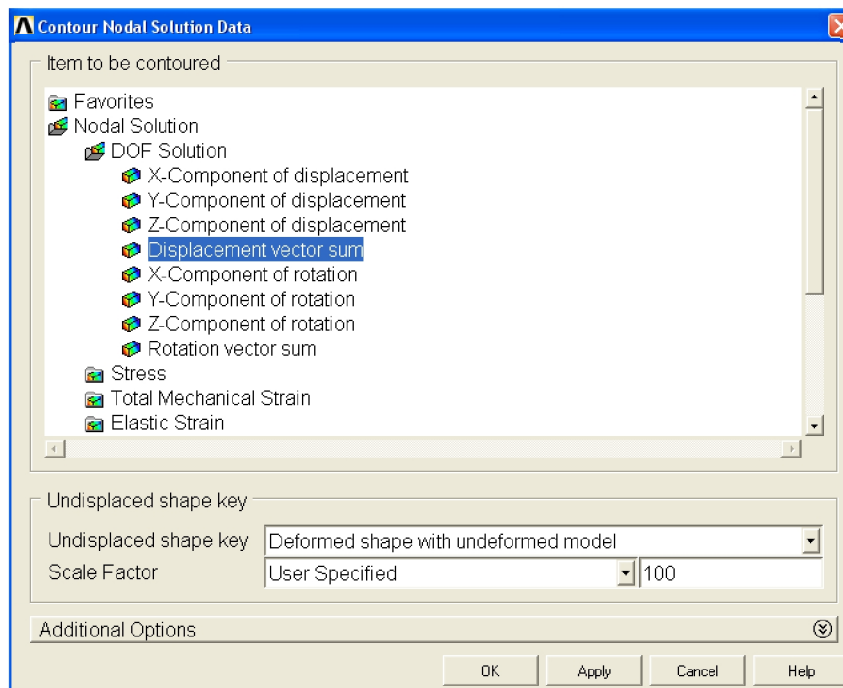


Рис. 8.8. Настройка вывода результатов

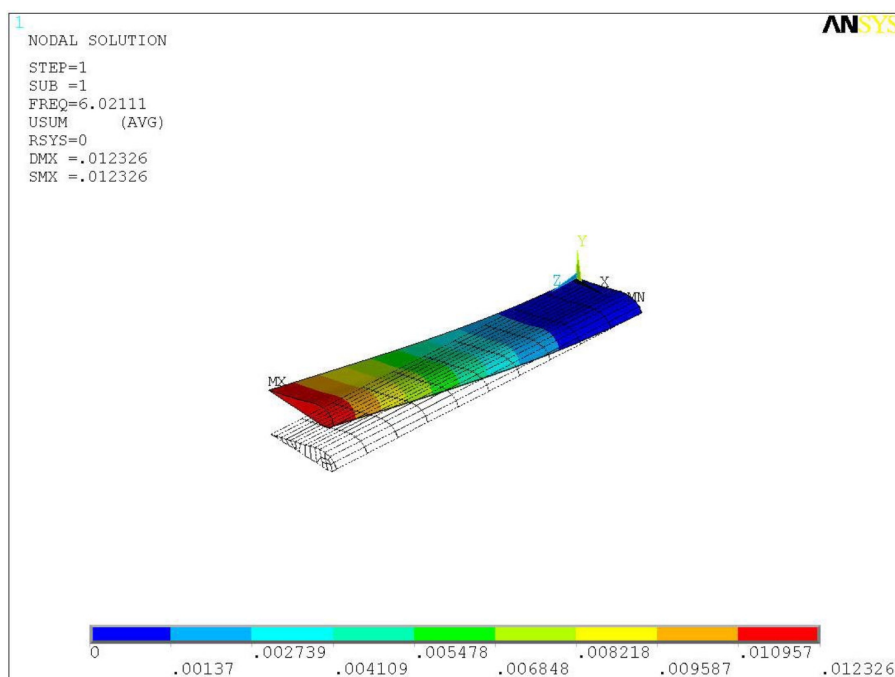


Рис.8.9. Первая форма колебаний крыла

3) Создайте анимацию колебаний крыла по третьей форме:

1. Выберите форму колебаний для вывода: General Postproc – Read Results – By Pick – Set 3

2. Настройте анимацию: MM – PlotCtrls – Animate – Deformed Results – [No. of frames to create>25, Item > DOF solution – Translation USUM]

Заключение

Рассмотренные в данном учебном пособии примеры являются базовым уровнем для студентов, использующих Ansys Mechanical для прочностных расчетов. На примере расчета простых конструкций показаны возможности программного пакета по построению конечно-элементных моделей, приложению нагрузки и расчету. Примеры построены таким образом, что позволяют изучить большое количество функций Ansys Mechanical, которые понадобятся при выполнении курсовых и проектных работ на старших курсах.

Список использованных источников

1. Огородникова, О.М. Введение в компьютерный конструкционный анализ [Текст]/ О.М. Огородникова – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001.-48 с.
2. ANSYS. Commands Reference. Rel. 11. / ANSYS Inc. Houston, 2006.