

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Общие сведения о работе в ANSYS.

Начинать работу с программным комплексом ANSYS лучше с запуска ANSYS Product Launcher (Пуск→Все программы), где следует задать среду моделирования (Simulation Environment→ANSYS), выбрать рабочий каталог, в который будут сохраняться все рабочие файлы ANSYS (Working Directory) и задать название проекта (Job Name).

Выполнение *командного файла* (текстовый файл с расширением .inp или .txt), написанного на языке APDL ANSYS осуществляется с помощью пункта меню File → Read Input from... В процессе создания командного файла можно копировать блоки команд в командную строку и смотреть на результат выполнения.

Периодически следует сохранять результаты работы! Перед запуском новых расчетов надо очищать текущую базу данных (File→Clear and Start New).

### Построение твердотельной модели в ANSYS.

Чаще всего твердотельная модель исходной области со сложной геометрией строится «снизу вверх», начиная с построения наиболее простых сущностей (Entities) – опорных точек (Keypoints) и заканчивая построением областей (Areas) для двумерных задач или объемов (Volumes) для трехмерных задач.

Для построения простой двумерной твердотельной модели можно использовать следующий подход. Построить опорные точки -> точки соединить линиями -> на основе линий построить области, указав линии, составляющие область, в порядке обхода.

#### **Командный режим.**

Для построения опорных точек используется команда **K**, первым аргументом которой является номер точки, а остальными – координаты точки. Например, команда **K, 2, R1, -H/2** создает точку с номером 2 и координатами  $x=R1$ ,  $y=-H/2$ ,  $z=0$  (значение по умолчанию). Для построения линии (сущность Line) между двумя точками используется команда **L**. Например, команда **L, 2, 3** создает линию в текущей системе координат между точками с номерами 2 и 3. При этом создаваемые линии нумеруются в программе автоматически, начиная с наименьшего доступного номера. Для построения областей можно использовать команды **A** и **AL**, при этом создаваемые области также нумеруются автоматически. Команда **AL** строит область по указанным линиям, перечисленным в порядке обхода по или против часовой стрелки (можно перечислить не более 10 линий), а команда **A** аналогично строит область по указанным опорным точкам (можно перечислить не более 18 точек). При этом, если между двумя точками определена линия, то команда **A** будет использовать ее при построении области, в противном случае в текущей координатной системе будет построена недостающая линия.

### Построение конечно-элементной модели в ANSYS.

В ANSYS существует два типа конечно-элементного разбиения: регулярное (Mapped Mesh) и свободное (Free Mesh). *Свободным* называется разбиение, которое не имеет ограничений на форму элементов и не имеет заданного шаблона сет-

ки. Обычно свободное разбиение используется для областей и объемов сложной формы. Для свободного разбиения достаточно задать средний размер конечного элемента. В противоположность свободному разбиению *регулярное разбиение* определяется заданной формой конечных элементов (например, только треугольники или только четырехугольники в случае разбиения областей) и заданным шаблоном конечно-элементной сетки с четкими «рядами» элементов. Регулярное разбиение выгодно использовать для областей и объемов простой формы, использование регулярного разбиения помогает значительно сократить время расчетов. Обычно регулярное разбиение строится на основе заданного разбиения линий.

### **Задание механических граничных условий в ANSYS**

Ограничение на степени свободы можно задать либо на сущности конечно-элементной модели (узлы и элементы), либо на сущности твердотельной модели (линии, области). Следует иметь в виду, что все «твердотельные» граничные условия будут преобразованы в «конечно-элементные» граничные условия на этапе решения задачи. При этом, «твердотельные» граничные условия на заданной линии имеют приоритет над «конечно-элементными» граничными условиями на узлах той же линии.

**Интерактивный режим:** пункты меню **Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > ...**

**Командный режим:** с помощью команды **D, SF, F**, которые задают условия на узлах, либо с помощью команд **DL, SFL, FL**, которые задают условия на линиях.

#### **Команды выбора сущностей:**

- Выбор узлов на прямой  $x=a$ .

`NSEL,S,LOC,X,A` ! Выбор всех узлов с координатой  $X=A$

- Выбор узлов с координатами  $a \leq y \leq b$  и  $c \leq z \leq d$

`NSEL,S,LOC,Y,A,b` ! Выбор всех узлов с координатами  $a \leq y \leq b$  (s-new set)

`NSEL,A,LOC,Y,C,D` ! Дополнительный выбор (a-add set) узлов с координатами  $c \leq z \leq d$

- Выбор линии L2

`LSEL,S,LINE,,2` ! Выбор линии 2

- Выбор линий L3,L5 и L8.

`LSEL,S,LINE,,3,5,2` ! Выбор линий 3 и 5 (2 – шаг между их номерами)

`LSES,A,LINE,,8` ! Добавление в набор линии 8

- Выбор всех узлов, лежащих на линии L2

`LSEL,S,LINE,,2` ! Выбор линии 2

`NSLL,S,1` ! Выбор узлов, лежащих на выбранной линии

! 2й аргумент команды `NSLL` – ключ выбора узлов на линии (здесь 1 – выбор внутренних и внешних узлов (концов линии); 0 – выбор только внутренних узлов)

- Выбор всех узлов, лежащих на линиях L3,L5 и L8.

`LSEL,S,LINE,,3,5,2` ! Выбор линий 3 и 5 (2 – шаг между их номерами)

`LSES,A,LINE,,8` ! Добавление в набор линии 8

`NSLL,S,1` ! Выбор узлов, лежащих на всех выбранных линиях

### 1) Условие симметрии

- В *интерактивном режиме*: ...->Symmetry В.С. -> On lines или On nodes.
- В *командном режиме*: можно задать как с помощью команды **DL**, так и с помощью команды **D**. В команде **DL** можно использовать опцию SYMM (например: **DL,8,,SYMM**). Другой способ состоит в том, чтобы выбрать нужные узлы и воспользоваться командой **D**. Выбрать узлы, лежащие на линии L8, можно с помощью команд:

**LSEL,S,LINE,,8**

**NSLL,S,1** ! Выбор узлов, принадлежащих выбранным линиям

Команда **D,ALL,UX,0** задаст для всех выбранных узлов равенство нулю компоненты вектора перемещений **UX**, что соответствует симметрии относительно оси *Oy*. Аналогично команда **D,ALL,UY,0** будет задавать для всех выбранных узлов равенство нулю компоненты вектора перемещений **UY**, что будет соответствовать симметрии относительно оси *Ox*.

### 2) Условие жесткого закрепления

предполагает, что для заданных узлов вектор перемещений равен нулю, т.е. в случае плоской задачи  $UX=0$  и  $UY=0$ .

- В *интерактивном режиме*: ...->.Displacement -> On lines или On nodes.
- В *командном режиме*: задается с помощью команды **D** или **DL**

- **D,ALL,UX,0**

- **D,ALL,UY,0**

- Или: **D,ALL,ALL,0** (для элемента со степенями свободы **UX, UY**).

- **DL,ALL,,UX,0**

- **DL,ALL,,UY,0**

### 3) Граница, свободная от механических напряжений.

Это условие по умолчанию, в ANSYS это условие задавать не требуется.

### 4) Условие распределенной нагрузки

- В *интерактивном режиме*: ...-> Pressure -> On lines или On nodes (или On areas для трехмерных задач).
- В *командном режиме*: задается с помощью команды **SF** или **SFL**.

- **SF,ALL,PRES,-P** ! Для всех выбранных узлов поверхностная нагрузка  $PRES = -P$

- **LSEL,S,LINE,,2** ! Выбор линии 2

- **SFL,ALL,PRES,-P** ! Для всех выбранных линий поверхностная нагрузка  $PRES = -P$

### Просмотр и сохранение результатов в ANSYS (интерактивный режим).

В меню ANSYS это можно сделать, используя, например, следующие перемещения по меню. В главном меню:

General Postproc → Plot Results → Deformed Shape → отметить Def + undef edge (для изображения деформированной формы)

Для доступа к результатам решения по степеням свободы (неизвестным рассматриваемой системы уравнений):

General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu → DOF Solution → X-Component of displacement (для изображения картины распределения перемещений  $U_x$ )

→ Y-Component of displacement (аналогично для изображения картины распределения перемещений  $U_y$ )

→ Displacement vector sum (для вывода модуля вектора перемещений)

→ Nodal Solu → Stess X-Component of stress (для изображения картины распределения напряжений  $T_{xx}$ , в ANSYS наз. SX)

→ Nodal Solu → Elastic strain X-Component of elastic strain (для изображения картины распределения деформаций  $S_{xx}$ , в ANSYS наз. EPELX)

→ Element Solu... и т. д.

(Nodal Solution отличается от Element Solution использованием различных методов вычисления градиентов полей по полученным узловым результатам.)

General Postproc → Plot Results → Vector Plot → Predefined

DOF solution → Translation U (для вывода распределения вектора перемещений)

Аналогично доступ к результатам осуществляется из верхнего меню:

Plot → Results → Deformed Shape и т. д.

Сохранить полученный рисунок можно несколькими способами:

- PlotCtrls->Capture Image. Рисунок будет открыт в новом окне. Пункты меню File->Save as... позволят сохранить рисунок в выбранной папке без инвертации фона как графический файл с расширением .bmp).
- Plot Ctrls->Hard Copy->To File. Будет открыто окно Graphics Hard Copy. Здесь можно указать цветовую шкалу (Monochrome, Gray Scale, Color) расширение графического файла (.bmp, postscript, .tiff, .jpeg, .png), отметить Reverse Video для инвертации черного и белого цветов, задать имя файла. При этом рисунок будет сохранен с инвертацией фона с черного на белый в рабочей директории ANSYS, указанной при запуске программы.
- PlotCtrls->Write Metafile. Рекомендуется выбрать Invert White/Black для инвертации фона с черного на белый. Рисунок можно сохранить в выбранной папке как метафайл файл с расширением .emf или .wmf.

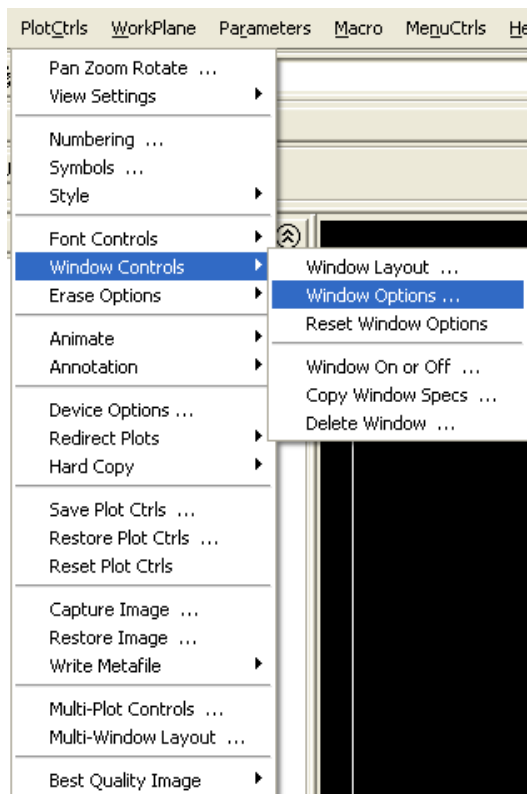
Аналогично доступ к результатам осуществляется из верхнего меню:

Plot → Results → Deformed Shape и т. д.

### **Работа с опциями оконного вывода в ANSYS (интерактивный режим).**

При сохранении графических файлов можно применять различные опции вывода в активном окне.

В верхнем меню выбрать PlotCtrls → Window Controls → Window Options



В меню Window Options можно настроить или убрать изображение рамки окна, логотипа ANSYS, изображение начала координат, легенды и т.д., например:

