

## 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**, которая задает ограничение на степени свободы на узлах, либо с помощью команды **DL**, которая задает ограничение на степени свободы на линиях.

#### **1) Условие симметрии**

- В *интерактивном режиме*: ...->Symmetry B.C. -> 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

! 2й аргумент – ключ выбора внутренних узлов (здесь 1 – выбор внутренних и внешних узлов)

Команда **D,ALL,UX,0** задает 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*: соответствующий блок команд будет иметь вид

**D,ALL,UX,0**

**D,ALL,UY,0**

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

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.

SF,ALL,PRES,-P ! Для всех выбранных узлов 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) рас-

ширение 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.

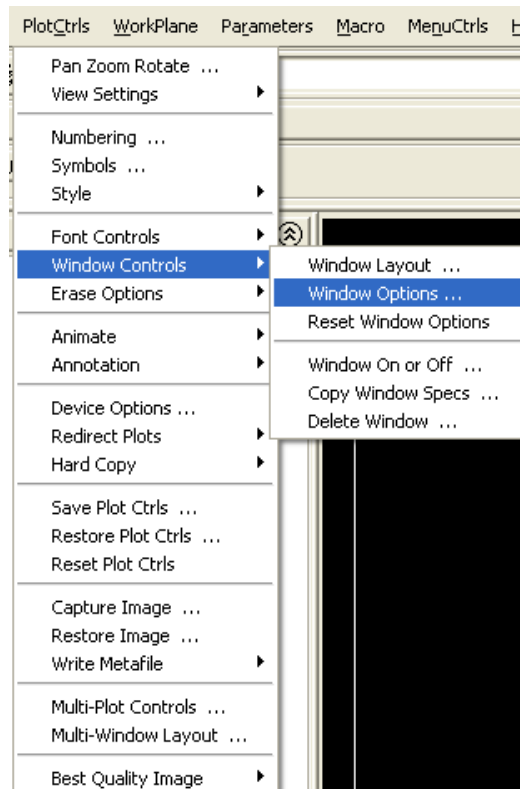
Аналогично доступ к результатам осуществляется из верхнего меню:

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:

