

## 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 сетки. 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.

### **Команды выбора сущностей в ANSYS**

В Ansys есть понятие *сущностей* (Entities). Сущности конечно-элементной модели составляют узлы (nodes) и элементы (elements). Сущности твердотельной модели составляют опорные точки (key points), линии (lines), области (areas) и объемы (volumes). С сущностями выполняются различные действия, такие как задание параметров конечно-элементного разбиения, постановка граничных условий и т. д. Часто требуется выполнить какое-то определенное действие для нескольких сущностей. Для этого нужны команды выбора сущностей. Обычно сущности выбираются по номеру либо по координатам, но есть и другие варианты. Например, можно выбирать линии по их длине или области по номеру материала. Рассмотрим примеры таких команд.

- 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  $c \leq y \leq d$

`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  $c \leq y \leq d$`

- 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)`

`LSEL,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)`

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

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

## Задание граничных условий в ANSYS

Граничные условия можно задать либо на сущности конечно-элементной модели (узлы и элементы), либо на сущности твердотельной модели (опорные точки, 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 >**. Далее при выбранном температурном конечном элементе (решение задачи теплопроводности) будет доступно **Thermal**, а при выбранном структурном конечном элементе (решение задачи теории упругости) будет доступно **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.

### 1) Главное граничное условие.

Если на части границы задана температура (в задаче теплопроводности) или перемещения (в задаче теории упругости), то задается условие на степени свободы (degrees of freedom).

- В *интерактивном режиме* в задаче теплопроводности: **Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Temperature > On nodes** или **On Lines, On Areas**

в задаче теории упругости: **Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacements > On nodes** или **On Lines, On Areas**

- В *командном режиме*: используются команды **D** или **DL**:

- **D, ALL, TEMP, T\_INP** ! для температурного элемента со степенью свободы TEMP задана температура значения T\_INP

**D, ALL, UX, UX\_INP**

- **D, ALL, UY, UY\_INP** ! для структурного элемента со степенями свободы UX, UY задана перемещения со значениями UX\_INP, UY\_INP

Для жестко закрепленной границы перемещения на границы равны нулю: (т.е. в случае плоской задачи  $UX=0$  и  $UY=0$ ).

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

**D, ALL, UY, 0**

Или: **D, ALL, ALL, 0** ! для структурного элемента со степенями свободы UX, UY

- **DL, ALL, , TEMP, T\_INP** ! для температурного элемента со степенью свободы TEMP

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

**DL, ALL, , UY, 0** ! для структурного элемента со степенями свободы UX, UY

## 2) Условие симметрии в задаче теории упругости

- В *интерактивном режиме*: **Main Menu> Solution >Define Loads>Apply>Structural>Symmetry> On nodes** или **On Lines, On Areas**
- 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

Условие симметрии на вертикальной оси OY ( $x=0$ ) означает запрет перемещений по горизонтали, т.е.  $UX=0$ . Условие симметрии на горизонтальной оси OX ( $y=0$ ) означает запрет перемещений по вертикали, т.е.  $UY=0$ .

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.

## 3) Естественное граничное условие: свободная граница. Если граница является теплоизолированной (в задаче теплопроводности) или свободной от механических напряжений (в задаче теории упругости), то в ANSYS это условие задавать не требуется, так как оно является условием по умолчанию.

## 4) Естественное граничное условие: поверхностная нагрузка (surface load)

Если на части границы в задаче теплопроводности задан тепловой поток (heat flux) или конвективный теплообмен (convection) либо давление (в задаче теории упругости), то задается условие поверхностной нагрузки.

- В *интерактивном режиме* в задаче теплопроводности для теплового потока: **Main Menu> Solution >Define Loads>Apply>Thermal>Heat Flux>On Lines** или **On nodes** для конвективного теплообмена: **Main Menu> Solution >Define Loads>Apply>Thermal>Convection> On nodes** или **On Lines, On Areas**

- в задаче теории упругости: **Main Menu> Solution >Define Loads>Apply>Structural>Pressure> On nodes** или **On Lines, On Areas**

- В *командном режиме*: задается с помощью команды **SF** (на узлах) или **SFL** (на линиях).

- **SF,ALL,HFLUX,FLUX\_INP** ! Тепловой поток значения FLUX\_INP в выбранных узлах
- **SF,ALL,CONV,H\_F,T\_EXT** ! Конвективный теплообмен с коэффициентом H\_F и температурой внешней среды T\_EXT в выбранных узлах
- **SF,ALL,PRES,P** ! Для всех выбранных узлов сжимающая поверхностная нагрузка величины P (по внутренней нормали к поверхности)

- **LSEL,S,LINE,,2** ! Выбор линии 2
- **SFL,ALL,PRES,-P** ! Для всех выбранных линий растягивающая поверхностная нагрузка величины P (по внешней нормали к поверхности)

### 5) Условие сосредоточенной нагрузки (теплого потока в точке или сосредоточенной силы в точке)

- В *интерактивном режиме*: ...-> Heat Flow -> On keypoints или On nodes.
- ...-> Force/Moment -> On keypoints или On nodes.
- В *командном режиме*: задается с помощью команды F (в узлах) или FK (в опорных точках)

### Просмотр результатов в ANSYS (интерактивный режим)

Результаты решения сохраняются в файлах с расширением \*.RST, \*.RFL, \*.RTH, \*.RMG (в зависимости от типа задачи). Именно они загружаются в постпроцессор для обработки и просмотра результатов.

Результаты решения удобно выводить в интерактивном режиме, хотя можно использовать и соответствующие команды.

В ANSYS есть два типа постпроцессора: General Postprocessor (общий постпроцессор) and Time History Postprocessor (временной постпроцессор)

Общий постпроцессор General Postprocessor используется для просмотра результатов решения для заданных условий нагружения в заданный момент времени (или при заданной частоте). Для входа в общий постпроцессор используется команда /POST1 или пункты меню: Main Menu> General Postproc. Для статической задачи (стационарного анализа) это единственный доступный постпроцессор.

В случае решения динамической задачи (нестационарного анализа) можно также использовать временной построцессор Time History Postprocessor. Этот постпроцессор используется для просмотра результатов в зависимости от времени (частоты) для заданного узла. Временной построцессор позволяет вывести график изменения заданной величины от времени (частоты) или график зависимости силы от отклонения для нелинейного анализа. Для входа во временной построцессор используется команда /POST26 или пункты меню: Main Menu-> TimeHist PostPro, которые запускают Variable Viewer.

### Просмотр результатов в общем постпроцессоре General Postprocessor

#### Деформированная форма области в задаче теории упругости:

General Postproc → Plot Results → Deformed Shape → отметить Def + undef edge (для изображения деформированной сетки в сравнении с недеформированным краем)

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

General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu → DOF Solution → Nodal Temperature (для изображения картины распределения температуры *TEMP*)

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)

**Для доступа к производным решения (таким как градиент температуры, вектор потока тепла, деформации, напряжения и т.д.):**

**Важное замечание:** в современных версиях ANSYS вывод результатов для производных решения может быть не доступен сразу в меню Plot Results. В этом случае следует в интерактивном режиме сначала открыть (выполнить вход в) Results Viewer либо считать результаты последнего сета General Postproc → Read Results → Last Set, а в командном файле для доступа к этим результатам выполнить команду считывания результатов последнего сета: **SET, LAST**

Для доступа к производным величинам в узловом решении Nodal Solution:

General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu →

→ Nodal Solu → Thermal Flux X-Component of thermal flux (для изображения картины распределения компоненты  $q_x$  вектора теплового потока, в ANSYS называется TFX)

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

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

И т. д.

Аналогично для доступа к производным величинам в элементном решении Element Solution:

General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Element Solu... и т. д.

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

**Для вывода векторных величин используется Vector Plot:**

General Postproc → Plot Results → Vector Plot → Predefined

Flux and Gradient → Thermal Flux TR (для вывода распределения вектора потока тепла)

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

Аналогично доступ к результатам осуществляется из верхнего меню:

Plot → Results → Deformed Shape и т. д.

## Сохранение результатов в ANSYS (интерактивный режим)

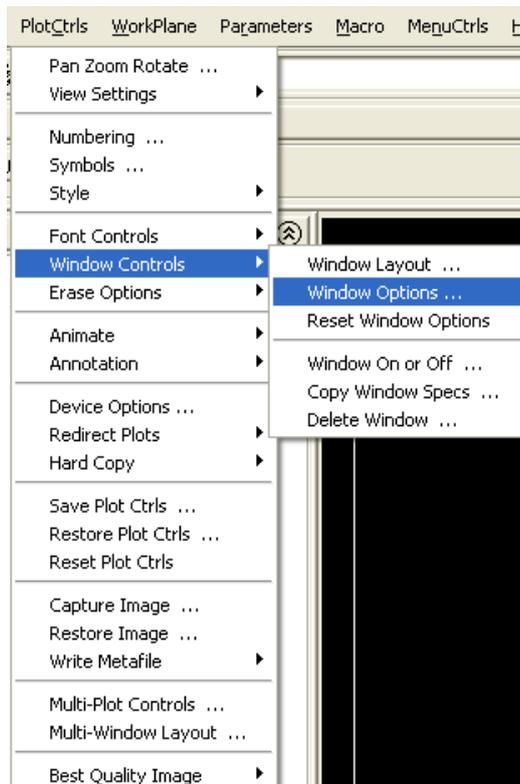
Сохранить полученный рисунок можно несколькими способами:

- 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. Этот способ дает наилучшее качество рисунка.

## 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:

