

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет

А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк, А.И. Кравчук

**Электронная библиотека механики и физики.
Лекции по ANSYS с примерами решения задач
в пяти частях**

Часть 4.

**Ограничения и нагрузки.
Разделы Solution и General Postproc главного меню.
Примеры постановки краевых задач, их решения и просмотра
результатов**

Минск
2013

УДК 531/534:004.4(075.8)(076.1) + 539.3:004.4(075.8)(076.1)

Решение о депонировании документа вынес
совет механико-математического факультета (протокол № 6 от 07.05.2013 г.)

Авторы:

А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк, А.И. Кравчук

Рецензенты:

Босяков С.М., канд. физ-мат. наук, доцент, доцент кафедры теоретической и прикладной механики БГУ

Недзьведь А.М., канд. тех. наук, ведущий научный сотрудник отдела интеллектуальных информационных систем Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси.

Кравчук А. С. Электронная библиотека механики и физики. Лекции по ANSYS с примерами решения задач [Электронный ресурс] : курс лекций для студ. мех.-мат. фак. обучающихся по специальности 1-31 03 02 «Механика (по направлениям)» : в 5 ч. Ч. 4: Ограничения и нагрузки. Разделы Solution и General Postproc главного меню. Примеры постановки краевых задач, их решения и просмотра результатов / А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк, А. И. Кравчук. – Электрон. текстовые дан. – Минск : БГУ, 2013. – 118 с.: ил. – Библиогр.: с. 116 . – Загл. с тит. экрана. – № 001528052013. Деп. в БГУ 28.05.2013.

Данный раздел курса лекций посвящен заданию ограничений и нагрузок, а также разделам Solution и General Postproc главного меню. Рассмотрены примеры постановки конкретных краевых задач для конечно-элементных моделей, созданных ранее, их решения и просмотра результатов.

Авторы выражают благодарность представительству CAD-FEM GmbH в СНГ за разрешение использовать ANSYS 10 ED при написании данного раздела.

Ограничения и нагрузки в ANSYS

Общие сведения

Целью проведения математического моделирования поведения объекта при каких либо внешних условиях является получение значений параметров, определяющих величину его реакции. Однако, что бы определить реакцию на внешнее воздействие объекта, в ходе решения задачи в начале необходимо определить тип и величину самого воздействия. Отметим, что если оно отсутствует, то и решение задачи не имеет смысла. Например, не имеет смысла определять распределение напряжений в консольно закрепленной невесомой балке, если к ней не приложить каким-либо образом силу.

Таким образом, одним из важных этапов подготовки к проведению расчета и получения удовлетворительных результатов является определение внешних воздействий (механических, тепловых и т.д.) на твердотельный объект, заключенный в объеме, уже разбитом на конечные элементы.

Обычно внешнее воздействие определяется на границе созданной модели (от этого произошел термин «краевое условие»). В примере с балкой внешняя сила приложена на поверхности одного конца балки, а закрепление указывается отсутствием перемещений и вращений (т.е. закреплением) на другом конце балки.

Под терминами «ограничение» и «нагрузка» понимаются все разнообразные процессы, которые происходят как на поверхностях твердого тела или объема жидкости, так и в отдельных точках внутри его. Например, под «ограничением» в ANSYS понимается закрепление, т.е. ограничение перемещений и вращений в структурном анализе, либо определение температуры при решении задач теплообмена, а под «нагрузкой» - приложение сосредоточенных или распределенных усилий (структурный анализ) или тепловых потоков (задачи теплообмена) и т.д. Просто в каждом типе анализа физических процессов исследователю доступна те типы нагрузок, которые ему соответствуют.

Авторы решили сохранить эту терминологию, т.к. надеются, что она легче воспримется студентами технических ВУЗов и инженерами со стажем.

Нагрузки в ANSYS можно приложить двумя способами:

- к компонентам твердотельной модели (к ключевым точкам, линиям и поверхностям);
- к конечно-элементной модели (к узлам сетки и элементам).

Не имеет значения, каким образом была приложена нагрузка, ANSYS воспринимает любые нагрузки как часть конечно- элементной модели. В соответствии с принятым способом классификации, в этой главе во всех разделах рассматриваются вначале твердотельные нагрузки, а в заключении, нагрузки в узлах. В отдельных случаях приведены конечно-элементные нагрузки.

Способ приложения нагрузки к твердотельной модели. Достоинства и недостатки

В этом пособии основной способ приложения нагрузок - это приложение нагрузки к твердотельной модели. Приложение нагрузок к конечно-элементной сетке также рассматривается, однако в его использовании при решении поставленных задач нет необходимости. Заметим также, что твердотельные нагрузки гораздо естественнее воспринимаются при обучении решению прикладных задач.

Достоинства нагрузок, прилагаемых к твердотельным моделям:

- Нагрузки твердотельной модели не зависят от конечно-элементного разбиения, т.е. вы можете менять разбиение без изменения приложенных нагрузок.
- Твердотельная модель всегда включает меньше компонентов, чем конечно-элементная. Поэтому выбор твердотельного компонента и приложение к нему нагрузки намного легче, особенно с помощью средств графического интерфейса.

Недостатки нагрузок, прилагаемых к твердотельным моделям:

- Твердотельная модель и конечно-элементная модель могут иметь различные координатные системы и нагрузочные направления. Это требует промежуточного преобразования твердотельных нагрузок.
- Не все нагрузки твердотельной модели можно отобразить.

З. а м е ч а н и е! Упомянутые выше преобразование твердотельных нагрузок в конечно-элементные производится автоматически, в начале решения. Удаление твердотельных нагрузок также приводит к удалению всех конечно-элементных нагрузок.

Конечно-элементные нагрузки. Достоинства и недостатки

Основным достоинством конечноэлементных нагрузок является то, что ANSYS сможет использовать их непосредственные значения без промежуточного преобразования.

К недостаткам относятся то, что после любого преобразования конечно-элементной сетки необходимо также переопределять нагрузки на новом разбиении. Кроме того, приложение нагрузок с помощью графического интерфейса в этом случае является неудобным.

Определение ограничений и нагрузок

З а м е ч а н и е! В ANSYS 10 ED приложить нагрузки к твердотельной модели невозможно, если не создана конечно-элементное разбиение, либо не выбран тип конечных элементов, которые будут использоваться при разбиении модели.

Наложение ограничений

Ограничение степеней свободы доступно в каждом типе анализа и применяется:

- к ключевым точкам, линиям и поверхностям;
- к узлам сетки;

Так, при решении задач структурного анализа, можно ограничить перемещения вдоль осей декартовой системы координат и вращения вокруг этих осей (названия соответствующих величин в ANSYS: ***UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ***), а при решении термозадач - температуру (название в ANSYS: ***TEMP***). Любое направление, указанное в названии (например, ***UX, ROTZ, AY*** и т.д.), задается в координатной системе узлов (т.е. глобальной декартовой).

Система пунктов главного меню и команд ANSYS позволяет наложить, убрать ограничения и просмотреть их список.

Ограничение степеней свободы в ключевых точках

Ограничение перемещений (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Displacement> On Keypoints

При использовании этого пункта меню появится окно выбора ***Apply U, ROT on KPs*** (Рисунок 1). Следует:

- Выбрать ключевые точки с одинаковыми значениями перемещений с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Нажать кнопку ***OK*** или ***Apply***.

После этого появится диалоговое окно ***Apply U, ROT on KPs***, в котором следует указать (Рисунок 1):

- Направление глобальной системы координат (элемент списка ***Lab2***: по оси ***X*** – пункт ***UX***, по оси ***Y*** – пункт ***UY***, по оси ***Z*** – пункт ***UZ*** или во всех направлениях – пункт ***ALL DOF***), в котором необходимо ограничить перемещения.

З а м е ч а н и е! Выбор осуществляется с помощью «мыши». Строка с выбранным пунктом подсвечивается синим цветом.

- Величину допустимого перемещения, с учетом знака (поле ввода ***VALUE*** – «по умолчанию» при незаполненном поле значение равно нулю);
- Установить «флажок» в пункте ***KEXPND***, если необходимо принять введенное значение ограничений для соответствующего узла конечноэлементной сетки.
- Подтвердить выбор, нажав кнопку ***OK*** или ***Apply***.

З а м е ч а н и е! «По умолчанию» предполагается, что перемещения в выбранных точках являются постоянными (в выпадающем списке пункт *Constsnt value*).

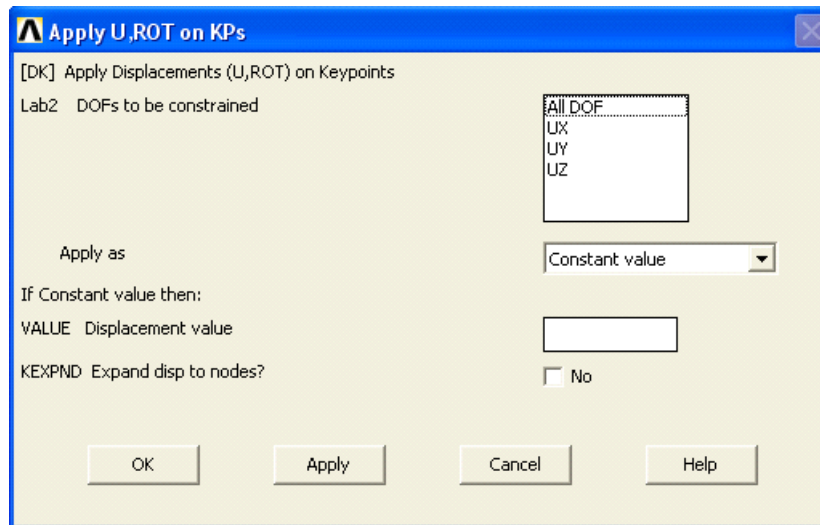


Рисунок 1. Вид окна *Apply U, ROT on KPs*

Ограничение температуры (*Thermal Analysis*)

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Temperature > On Keypoints

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора ***Apply TEMP on KPs***. Следует выбрать ключевые точки с одинаковыми значениями температур и подтвердить выбор нажатием кнопок ***OK*** или ***Apply***. После этого появится второе диалоговое окно ***Apply TEMP on KPs*** (Рисунок 2), в котором следует величину температуры.

З а м е ч а н и е! «По умолчанию» предполагается, что температура в выбранных точках является постоянной (в выпадающем списке пункт ***Constant value***).

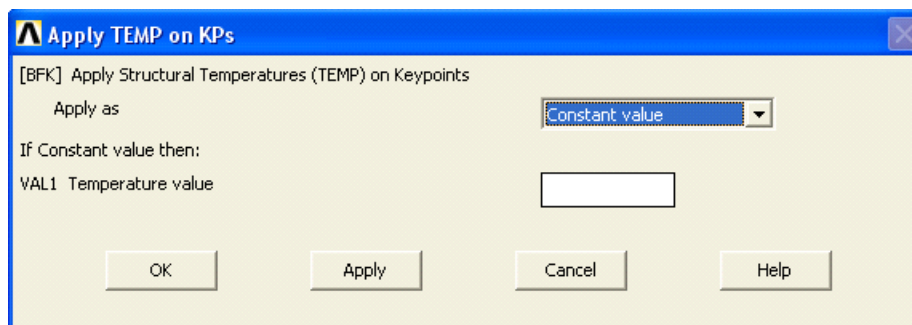


Рисунок 2. Вид окна *Apply TEMP on KPs*

Дополнительные пункты главного меню

Кроме того, используя следующие пункты меню можно на этапе решения определить заново или провести корректировку уже приложенных ограничений в ключевых точках:

Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Structural> Displacement> On Keypoints

Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Thermal> Temperature> On Keypoints

Команда

Общий вид команды при вводе с клавиатуры:

DK, KPOI, Lab, VALUE, VALUE2, KEXPND, Lab2, Lab3, Lab4, Lab5, Lab6

где

- **KPOI** – ключевая точка, в которой ограничение должно быть определено. Если **KPOI = ALL**, значит ограничения будут приложены ко всем выбранным с помощью команды **KSEL** точкам. Если **KPOI = P**, то будет использоваться графический выбор ключевых точек и значение остальных полей игнорируется. Номер ключевой точки также может быть значением параметра **KPOI**.
- **Lab** – может иметь своим значением метки перемещений (**UX, UY, UZ**), вращений (**ROTX, ROTY, ROTZ**), температуры (**TEMP**), метка **ALL** означает использование всех меток и др.
- **VALUE** – величина значения параметра **Lab**.
- **VALUE2** – вторая степень свободы (в данном пособии не используется).
- **KEXPND** – дополнительный параметр: **0** – ограничения накладываются на узловую точку, **1** - используется только ключевая точка.
- **Labs2, Labs3, Labs4, Labs5, Labs6** – метки дополнительных степеней свободы.

Ограничение степеней свободы на линиях

Ограничение перемещений (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Displacement> On Lines

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора *Apply U, ROT on Lines*. Следует:

- Выбрать линии с одинаковыми значениями перемещений с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или *Apply*.

После этого появится второе диалоговое окно *Apply U, ROT on Lines*, в котором следует указать:

- Направление глобальной системы координат (элемент списка *Lab2*: по оси *X* – пункт *UX*, по оси *Y* – пункт *UY*, по оси *Z* – пункт *UZ* или во всех направлениях – пункт *ALL DOF*), в котором необходимо ограничить перемещения на линиях.

З а м е ч а н и е! Выбор осуществляется с помощью «мыши». Строка с выбранным пунктом подсвечивается синим цветом

- величину допустимого перемещения (с учетом знака) (поле ввода *VALUE* – «по умолчанию» при незаполненном поле значение равно нулю).
- Подтвердить выбор, нажав кнопку **OK** или *Apply*.

З а м е ч а н и е! Общий вид второго окна *Apply U, ROT on Lines* практически полностью соответствует виду окна *Apply U, ROT on KPs* для ключевых точек из предыдущего пункта с той разницей, что в окне *Apply U, ROT on Lines* отсутствует флаг с меткой *KEXPND*.

Ограничение температуры (Thermal Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Thermal> Temperature> On Lines

При использовании этого пункта меню появится окно выбора *Apply TEMP on Lines*. Следует выбрать линии с одинаковыми значениями

температур и подтвердить выбор нажатием кнопок **ОК**. После этого появится диалоговое окно *Apply TEMP on Lines*, в котором следует ввести величину температуры.

З а м е ч а н и е! *Общий вид окна Apply TEMP on Lines полностью соответствует виду окна Apply TEMP on KPs для ключевых точек.*

Дополнительные пункты главного меню

Кроме того, используя следующие пункты меню можно на этапе решения определить заново или провести корректировку уже приложенных ограничений на линиях:

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Temperature > On Lines

Команда

Общий вид команды при вводе с клавиатуры:

DL, LINE, AREA, Lab, Value1, Value2

где

- *LINE* – линия, на которой должны быть определены ограничения. Если *LINE = ALL*, то ограничения будут наложены на все выбранные с помощью команды *LSEL* линии. Если *LINE = P*, то будет использоваться графический выбор и оставшиеся параметры команды будут проигнорированы. Номер линии может быть использован в качестве значения параметра *LINE*.
- *AREA* – поверхность, содержащая линию. Предполагается, что нормаль к симметричной или антисимметричной поверхности лежит на этой поверхности. «По умолчанию» поверхность с младшим номером из выбранных содержит линию с номером *LINE*.
- *Lab* – может иметь своим значением метки перемещений (*UX, UY, UZ*), вращений (*ROTX, ROTY, ROTZ*), температуры (*TEMP*), метка *ALL* означает использование всех меток и д.р.
- *Value1* – значение параметра *Lab*.

- *Value2* – параметр, не используемый в данном пособии.

Ограничение степеней свободы на поверхностях

Ограничение перемещений (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Displacement> On Areas

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора *Apply U,ROT on Areas*. Следует:

- Выбрать поверхности с одинаковыми значениями перемещений с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или *Apply*.

После этого появится второе диалоговое окно *Apply U, ROT on Areas*, в котором следует указать:

- Направление глобальной системы координат (элемент списка *Lab2*: по оси *X* – пункт *UX*, по оси *Y* – пункт *UY*, по оси *Z* – пункт *UZ* или во всех направлениях – пункт *ALL DOF*), в котором необходимо ограничить перемещения на поверхностях.

З а м е ч а н и е! Выбор осуществляется с помощью «мыши». Строка с выбранным пунктом подсвечивается синим цветом.

- величину допустимого перемещения (с учетом знака) (поле ввода *VALUE* – «по умолчанию» при не заполненном поле значение равно нулю),
- Подтвердить выбор, нажав кнопку **OK** или *Apply*.

Ограничение температуры (Thermal Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Thermal> Temperature> On Areas

При использовании этого пункта меню появится окно выбора *Apply TEMP on Areas*. Следует выбрать поверхности с одинаковыми значениями температур и подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или *Apply*.

После этого появится диалоговое окно *Apply TEMP on Areas*, в котором следует величину температуры.

З а м е ч а н и е! *Общий вид второго окна Apply TEMP on Areas полностью соответствует виду окна Apply TEMP on Lines для линий.*

Дополнительные пункты главного меню

Кроме того, используя следующие пункты меню, можно на этапе решения определить заново или провести корректировку уже приложенных ограничений на поверхностях:

Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Structural> Displacement> On Areas

Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Thermal> Temperature> On Areas

Команда

Общий вид команды при вводе с клавиатуры:

DA, AREA, Lab, Value1, Value2

где

- *AREA* – поверхность, на которой должны быть определены ограничения. Если *AREA = ALL*, то ограничения будут наложены на все выбранные с помощью команды *ASEL* поверхности. Если *AREA = P*, то будет использован графический выбор и остальные параметры команды будут проигнорированы. Номер поверхности может быть использован в качестве значения параметра *AREA*.
- *Lab* – может иметь своим значением метки перемещений (*UX, UY, UZ*), вращений (*ROTX, ROTY, ROTZ*), температуры (*TEMP*), метка *ALL* означает использование всех меток и др.
- *Value1* – числовое значение параметра *Lab*.
- *Value2* – параметр, не используемый в данном пособии.

Ограничение степеней свободы в узловых точках конечно-элементной сетки

Ограничение перемещений (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Displacement> On Nodes

При использовании этого пункта меню появится окно выбора *Apply U,ROT on Nodes*. Следует:

- Выбрать узловые точки конечно-элементного разбиения с одинаковыми значениями перемещений с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок **OK**.

После этого появится диалоговое окно *Apply U, ROT on Nodes*, в котором следует указать:

- Направление глобальной системы координат (элемент списка *Lab2*: по оси *X* – пункт *UX*, по оси *Y* – пункт *UY*, по оси *Z* – пункт *UZ* или во всех направлениях – пункт *ALL DOF*), в котором необходимо ограничить перемещения в узловых точках.

З а м е ч а н и е! Выбор осуществляется с помощью «мыши». Строка с выбранным пунктом подсвечивается синим цветом.

- Величину допустимого перемещения, с учетом знака (поле ввода *VALUE* – «по умолчанию» при не заполненном поле значение равно нулю).
- Подтвердить выбор, нажав кнопку **OK**.

Ограничение температуры с помощью пунктов главного меню (Thermal Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Thermal> Temperature> On Nodes

При использовании этого пункта меню появится окно выбора *Apply TEMP on Nodes*. Следует выбрать узловые точки с одинаковыми значениями температур и подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или *Apply*.

После этого появится диалоговое окно *Apply TEMP on Nodes*, в котором следует указать величину температуры.

Команда

D, NODE, Lab, VALUE1, VALUE2, NEND, NINC, Lab2, Lab3, Lab4, Lab5, Lab6

где

- *NODE* – узловая точка, в которой определяется ограничение (номер). Если вместо параметра *NODE* стоит *ALL*, то аргументы *NEND* и *NINC* будут проигнорированы и ограничения приложены ко всем выбранным с помощью команды *NSEL* точкам. Если *NODE = P*, то будет использоваться графический выбор узловых точек и все оставшиеся поля команды игнорируются. Номер узловой точки может также быть подставлено вместо *NODE*.
- *Lab* – разрешенная степень свободы. Если *Lab = ALL*, то используются все соответствующие метки. Для структурного анализа: перемещения - *UX, UY, UZ* и вращения - *ROTX, ROTY, ROTZ*. Для задач теплообмена: температура (*TEMP*).
- *VALUE1* – значение параметра *Lab* или имя таблицы.
- *VALUE2* – параметр, не используемый в данном пособии.
- *NEND, NINC* – определяют те же величины ограничений для ряда точек от *NODE* до *NEND* («по умолчанию» *NODE*) с шагом *NINC* («по умолчанию» равно 1).
- *Lab2, Lab3, Lab4, Lab5, Lab6* – дополнительные степени свободы меток.

***З а м е ч а н и е!* Вращения должны быть введены в радианах.**

Сосредоточенные нагрузки в ANSYS

Сосредоточенными силовыми нагрузками называются нагрузки, приложенные в точке, т.е. нагрузки, действующие, например, на очень малой площади поверхности. Сосредоточенные нагрузки не всегда поверхностные, они могут действовать и внутри твердотельной модели.

В каждом разделе ANSYS, посвященном решению задач конкретного физического содержания существуют свои сосредоточенные усилия. Так в

структурном анализе это сила (ее проекции: FX , FY , FZ), моменты (MX , MY , MZ), а в задачах теплообмена – тепловой поток ($HEAT$).

Приложение сосредоточенных силовых нагрузок к ключевым точкам твердотельной модели

Приложить сосредоточенные нагрузки к ключевым точкам можно с помощью средств графического интерфейса при проведении препроцессорной подготовке модели.

Сосредоточенная Сила/Момент (Structural Analysis)

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора *Apply F/M on KPs*. Следует:

- Выбрать ключевые точки твердотельной модели с одинаковыми значениями сосредоточенных сил с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или **Apply**.

После этого появится второе диалоговое окно *Apply F/M on KPs* (Рисунок 3), в котором следует указать:

- направление глобальной системы координат (элемент выпадающего списка **Lab**: по оси X – пункт FX , по оси Y – пункт FY , по оси Z - пункт FZ), в котором будет действовать усилие;
- величину усилия (с учетом знака) (поле ввода **VALUE** – «по умолчанию» при не заполненном поле значение равно нулю),
- Подтвердить выбор, нажав кнопку **OK** или **Apply**.

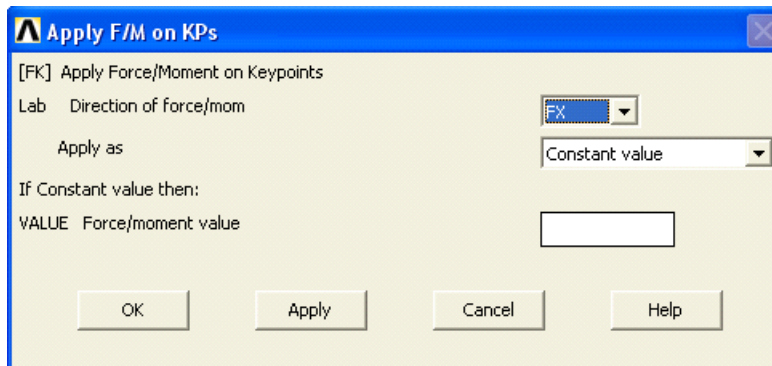


Рисунок 3. Вид окна *Apply F/M on KPs*

Сосредоточенный тепловой поток (Thermal Analysis)

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Thermal > Heat Flow > On Keypoints

При использовании этого пункта меню появится окно выбора **Apply HEAT on KPs**. Следует выбрать ключевые точки с одинаковыми значениями тепловых потоков и подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или **Apply**. После этого появится диалоговое окно **Apply HEAT on KPs** (Рисунок 4), в котором следует величину теплового потока (поле ввода **VALUE**).

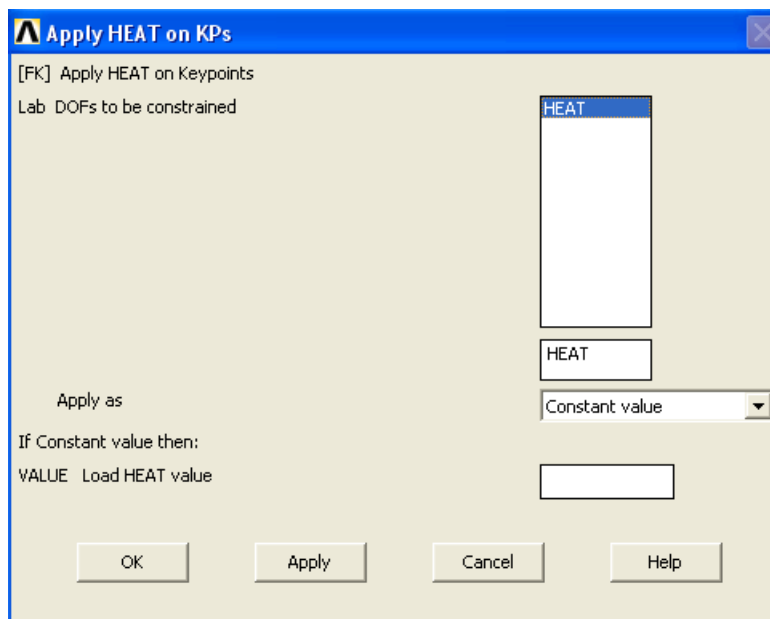


Рисунок 4. Вид окна *Apply HEAT on KPs*

З а м е ч а н и е! «По умолчанию» предполагается, что тепловой поток в узловых точках является постоянным (в выпадающем списке пункт **Constant value**).

Дополнительные пункты главного меню

Кроме того, используя следующие пункты можно на этапе решения определить заново или провести корректировку уже приложенных ограничений на температуру:

Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Structural> Force/Moment> On Keypoints

Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Thermal> Heat Flow> On Keypoints

Команда

FK, KPOI, Lab, VALUE, VALUE2

где

- ***KPOI*** – ключевая точка, в которой должна быть определена данная нагрузка. Если ***KPOI = ALL***, то усилия прикладываются ко всем выбранным с помощью команды ***KSEL*** ключевым точкам. Если ***KPOI = P***, то будет использоваться графический выбор и все остальные параметры команды игнорируются. Номер ключевой точки может также быть использован для определения значения ***KPOI***.
- ***Lab*** – в структурном анализе можно использовать метки проекции сил (***FX, FY, FZ***), проекции моментов (***MX, MY, MZ***), при решении задач теплообмена – величину сосредоточенного теплового потока (***HEAT***).
- ***VALUE*** – величина параметра ***Lab***.
- ***VALUE2*** – параметр, не используемый в данном пособии.

Приложение сосредоточенных нагрузок к узлам конечно-элементной сетки

Приложить сосредоточенные нагрузки к узлам конечно-элементной сетки можно с помощью средств графического интерфейса ***GUI*** при проведении препроцессорной подготовке модели.

Сосредоточенная Сила/Момент (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Force/Moment> On Nodes

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора ***Apply F/M on Nodes***. Следует:

- Выбрать узловые точки конечноэлементной модели с одинаковыми значениями сосредоточенных сил с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или **Apply**.

После этого появится второе диалоговое окно **Apply F/M on Nodes**, в котором следует указать:

- направление глобальной системы координат (элемент выпадающего списка **Lab**: по оси **X** – пункт **FX**, по оси **Y** – пункт **FY**, по оси **Z** - пункт **FZ**), в котором необходимо указать величину проекции;
- величину проекции (с учетом знака) (метка поля ввода **VALUE** – «по умолчанию» при не заполненном поле значение равно нулю),
- Подтвердить выбор, нажав кнопку **OK** или **Apply**.

З а м е ч а н и е! Вид окна **Apply F/M on Nodes** полностью соответствует виду окна **Apply F/M on KPs** из предыдущего пункта. «По умолчанию» предполагается, что сосредоточенные силы в выбранных узловых точках являются постоянными (в выпадающем списке пункт **Constnt value**).

Сосредоточенный тепловой поток (**Thermal Analysis**)

Main Menu > Preprocessor > Loads > Deifne Loads > Apply > Thermal > Heat Flow > On Nodes

При использовании этого пункта меню появится окно выбора **Apply HEAT on Nodes**. Следует выбрать узловые точки конечно элементной модели с одинаковыми значениями тепловых потоков и подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или **Apply**. После этого появится диалоговое окно **Apply HEAT on nodes**, в котором следует величину теплового потока (метка поля ввода **VALUE**).

З а м е ч а н и е! «По умолчанию» предполагается, что тепловой поток в узловых точках является постоянным (в выпадающем списке пункт **Constant value**).

Дополнительные пункты главного меню

Дополнительно приложить нагрузки в процессе решения, не выходя из модуля решения:

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Heat Flow > On Nodes

Команда

Можно определить сосредоточенные нагрузки с помощью команды **F**, имеющей формат:

F, NODE, Lab, VALUE, VALUE2, NEND, NINC

где

- **NODE** – узел, в котором должна быть определена данная нагрузка. Если **NODE = ALL**, то **NEND** и **NINC** игнорируются и усилия прикладываются ко всем выбранным с помощью команды **NSEL** узлам. Если **NODE = P**, то будет использоваться графический выбор и все остальные параметры команды игнорируются. Компонентное имя может также быть использовано для определения значения **NODE**.
- **Lab** – допустимая метка силы. В структурном анализе можно использовать метки проекции сил (**FX, FY, FZ**), проекции моментов (**MX, MY, MZ**), при решении термических задач – величину сосредоточенного теплового потока (**HEAT**).
- **VALUE** – величина силы параметра, указанного меткой **Lab** или др.
- **VALUE2** – параметр, не используемый в данном пособии.
- **NEND, NINC** – определяют силу, приложенную от **NODE** до **NEND** («по умолчанию» **NODE**) с шагом **NINC** («по умолчанию» равно 1).

Распределенные нагрузки в ANSYS

Различные виды распределенных по линиям или поверхностям нагрузок доступны в каждом типе решаемых задач. Так, в структурном

анализе - это давление (**PRES**), при решении термозадач - тепловой поток (**HFLUX**) и др. В данном пособии рассматриваются простейшие распределенные нагрузки, изучение физического смысла которых входит в курс соответствующих дисциплин ВУЗов.

Нагрузки распределенные по линиям

*Приложение давлений (**Structural Analysis**)*

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Pressure> On Lines

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора **Apply PRESS on Lines**. Следует:

- Выбрать линии твердотельной модели с одинаковыми значениями распределенных сил с помощью «мышь» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или **Apply**.

После этого появится второе диалоговое окно **Apply PRESS on lines** (Рисунок 5), в котором следует указать:

- В первом поле ввода с меткой **VALUE** величину давления в ключевой точке ограничивающей линию с младшим номером.
- Во втором поле ввода с меткой **Value** величину давления во второй ключевой точке ограничивающей линию (точка со старшим номером).
- Подтвердить выбор, нажав кнопку **OK** или **Apply**.

З а м е ч а н и е! Если давление равномерное и не изменяется вдоль линии, то достаточно заполнить первое поле ввода, а второе оставить пустым. «По умолчанию» предполагается, что тепловой поток на линиях является постоянным (в выпадающем списке пункт **Constant value**).

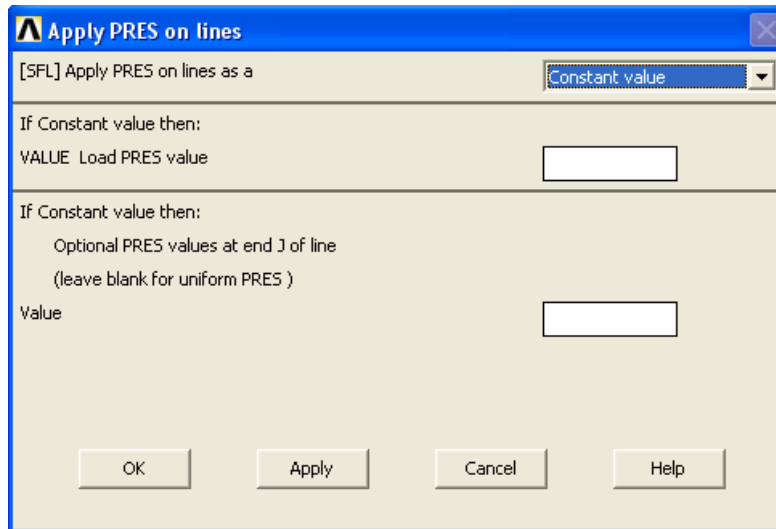


Рисунок 5. Вид окна *Apply PRESS on lines*

Распределенный тепловой поток (Thermal Analysis)

Main Menu> *Preprocessor*> *Loads*> *Define Loads*> *Apply*> *Thermal*> *Heat Flux*> *On Lines*

При использовании этого пункта меню появится окно выбора *Apply HFLUX on Lines*. Следует:

- Выбрать линии твердотельной модели с одинаковыми значениями теплового потока с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или *Apply*.

После этого появится диалоговое окно *Apply HFLUX on lines* (Рисунок 6), в котором следует указать:

- В первом поле ввода с меткой **VALUE** величину теплового потока в ключевой точке, ограничивающей линию с младшим номером.
- Во втором поле ввода с меткой **Value** величину теплового потока во второй ключевой точке, ограничивающей линию (точка со старшим номером).
- Подтвердить выбор, нажав кнопку **OK** или *Apply*.

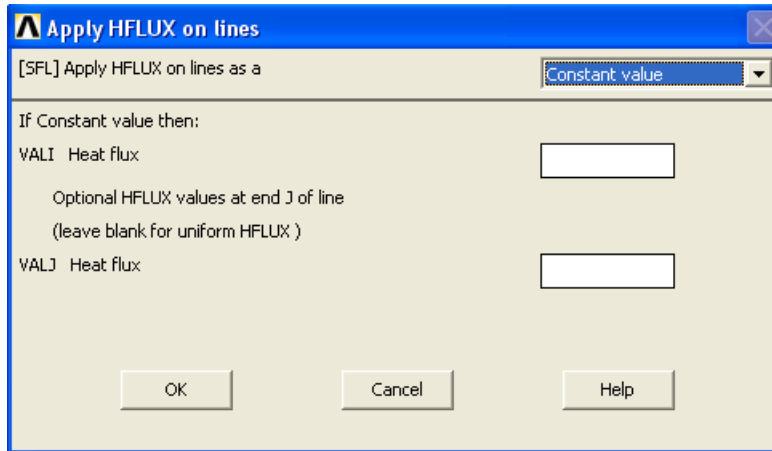


Рисунок 6. Вид окна *Apply HFLUX on lines*

Дополнительные пункты главного меню

Также можно дополнительно приложить нагрузки в процессе решения, не выходя из модуля решения «**Solution**»:

Main Menu > **Solution** > **Define Loads** > **Apply** > **Structural** > **Pressure** > **On Lines**

Main Menu > **Solution** > **Define Loads** > **Apply** > **Thermal** > **Heat Flux** > **On Lines**

Команда

SFL, **LINE**, **Lab**, **VALI**, **VALJ**, **VAL2I**, **VAL2J**

где

- **LINE** – линия, к которой приложены нагрузки. Если **LINE = ALL**, то прилагаются нагрузки ко всем выбранным с помощью команды **LSEL** линиям. Если **LINE = P**, то будет использоваться графический выбор и все остальные значения параметров игнорируются.
- **Lab** – допустимая метка поверхностной нагрузки. Структурный анализ – давление (**PRES**); при решении термозадач - тепловой поток (**HFLUX**) и т.д.
- **VALI**, **VALJ** – величины поверхностной нагрузки в первой и второй ключевых точках линии соответственно. Если **VALJ** отсутствует, «по умолчанию» **VALI = VALJ**.

- *VAL2I, VAL2J* - вторые величины поверхностных нагрузок (не используются в данном пособии).

З а м е ч а н и е! Очевидно, что если задать различные значения нагрузок на концах линии (ключевых точках), то можно аппроксимировать ломаной линией любое нагружение на линейном участке конструкции.

Приложение давления к боковой поверхности балочных элементов

З а м е ч а н и е! В отличие от предыдущего случая (приложение распределенных нагрузок к линии), когда направление нормали на поверхности известно, при приложении давления к балочному элементу используются «точки» ориентации для определения направления, в котором действуют распределенные нагрузки. Эти точки должны быть определены на этапе разбиения.

Пункт главного меню (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Pressure> On Beams

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора *Apply PRES on Beams* (Рисунок 7). Следует:

- Выбрать балочные элементы модели с одинаковыми значениями распределенных сил с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или *Apply*.
- После этого появится второе диалоговое окно *Apply PRES on Beams*, в котором следует указать требуемые параметры.
- Подтвердить выбор, нажав кнопку **OK** или *Apply*.

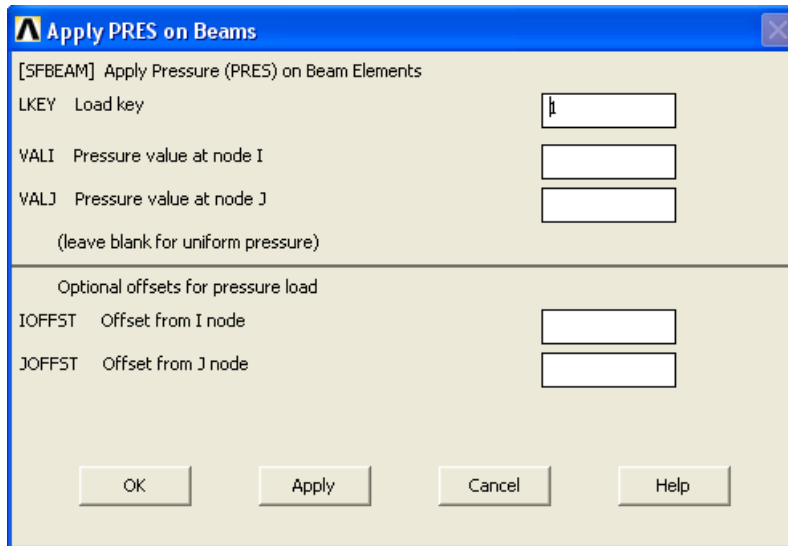


Рисунок 7. Вид окна *Apply PRES on Beams*: *LKEY* – поле ввода нагрузочного ключа, связанного с поверхностной нагрузкой («по умолчанию» равно 1); *VALI*, *VALJ* – поля ввода величины поверхностной нагрузки в первом (*I*) и втором (*J*) узле балочного элемента соответственно. Если *VALJ* отсутствует, «по умолчанию» $VALJ = VALI$. Значение *VALJ* может быть нулевым; *IOFFST* – поле ввода расстояние от узловой точки *I*, где нагрузка величиной *VALI* прилагается; *JOFFST* – поле ввода расстояние от узловой точки *J*, где нагрузка величиной *VALJ* прилагается

Дополнительный пункт главного меню

Также можно дополнительно приложить нагрузки в процессе решения, не выходя из модуля решения «*Solution*»:

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams

Команда

SFBEAM, ELEM, LKEY, Lab, VALI, VALJ, VAL2I, VAL2J, IOFFST, JOFFST

где

- ***ELEM*** – элемент, к которому должна быть приложена нагрузка. Если в качестве значения ***ELEM*** используется ***ALL***, то прилагаются нагрузки ко всем выбранным с помощью команды ***ESEL*** балочным элементам. Если ***ELEM = P***, то доступен графический выбор и все остальные значения параметров

игнорируются. Номер балочного элемента также может использоваться в качестве значения *ELEM*.

- *LKEY*, *VALI*, *VALJ*, *IOFFST*, *JOFFST* – параметры, определенные выше.
- *Lab* – допустимая метка нагрузки. Например, структурный анализ – давление (*PRES*).
- *VAL2I*, *VAL2J* - вторые величины поверхностных нагрузок (не используется в данном пособии).

З а м е ч а н и е! Если никаких расстояний не определено, то нагрузка прилагается ко всей длине балочного элемента. Размерность приложенной нагрузки Сила / Длина. С помощью варьирования значений *VALI* и *VALJ* можно задавать так называемые градиентные нагрузки на балочных элементах. Последовательно подбирая их величины на концах балочных элементов, можно приближенно задать любую распределенную нагрузку, приложенную к боковой поверхности любой балки ломаной линией.

Нагрузки распределенные по поверхностям

Приложение давлений (*Structural Analysis*)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Pressure> On Areas

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора *Apply PRESS on Areas*. Следует:

- Выбрать поверхности твердотельной модели с одинаковыми значениями давления с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок *OK*.

После этого появится второе диалоговое окно *Apply PRESS on areas* (Рисунок 8), в котором следует указать:

- В первом поле ввода с меткой *VALUE* величину давления на поверхности.
- Подтвердить выбор, нажав кнопку *OK* или *Apply*.

З а м е ч а н и е! Второе поле ввода LKEY используется только в случае использования поверхностных элементов, для указания с какой стороны поверхности прикладывается давление.

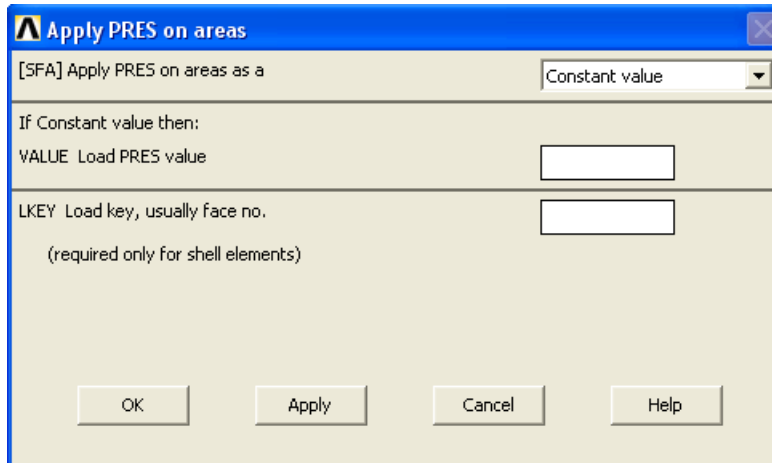


Рисунок 8. Вид окна *Apply PRESS on areas*

Распределенный тепловой поток (*Thermal Analysis*)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Thermal> Heat Flux> On Areas

При использовании этого пункта меню появится окно выбора *Apply HFLUX on Areas*. Следует:

- Выбрать поверхности твердотельной модели с одинаковыми значениями давления с помощью «мыши» или командной строки (по номеру).
- Подтвердить выбор нажатием кнопок **OK** или *Apply*.

После этого появится второе диалоговое окно *Apply HFLUX on areas* (Рисунок 9), в котором следует указать:

- В первом поле ввода с меткой **VALUE** величину теплового потока на поверхности;
- Подтвердить выбор, нажав кнопку **OK** или *Apply*.

З а м е ч а н и е! Второе поле ввода LKEY используется только в случае использования поверхностных элементов, для указания с какой стороны поверхности прикладывается тепловой поток.

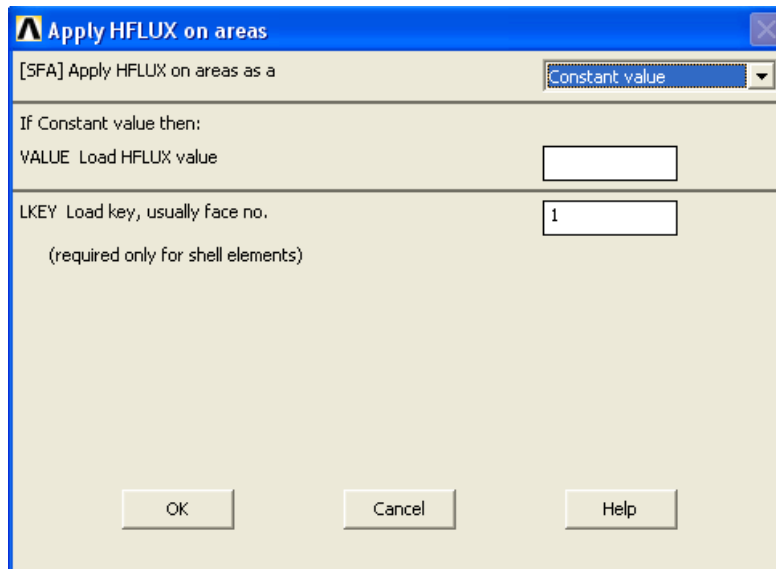


Рисунок 9. Вид окна *Apply HFLUX on areas*

Дополнительные пункты главного меню

Также можно дополнительно приложить нагрузки в процессе решения, не выходя из модуля решения «*Solution*»:

Main Menu > *Solution* > *Define Loads* > *Apply* > *Structural* > *Pressure* > *On Areas*

Main Menu > *Solution* > *Define Loads* > *Apply* > *Thermal* > *Heat Flux* > *On Areas*

Команда

SFA, *AREA*, *LKEY*, *Lab*, *VALUE*, *VALUE2*

где

- *AREA* – поверхность, к которой приложены нагрузки. Если *AREA = ALL*, то прилагаются нагрузки ко всем выбранным с помощью команды *ASEL* линиям. Если *AREA = P*, то доступен графический выбор и все остальные значения параметров игнорируются. В качестве значения параметра *AREA* может быть использован номер поверхности.
- *LKEY* – нагрузочный признак, связанный с поверхностной нагрузкой. Значение параметра игнорируется, если *AREA* –

поверхность детали, уже разбитой с помощью объемных элементов.

- **Lab** – допустимая метка поверхностной нагрузки. Структурный анализ – давление (**PRES**); при решении термозадач - тепловой поток (**HFLUX**) и т.д.
- **VALUE** – величины поверхностной нагрузки. Если **VALUE** отсутствует, «по умолчанию» **VALI = VALJ**.
- **VALUE2** – значение второй поверхностной нагрузки (если необходимо). В рассматриваемых типах анализа отсутствует.

Простейшие способы использования объемных нагрузок. Инерционные нагрузки в ANSYS

Моделирование сил гравитации

Пункт главного меню

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Inertia> Gravity> Global

При использовании этого пункта меню появится окно выбора **Apply (Gravitational) Acceleration** (Рисунок 10). При этом следует заполнить поля ввода и для подтверждения выбора нажать кнопки **OK** или **Apply**.

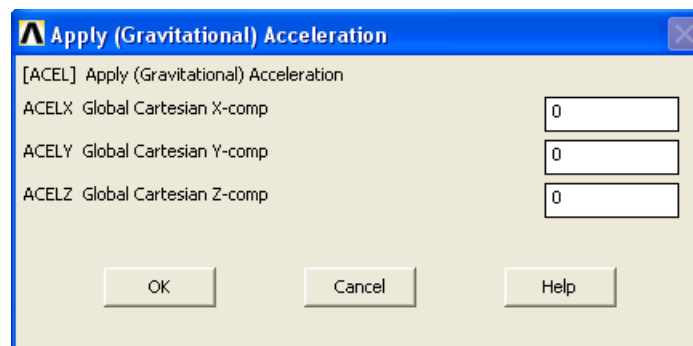


Рисунок 10. Вид окна *Apply (Gravitational) Acceleration*: **ACELX, **ACELY**, **ACELZ** – поля ввода координат вектора линейного ускорения структуры в глобальной декартовой системе координат с направлениями осей **X**, **Y** и **Z**.**

Дополнительный пункт главного меню

Также можно дополнительно приложить нагрузки в процессе решения не выходя из модуля решения «**Solution**»:

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Gravity

Команда

ACEL, ACELX, ACELY, ACELZ

где **ACELX, ACELY, ACELZ** – параметры, описанные выше (см. Рисунок 10).

З а м е ч а н и е! Для моделирования притяжения необходимо определить ускорение структуры в противоположном направлении. Размерность в соответствующей системе измерений – длина / (время в квадрате).

Моделирование влияния угловой скорости на напряженное состояние

Пункт главного меню

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Structural > Inertia > Angular Velocity > Global

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора **Apply Angular Velocity**. При этом следует заполнить поля ввода и для подтверждения выбора нажать кнопки **OK** или **Apply**.

Дополнительный пункт главного меню

Также можно дополнительно приложить нагрузки в процессе решения, не выходя из модуля решения «**Solution**»:

Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Angular Velocity > Global

Команда

OMEGA, OMEGX, OMEGY, OMEGZ, KSPIN

где **OMEGX, OMEGY, OMEGZ, KSPIN** – параметры описанные выше.

Моделирование влияния углового ускорения на напряженное состояние

Пункт главного меню

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Angular Accel > Global

При использовании этого пункта меню появится первое окно выбора **Apply Angular Acceleration** (Рисунок 11). При этом следует заполнить поля ввода и для подтверждения выбора нажать кнопки **OK** или **Apply**.

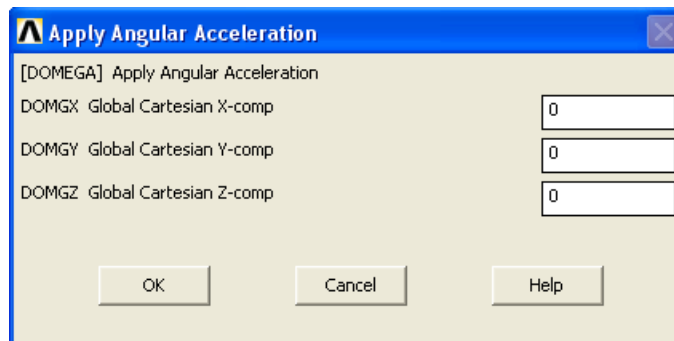


Рисунок 11. Вид окна *Apply Angular Acceleration*: *DOMGX, DOMGY, DOMGZ* – поля ввода углового ускорения конструкции относительно осей *X, Y* или *Z* соответственно. Размерность значений в соответствующей системе координат – *радианы / (время в квадрате)*; *KSPIN* – ключ, значения которого могут быть не изменяющаяся матрица жесткости (при больших скоростях) или изменяющаяся матрица жесткости.

Дополнительный пункт главного меню

Также можно дополнительно приложить нагрузки в процессе решения не выходя из модуля решения «**Solution**»:

Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Structural> Inertia> Angular Accel> Global

Команда

DOMEGA, DOMGX, DOMGY, DOMGZ

где *DOMGX, DOMGY, DOMGZ* – параметры, определенные выше (см. Рисунок 11).

Решение контактных задач

Рассмотрение контактных задач всегда выносится в отдельный раздел, т.к. они обладают некоторой спецификой. Специфика эта заключается в том, что в отличие от задач, рассмотренных выше, область приложения контактных давлений заранее не известна. Она определяется в процессе итерационного решения соответствующих уравнений. Для инженера-конструктора при решении контактной задачи с помощью ANSYS необходимо только умение гибко использовать его достаточно широкие средства.

В ANSYS для решения контактных задач используются специальные элементы и множество опций. Как правило, задача не требует переопределения значений параметров, которые выставляются «по умолчанию», кроме коэффициента трения. Поэтому мы не будем детально рассматривать возможности переопределения параметров контакта. Отметим, что значения опций не оказывают никакого влияния на последовательность и ход решения задачи:

1. Создание геометрической модели и разбиения.
2. Определение контактных пар.
3. Назначение контактной поверхности и поверхности внедрения.
4. Создание контактных пар на указанных поверхностях.
5. Определение опций и действительных констант для элементов (для контактных элементов это необходимо только, когда они определяются пользователем вручную, что выходит за рамки данной книги).
6. Наложение ограничений на перемещения взаимодействующих деталей и приложение нагрузок к ним.
7. Решение контактной задачи.
8. Просмотр результатов.

Как читатель, видимо, заметил, отличия в порядке решения любой другой задачи состоят лишь в п. 2-4. Поэтому решение контактных задач не является чем-то особенным. Подчеркнем сразу, что при решении контактной задачи от инженера требуется на первом этапе предварительно оценить по максимуму и выделить поверхность контакта, чтобы использовать контактные элементы только на этом участке, а не на всей поверхности.

Наибольшую сложность вызывает получение эпюры контактных давлений, если взаимодействуют не плоские поверхности. Об этом свидетельствуют публикации, которые касаются решения контактных задач в ANSYS. В связи с этим отметим, что хотя максимальную область контакта можно оценить практически всегда, однако какая она будет на самом деле - исследователь не знает. С другой стороны, понятно, с другой стороны, что если область контакта разбита на элементы, то размеры области контакта при итерационном (пошаговом) решении задачи меняются скачком на величину соответствующего контактного элемента. Поэтому, чтобы получить корректное распределение контактных давлений, необходимо любыми из перечисленных выше (в главе посвященной конечно-элементному разбиению) средств на этапе разбиения в области контакта, около точки или линии начального контакта, максимально сгустить сетку. Дело в том, что контактные элементы соответствуют по размерам граням конечных элементов, выходящих на поверхность детали в области контакта. Данный подход снимет все конфликтные ситуации.

В этом руководстве остановимся на самом простом (в смысле использования в работе средств *GUI*) и мощном способе решения контактных задач – использовании конечных контактных элементов типа «поверхность-поверхность». Отметим, однако, что ANSYS позволяет использовать также контактные элементы «узел-поверхность» и «узел-узел». В качестве примеров рассматриваются статические контактные задачи.

Использование элементов типа «поверхность-поверхность» для решения контактной задачи

Можно использовать контактные элементы типа «поверхность-поверхность» как для модели контакта жесткой и деформируемой поверхности, так и для решения контактной задачи для двух деформируемых поверхностей. Создать контактные пары можно (и следует для большинства приложений) с помощью средств графического интерфейса, а именно, используя средства *Contact Manager* и *Contact Wizard*. Окно *Contact Manager*

становится доступным при использовании следующего пункта главного меню (Рисунок 12):

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Contact Pair

С помощью первой кнопки  ***Contact Manager*** можно получить доступ к ***Contact Wizard*** (Рисунок 13).

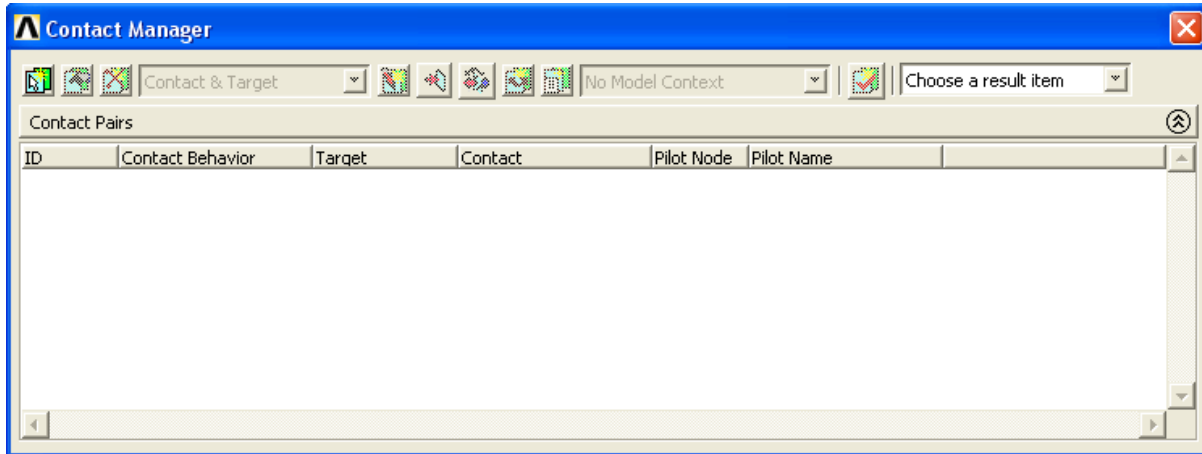


Рисунок 12. Окно *Contact Manager*

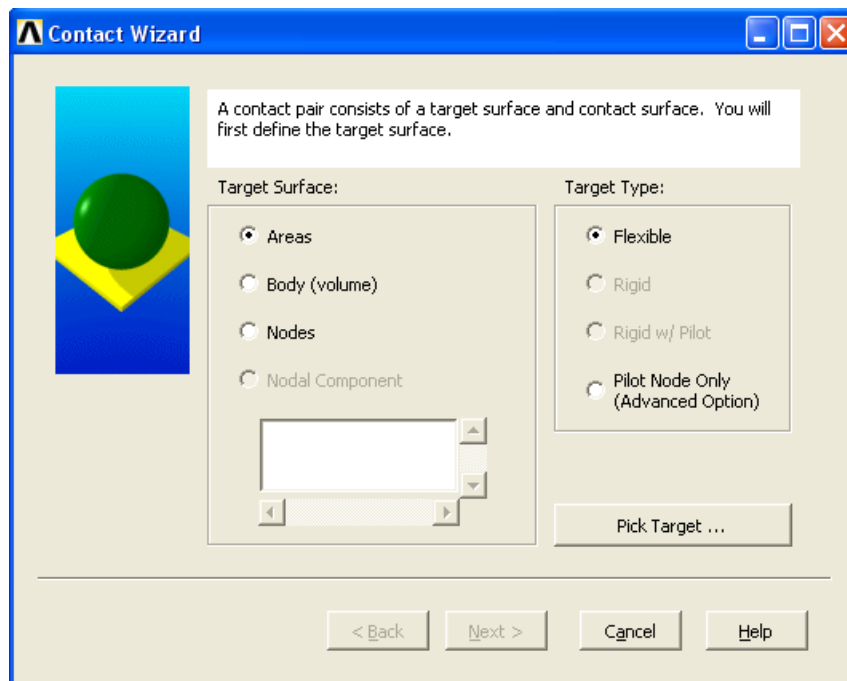


Рисунок 13. Первое окно *Contact Wizard*

Contact Wizard будет являться своего рода проводником в процессе создания контактных пар. Пояснительные рисунки и справочные сведения,

доступные при нажатии кнопки **Help**, помогут вам правильно ориентироваться в процессе создания контактных пар.

З а м е ч а н и е! «*Contact Wizard*» не доступен, если вы не разбили на конечные элементы какую-либо часть вашей модели. Если вы желаете создать модель контактного взаимодействия жесткой и деформируемой поверхностей, то вам необходимо разбить на элементы только те части модели, которые будут использовать деформируемые контактные элементы, не разбивая при этом поверхность внедрения перед использованием *Contact Wizard*.

При использовании указанного выше пункта меню вам становится доступно первое диалоговое окно ***Contact Wizard***, а именно, первое окно ***Add Contact Pair***. В нем предоставляется возможность графически назначить локализованные контактные поверхности и поверхности внедрения.

Какая поверхность в ANSYS является поверхностью внедрения?

Для контакта жесткой поверхности с деформируемой: поверхность внедрения всегда жесткая, а контактная поверхность всегда деформируемая. Для контакта деформируемого тела с деформируемым не верный выбор соответствия поверхностей может повлечь потерю точности при определении внедрения и следовательно и точности решения задачи. Рассмотрим следующие правила определения поверхностей:

1. Если выпуклая поверхность будет внедряться в плоскую или вогнутую поверхность, то последняя должна быть выбрана в качестве поверхности внедрения.
2. Если одна поверхность имеет мелкое разбиение, а вторая - грубое, то вторая должна быть назначена поверхностью внедрения.
3. Более жесткая поверхность должна быть поверхностью внедрения.
4. Если одна из поверхностей значительно больше, то она должна быть поверхностью внедрения.

Необходимо отметить, что процесс назначения контактных пар должен быть начат с указания того, с каким именно типом компонент («по умолчанию», линиями либо поверхностями, в зависимости от размерности твердотельной модели) будет работать ***Contact Wizard***. После этого, можно переходить непосредственно к назначению поверхности внедрения с использованием кнопки ***Pick Target***. Используя курсор, или с помощью непосредственного ввода номеров компонент, можно выбрать интересующие линии или поверхности, а с помощью окна графического выбора

Select Line for Target (или *Select Area for Target*, Рисунок 14) подтвердить с помощью кнопки **OK** или отредактировать выбор.

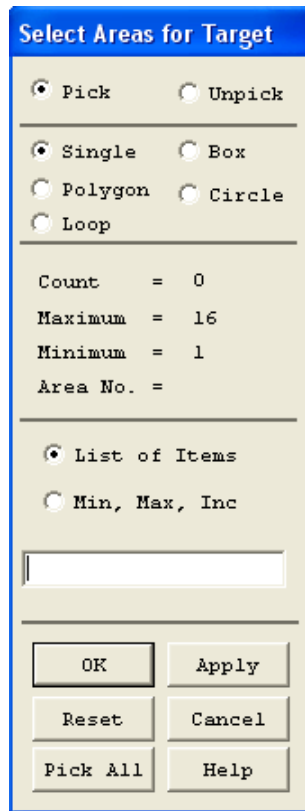


Рисунок 14. Вид окна *Select Area for Target*

Назначение контактных пар

После успешного выбора поверхности внедрения, необходимо нажать кнопку *Next>*, и перейти к выбору контактных пар с помощью второго окна *Add Contact Pair* (Рисунок 15). Здесь также необходимо указать тип компонент, с которыми будет работать ANSYS. В целом, процедура такая же, как и в случае выбора поверхностей внедрения. Подтвердить окончание выбора необходимо с помощью кнопки **OK**. После этого также необходимо нажать кнопку *Next>* и перейти к определению параметров контактного взаимодействия и непосредственно к созданию контактных пар.

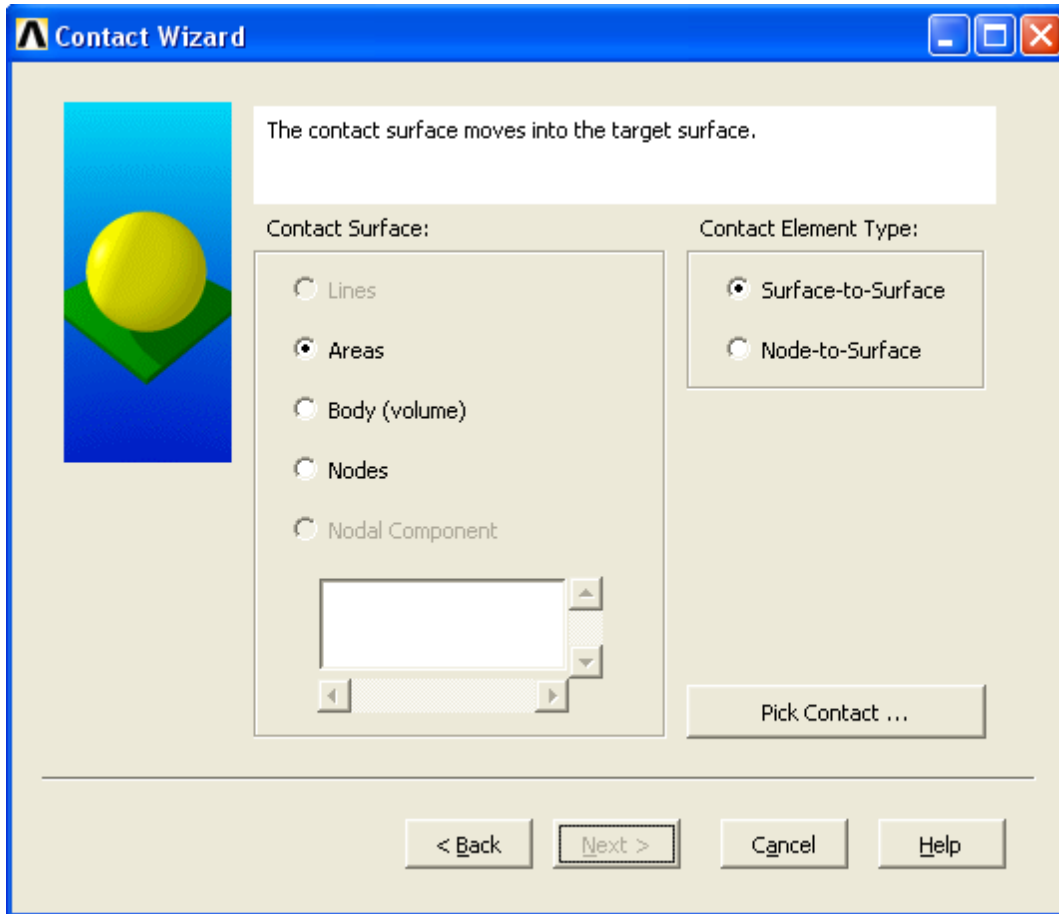


Рисунок 15. Второе окно *Contact Wizard*

Необходимо отметить, что после этого непосредственно в третьем окне *Contact Wizard* (Рисунок 16) предоставляется возможность отредактировать только коэффициент трения, однако с ростом опыта можно перейти к самостоятельному определению остальных параметров, которые становятся доступны при нажатии кнопки *Optional settings....* Таким образом, отредактировав коэффициент трения, можно нажать кнопку *Create>* либо с помощью кнопки *<Back* вернуться к предыдущим этапам, для корректировки сделанного ранее выбора.

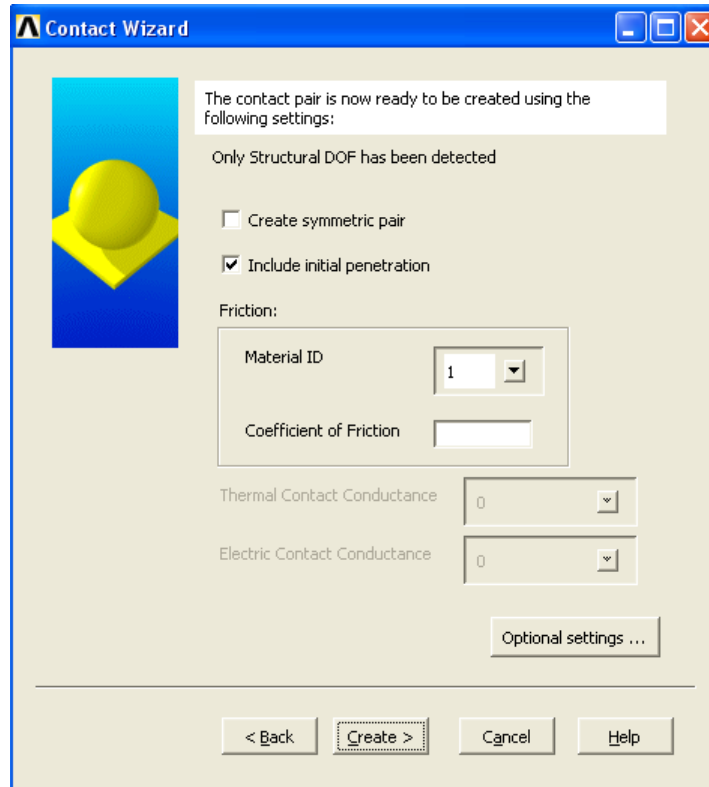


Рисунок 16. Третье окно *Contact Wizard*

После создания контактных пар, *Contact Wizard* предоставляет возможность корректировки положения нормали. «Грубо» говоря, нормали и контактной поверхности и поверхности внедрения на всех участках, на которых созданы контактные пары, должны быть направлены друг на друга, тогда все определено правильно. Если на каком-либо участке это не так, то необходимо внести исправления. И после этого нажать кнопку *Finish* (Рисунок 17). Таким образом, создание контактных пар закончено.

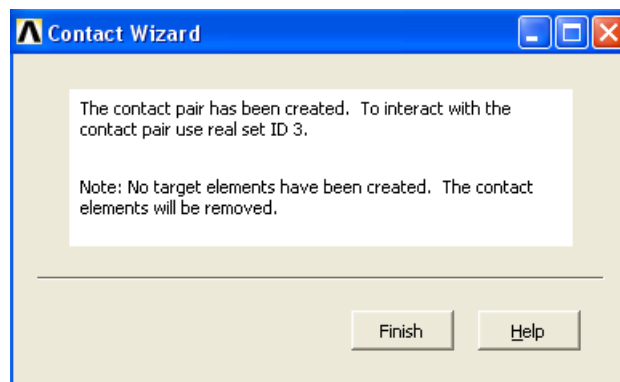


Рисунок 17. Вид заключительного окна для создания контактных пар


Просмотр списка нагрузок, действующих на модель

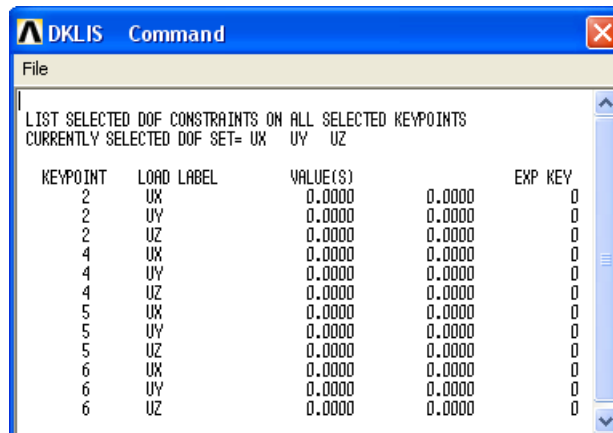
Просмотр списка ограничений

Просмотр списка ограничений на ключевые точки

Первый пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > DOF Constraints > On All Keypoints

При его использовании появится окно ***DKLIS Command*** (Рисунок 18), содержащее список номеров ключевых точек (первая колонка), меток степеней свободы (вторая колонка) и числовых значений ограничений, соответствующих меткам (третья и четвертая колонка). Заккрытие окна после ознакомления с информацией осуществляется либо с использованием меню ***File*** этого окна (необходимо выбрать пункт ***Close***), либо нажатием кнопки  этого же окна.



KEYPOINT	LOAD LABEL	VALUE(S)	EXP	KEY
2	UX	0.0000	0.0000	0
2	UY	0.0000	0.0000	0
2	UZ	0.0000	0.0000	0
4	UX	0.0000	0.0000	0
4	UY	0.0000	0.0000	0
4	UZ	0.0000	0.0000	0
5	UX	0.0000	0.0000	0
5	UY	0.0000	0.0000	0
5	UZ	0.0000	0.0000	0
6	UX	0.0000	0.0000	0
6	UY	0.0000	0.0000	0
6	UZ	0.0000	0.0000	0

Рисунок 18. Вид окна *DKLIS Command*

З а м е ч а н и е! В третьей колонке выводятся значения параметра ***VALUE*** из вышеуказанной команды ***DK***, а четвертая колонка - ***VALUE2*** (этот параметр не используется в данном пособии и «по умолчанию» имеет значение нуля). Если ни в одной ключевой точке не наложены ограничения, то список ограничений пуст, и об этом выдается сообщение в окне ***DKLIS Command***.

Второй пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > DOF Constraints > On Picked KPs

При его использовании появится окно выбора **LIST Keypt DOF Constraints**. С его помощью необходимо выбрать ключевые точки, параметры которых необходимо отобразить в списке. После подтверждения выбора нажатием кнопки **OK** или **Apply**, появляется окно **DKLIS Command**, в котором отображаются все ограничения, наложенные на ключевые точки.

З а м е ч а н и е! Если в выбранных ключевых точках не наложены ограничения, то список ограничений пуст, и об этом выдается сообщение в окне **DKLIS Command**.

Команда

Вид команды при вводе с клавиатуры:


DKLIST, KPOI

где **KPOI** - параметр, указывающий ограничения на какую ключевую точку, необходимо отобразить в списке. Если **KPOI = ALL** (это значение «по умолчанию»), то выводится список всех выбранных командой **KSEL** ключевых точек. Если **KPOI = P**, то возможен графический выбор. Номер ключевой точки может также быть значением параметра **KPOI**.

Просмотр списка ограничений на линии

Первый пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > DOF Constraints > On All Lines

При его использовании появится окно **DLLIS Command** (Рисунок 19), содержащее список номеров линий (первая колонка), меток степеней свободы (вторая колонка), числовых значений ограничений, соответствующих меткам (третья и четвертая колонка) и номеров поверхностей, которым принадлежат линии (пятая колонка). Закрытие окна после ознакомления с информацией осуществляется либо с использованием меню **File** этого окна (необходимо выбрать пункт **Close**), либо нажатием кнопки  этого же окна

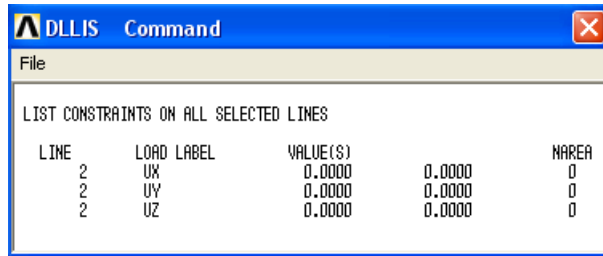


Рисунок 19. Вид окна *DLLIS Command*

З а м е ч а н и е! В третьей колонке выводятся значения параметра *VALUE1* из вышеуказанной команды *DL*, а четвертая колонка - *VALUE2* (этот параметр не используется в данном пособии и «по умолчанию» имеет значение нуля). Если ни на одной линии не наложены ограничения, то список ограничений пуст, и об этом выдается сообщение в окне *DLLIS Command*.

Второй пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > DOF Constraints > On Picked Lines

При его использовании появится окно выбора *List Line DOF Constraints*. С его помощью следует выбрать линии, параметры которых необходимо отобразить в списке. После подтверждения выбора нажатием кнопки **OK** или *Apply*, появляется окно *DLLIS Command*, в котором отображаются все ограничения, наложенные на линии.

З а м е ч а н и е! Если на выбранных линиях не наложены ограничения, то список ограничений пуст и об этом выдается сообщение в окне *DLLIS Command*.

Команда

Вид команды при вводе с клавиатуры:

DLLIST, LINE

где *LINE* – линия, ограничения на которой должны быть отражены в списке. Если *LINE = ALL*, то ограничения, наложенные на все выбранные с помощью команды *LSEL* линии, будут отражены. Если *LINE = P*, то графический выбор линий доступен. Номер линии может использоваться вместо параметра *LINE*.

Просмотр списка ограничений на поверхности

Первый пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > DOF Constraints > On All Areas


При его использовании появится окно **DALIS Command** (Рисунок 20), содержащее список номеров поверхностей (первая колонка), меток степеней свободы (вторая колонка) и числовых значений ограничений, соответствующих меткам (третья и четвертая колонка). Закрытие окна после ознакомления с информацией осуществляется либо с использованием меню **File** этого окна (необходимо выбрать пункт **Close**), либо нажатием кнопки  этого же окна



Рисунок 20. Вид окна *DALIS Command*

З а м е ч а н и е! В третьей колонке выводятся значения параметра **VALUE1** из вышеуказанной команды **DA**, а четвертая колонка - **VALUE2** (этот параметр не используется в данном пособии и «по умолчанию» имеет значение нуль). Если ни на одной поверхности не наложены ограничения, то список ограничений пуст, и об этом выдается сообщение в окне **DALIS Command**.

Второй пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > DOF Constraints > On Picked Areas

При его использовании появится окно выбора **List Area DOF Constraints**. С его помощью необходимо выбрать поверхности, параметры которых необходимо отобразить в списке. После подтверждения выбора нажатием кнопки **OK** или **Apply**, появляется окно **DALIS Command**, в котором отображаются все ограничения, наложенные на поверхности.

З а м е ч а н и е! Если на выбранных поверхностях не наложены ограничения, то список ограничений пуст, и об этом выдается сообщение в окне *DALIS Command*

Команда

Формат команды при вводе с клавиатуры имеет вид:


DALIST, AREA

где ***AREA*** – поверхность, список ограничений на которую должен быть отражен на экране. Если ***AREA = ALL***, то будут отображены ограничения, наложенные на все выбранные с помощью команды ***ASEL*** поверхности. Если ***AREA = P***, то графический выбор поверхностей доступен. Номер поверхности может быть использован вместо параметра ***AREA***.

Просмотр списка ограничений в узловых точках

Первый пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > DOF Constraints > On All Nodes

При его использовании появится окно ***DLIST Command*** (Рисунок 21), содержащее список номеров узловых точек (первая колонка), меток степеней свободы (вторая колонка) и числовых значений ограничений, соответствующих меткам (третья и четвертая колонка). Закрытие окна после ознакомления с информацией осуществляется либо с использованием меню ***File*** этого окна (необходимо выбрать пункт ***Close***), либо нажатием кнопки  этого же окна.

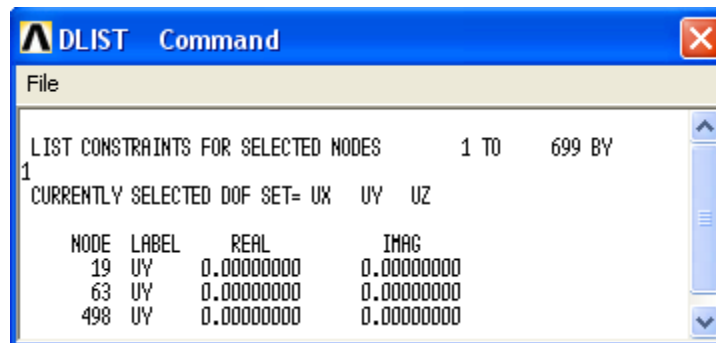


Рисунок 21. Вид окна *DLIST Command*

З а м е ч а н и е! В третьей колонке выводятся значения параметра *VALUE1* из вышеуказанной команды *D*, а четвертая колонка - *VALUE2* (этот параметр не используется в данном пособии и «по умолчанию» имеет значение нуль).

Второй пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > DOF Constraints > On Picked Nodes

При его использовании появится окно выбора ***List Nodal DOF Constraints***. С его помощью необходимо выбрать узловые точки, параметры которых необходимо отобразить в списке. После подтверждения выбора нажатием кнопки ***OK*** или ***Apply***, появляется окно ***DLIST Command***, в котором отображаются все ограничения, наложенные на выбранные узловые точки.

Команда

Формат команды при вводе с клавиатуры

DLIST, NODE1, NODE2, NINC

где


- ***NODE1*** – номер первой узловой точки, с которой начинается вывод списка значений. Если ***NODE1 = ALL*** (значение «по умолчанию»), то ***NODE2*** и ***NINC*** игнорируются, и ограничения для всех выбранных точек выводятся. Если ***NODE1 = P***, то позволяет ввести точку с помощью средств графического выбора и значение во всех остальных полях игнорируются.
- ***NODE2*** – последняя узловая точка списка.
- ***NINC*** – шаг изменения нумерации («по умолчанию» равно 1).

Просмотр списка сосредоточенных нагрузок

Просмотр списка сосредоточенных нагрузок, приложенных к ключевым точкам

Первый пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Forces > On All Keypoints

При его использовании появится окно ***FKLIS Command***, содержащее список ключевых точек: их номера (первая колонка), метки нагрузок либо проекции сил на координатные направления (вторая колонка) и числовые значения нагрузок, соответствующих меткам (третья колонка). Закрытие окна после ознакомления с информацией осуществляется либо с использованием меню ***File*** этого окна (необходимо выбрать пункт ***Close***), либо нажатием кнопки  этого же окна.

Второй пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Forces > On Picked KPs

При его использовании появится окно выбора ***List Keypoints Forces***. С его помощью необходимо выбрать ключевые точки, параметры которых необходимо отобразить в списке. После подтверждения выбора нажатием кнопки ***OK*** или ***Apply*** появляется окно ***FKLIST Command***, в котором отображаются все нагрузки приложенные к выбранным ключевым точкам.

Команда

FKLIST, KPOI, Lab

где


- ***KPOI*** – ключевая точка, нагрузка в которой должна быть выведена в виде списка. Если ***KPOI = ALL*** («по умолчанию»), то выводится список сосредоточенных усилий, приложенных в узловых точках, которые выбраны с помощью команды ***KSEL***. Если ***KPOI = P***, то доступен графический выбор и все остальные параметры команды игнорируются. Номер ключевой точки может быть использован для определения значения ***KPOI***.

- **Lab** – допустимая метка силы. В структурном анализе можно использовать метки проекции сил (**FX**, **FY**, **FZ**), проекции моментов (**MX**, **MY**, **MZ**), при решении задач теплообмена – величину сосредоточенного теплового потока (**HEAT**).

Просмотр списка сосредоточенных нагрузок, приложенных к узлам конечно-элементной сетки

Первый пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Forces > On All Nodes

При его использовании появится окно **FLIST Command**, содержащее список узловых точек: их номера (первая колонка), метки нагрузок либо проекции сил на координатные направления (вторая колонка) и числовые значения нагрузок, соответствующих меткам (третья колонка). Закрытие окна после ознакомления с информацией осуществляется либо с использованием меню **File** этого окна - необходимо выбрать пункт **Close**, либо нажатием кнопки  этого же окна.

Второй пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Forces > On Picked Nodes

При его использовании появится окно выбора **List Nodal Forces**. С его помощью необходимо выбрать узловые точки, параметры которых необходимо отобразить в списке. После подтверждения выбора нажатием кнопки **OK** или **Apply**, появляется окно **FKLIST Command**, в котором отображаются все нагрузки, приложенные к выбранным узловым точкам конечно-элементной модели.

Команда

FLIST, NODE1, NODE2, NINC

где значения **NODE1**, **NODE2**, **NINC** указывают, что необходимо вывести список от узла с номером **NODE1** до узла с номером **NODE2**, при этом шаг изменения номеров определяется параметром **NINC** («по умолчанию» равен 1). Если **NODE1 = ALL**, то **NEND** и **NINC** игнорируются и выводится список


усилий, приложенных ко всем выбранным с помощью команды *NSEL* узлам. Если *NODE1 = P*, то доступен графический выбор узлов и все остальные параметры команды игнорируются.

З а м е ч а н и е! Попробуйте указать в качестве значения *NODE2* число большее, чем наибольший существующий номер в данном разбиении, приведет к непредсказуемым последствиям.

Просмотр списка нагрузок, распределенных по линиям

Первый пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Surface > On All Lines

При его использовании появится окно *SFLLI Command* (Рисунок 22), содержащее список всех линий: их номера (первая колонка), метки нагрузок (вторая колонка) и числовые значения нагрузок, в ключевых точках соответствующих концам линии (третья и четвертая колонка). Закрытие окна после ознакомления с информацией осуществляется либо с использованием меню *File* этого окна и использованием пункта *Close*, либо нажатием кнопки  этого же окна.

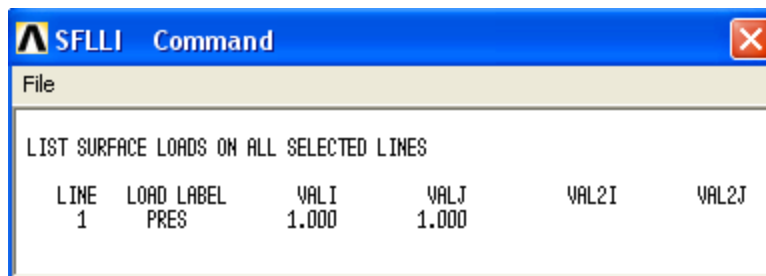


Рисунок 22. Вид окна *SFLLI Command*

Второй пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Surface Loads > On Picked Lines

При его использовании появится окно выбора *List Line Surf Loads*. С его помощью необходимо выбрать линии, нагрузки на которых необходимо отобразить в списке. После подтверждения выбора нажатием кнопки *OK* или *Apply* появляется описанное окно *SFLLIST Command* (аналогичное окну

SFLLI Command), в котором отображаются все нагрузки, приложенные к выбранным линиям твердотельной модели.

Команда

SFLLIST, LINE, Lab


где

- ***LINE*** – линия, нагрузка к которой должна быть выведена в виде списка. Если ***LINE = ALL*** («по умолчанию»), то выводится список распределенных по линиям усилий, которые выбраны с помощью команды ***LSEL***. Если ***LINE = P***, то доступен графический выбор и все остальные параметры команды игнорируются. Номер линии может также быть использован для определения значения ***LINE***.
- ***Lab*** – допустимая метка силы. В структурном анализе можно использовать метки давления (***PRES***), а при решении термозадач тепловой поток (***HFLUX***) и др.

Просмотр списка нагрузок, приложенных к балочным элементам

Первый пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Surface Loads > On All Elements

При его использовании появится окно ***SFELI Command***, содержащее список всех элементов: их номера (первая колонка), значение нагрузочных ключей (вторая колонка) и числовые значения нагрузок, в ключевых точках, соответствующих концам балочного элемента (первая и вторая строка в четвертой колонке), расстояние от концов балочного элемента при приложении нагрузки (шестая и седьмая колонки). Закрытие окна после ознакомления с информацией осуществляется либо с использованием меню ***File*** этого окна (пункта ***Close***), либо нажатием кнопки  этого же окна.

Второй пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Surface Loads > On Picked Elements

При его использовании появится окно выбора *List Elements Surf Loads*. С его помощью необходимо выбрать элементы, нагрузки на которые необходимо отобразить в списке. После подтверждения выбора нажатием кнопки **OK** или *Apply* появляется описанное окно *SFELIST Command* (аналогичное окну *SFELI Command*), в котором отображаются все нагрузки, приложенные к выбранным линиям твердотельной модели.

Команда

SFELIST, ELEM, Lab


где

- *ELEM* – элемент, нагрузка к которому должна быть выведена в виде списка. Если *ELEM = ALL* («по умолчанию»), то выводится список распределенных усилий, приложенных ко всем элементам, которые выбраны с помощью команды *ESEL*. Если *ELEM = P*, то доступен графический выбор и все остальные параметры команды игнорируются. Номер элемента может также быть использован для определения значения *ELEM*.
- *Lab* – допустимая метка силы. В структурном анализе можно использовать метки давления (*PRES*), а при решении термозадач тепловой поток (*HFLUX*) и др.

Просмотр списка нагрузок, распределенных по поверхностям

Первый пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Surface Loads > On All Areas

При его использовании появится окно *SFALI Command*, содержащее список всех поверхностей: их номера (первая колонка), ключи нагрузок (вторая колонка, «по умолчанию» для объемных твердотельных нагрузок параметр *LKEY* имеет значение *1*), метки нагрузок (третья колонка) и числовые значения поверхностных распределенных нагрузок (четвертая колонка). Закрытие окна после ознакомления с информацией осуществляется либо с использованием меню *File* этого окна (пункт *Close*), либо нажатием кнопки  этого же окна.

Второй пункт меню утилит

Utility Menu > List > Loads > Surface Loads > On Picked Areas

При его использовании появится окно выбора ***List Area Surf Loads***. С его помощью необходимо выбрать поверхности, нагрузки на которые необходимо отобразить в списке. После подтверждения выбора нажатием кнопки ***OK*** или ***Apply***, появляется описанное окно ***SFALIST Command*** (аналогичное окну ***SFALI Command***), в котором отображаются все все нагрузки, приложенные к выбранным линиям твердотельной модели.

Команда

SFALIST, AREA, Lab



где




- ***AREA*** – поверхность, нагрузка на которой должна быть выведена в виде списка. Если ***AREA = ALL*** («по умолчанию»), то выводится список сосредоточенных усилий, приложенных в узловых точках, которые выбраны с помощью команды ***ASEL***. Если ***AREA = P***, то доступен графический выбор и все остальные параметры команды игнорируются. Номер поверхности может также быть использован для определения значения ***AREA***.
- ***Lab*** – допустимая метка силы. В структурном анализе можно использовать метки давления (***PRES***), а при решении термозадач - тепловой поток (***HFLUX***). Если значение отсутствует, то «по умолчанию» используются все возможные значения меток.

Просмотр созданных пар контактных элементов

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Contact Pair

При использовании этого пункта меню появляется окно ***Contact Manager*** (Рисунок 23), в котором с помощью кнопок можно выбрать следующие действия:

-  - кнопка (***Plot Elements***), с помощью которой можно графически отобразить созданные контактные пары.
-  - кнопка (***Show Normals***), с помощью которой можно графически отобразить нормали контактных пар.

-  - кнопка (*Flip normals on elements*), с помощью которой можно повернуть нормали элементов, созданных на контактирующих поверхностях.
-  - кнопка (*Switch Contact/Target*), с помощью которой можно поменять контактную поверхность и поверхность внедрения.
-  - кнопка (*List Elements*), с помощью которой можно отобразить список контактных элементов.

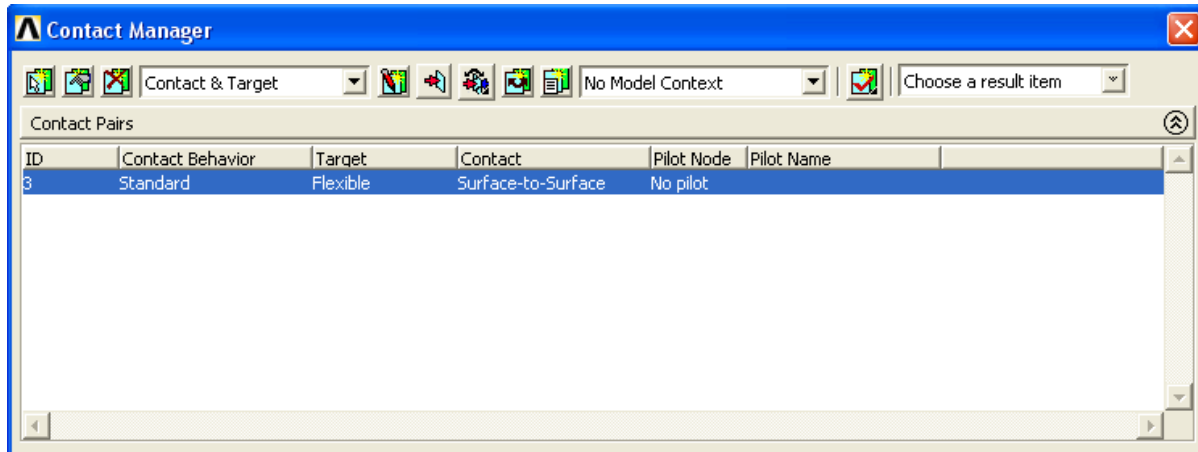



Рисунок 23. Вид окна с *Contact Manager* созданными контактными парами

В н и м а н и е! После использования каждой из кнопок (кроме первой) необходимо перерисовать изображение с помощью первой кнопки .

Удаление нагрузок

Удаление ограничений

Удаление ограничений в ключевых точках

*Удаление ограничений на перемещения (**Structural Analysis**)*

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > Structural > Displacement > On Keypoints

При использовании длинного пункта меню появляется окно выбора **Delete KP Constraints**, с помощью которого выбираются ключевые точки, с которых должны быть удалены ограничения на перемещения. После подтверждения окончания выбора, нажатием кнопки **OK** или **Apply**, появляется диалоговое окно **Delete KP Constraints** (Рисунок 24), в котором необходимо указать направление, в котором следует удалить ограничение перемещения (выпадающий список с меткой **Lab**, «по умолчанию» удаляются ограничения во всех направлениях – раздел **All DOF**). После окончания выбора необходимо нажать кнопки **OK** или **Apply**.

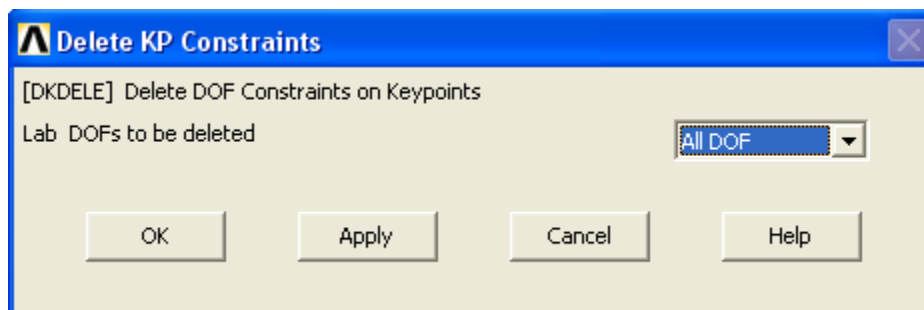


Рисунок 24. Вид окна *Delete KP Constraints*

Удаление ограничений температуры (*Thermal Analysis*)

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > Thermal > Temperature > On Keypoints

При использовании длинного пункта меню появляется окно выбора **Delete TEMP on KPs**, с помощью которого выбираются ключевые точки, с которых должны быть удалены ограничения на температуру. Затем следует подтвердить окончание выбора, нажатием кнопки **OK** или **Apply**.

Дополнительные пункты главного меню

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > All Load Data > All Constraint > On All KPs

При использовании данного пункта меню появляется информационное окно **Delete All Constraints on All Selected Keypoints**, в котором сообщается о том, что в результате действия будут удалены все ограничения на всех ключевых точках текущей модели. Пользователь может либо подтвердить

необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**.

Кроме того, используя следующие пункты меню, можно на этапе решения удалить наложенные ограничения в ключевых точках:

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> Structural> Displacements> On Keypoints

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> Thermal> Temperature> On Keypoints

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> All Load Data> All Constraint> On All KPs

Команда

Формат команды при вводе с клавиатуры:

DKDELE, KPOI, Lab

где

- **KPOI** – ключевая точка, для которой ограничения будут удалены. Если **KPOI = ALL**, то ограничения удаляются для всех указанных ключевых точек. Если **KPOI = P**, то допускается графический выбор и все остальные значения игнорируются. Номер ключевой точки также может использоваться вместо **KPOI**.
- **Lab** – допустимая метка степени свободы. Если **Lab = ALL**, то используются все возможные метки.

Удаление ограничений на линиях

Удаление ограничений на перемещения (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Structural> Displacement> On Lines

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора **Delete Line Constraints**, с помощью которого выбираются линии, с которых должны быть удалены ограничения на перемещения. После подтверждения окончания выбора, нажатием кнопки **OK** или **Apply**, появляется второе окно **Delete Line Constraints** (Рисунок 25), в котором необходимо указать

ограничение перемещения в каком направлении необходимо удалить (выпадающий список с меткой **Lab**, «по умолчанию» удаляются ограничения во всех направлениях – раздел **All DOF**). После окончания выбора необходимо нажать кнопки **OK** или **Apply**.

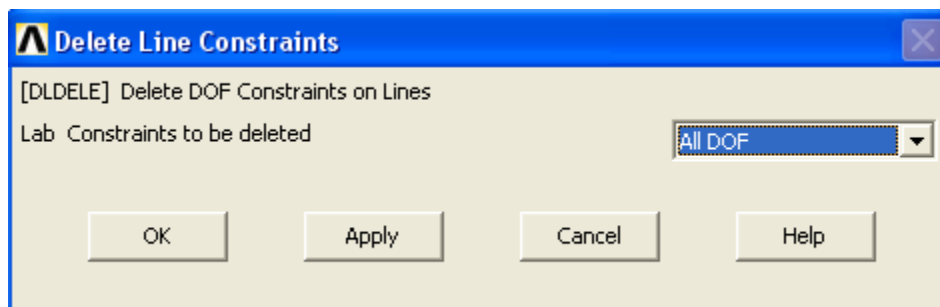


Рисунок 25. Вид окна *Delete Line Constraints*

Удаление ограничений температуры (*Thermal Analysis*)

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > Thermal > Temperature > On Lines

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора **Delete TEMP on Lines**, с помощью которого выбираются линии, с которых должны быть удалены ограничения на температуру. После этого необходимо подтвердить окончание выбора, нажатием кнопки **OK** или **Apply**.

Дополнительные пункты главного меню

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > All Load Data > All Constraint > On All Lines

Используя данный пункт меню, появляется информационное окно **Delete All Constraints on All Selected Lines**, в котором сообщается о том, что в результате действия будут удалены все ограничения на всех линиях текущей модели. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**.

Кроме того, используя следующие пункты меню, можно на этапе решения удалить наложенные ограничения на линиях:

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> Structural> Displacements> On Lines

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> Thermal> Temperature> On Lines

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> All Load Data> All Constraint> On All Lines

Команды

Общий вид команды при вводе с клавиатуры:

DLDELE, LINE, Lab

где

- *LINE* – линия, на которой ограничения должны быть удалены. Если *LINE = ALL*, то ограничения будут удалены со всех выбранных с помощью команды *LSEL* линий. Если *LINE = P*, то графический выбор линий доступен и оставшиеся параметры команды будут проигнорированы. Номер линии может быть использован вместо параметра *LINE*.
- *Lab* – может иметь своим значением метки перемещений (*UX, UY, UZ*), вращений (*ROTX, ROTY, ROTZ*), температуры (*TEMP*), метка *ALL* означает использование всех меток и др.

Удаление ограничений, наложенных на поверхности

Удаление ограничений на перемещения (*Structural Analysis*)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Structural> Displacement> On Areas

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора *Delete Area Constraints*, с помощью которого выбираются поверхности, с которых должны быть удалены ограничения на перемещения. После подтверждения окончания выбора, нажатием кнопки **OK** или *Apply*, появляется второе окно *Delete Area Constraints* (Рисунок 26), в котором необходимо указать ограничение перемещения в каком направлении необходимо удалить (выпадающий список с меткой **Lab**, «по умолчанию»

удаляются ограничения во всех направлениях – раздел *All DOF*). После окончания выбора необходимо нажать кнопки **OK** или *Apply*.

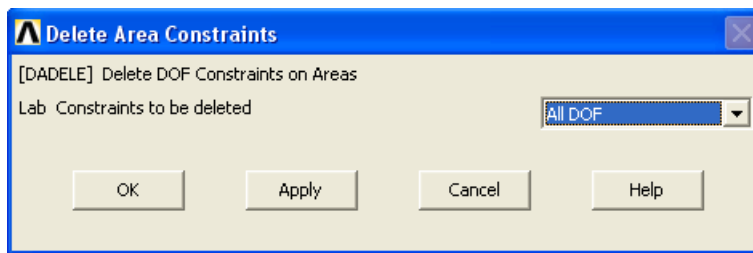


Рисунок 26. Вид окна *Delete Area Constraints*

Удаление ограничений температуры (*Thermal Analysis*)

Main Menu> *Preprocessor*> *Loads*> *Define Loads*> *Delete*> *Thermal*> *Temperature*> *On Areas*

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора *Delete TEMP on Areas*, с помощью которого выбираются поверхности, с которых должны быть удалены ограничения на температуру. После этого необходимо подтвердить окончание выбора, нажатием кнопки **OK** или *Apply*.

Дополнительные пункты главного меню

Main Menu> *Preprocessor*> *Loads*> *Define Loads*> *Delete*> *All Load Data*> *All Constraint*> *On All Areas*

При использовании данного пункта меню появляется информационное окно *Delete All Constraints on All Selected Areas*, в котором сообщается о том, что в результате действия будут удалены все ограничения на всех поверхностях текущей модели. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки *Cancel*.

Кроме того, используя следующие пункты меню, можно на этапе решения удалить наложенные ограничения на поверхностях:

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *Structural*> *Displacement*> *On Areas*

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *Thermal*> *Temperature*> *On Areas*

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> All Load Data> All Constraint> On All Areas

Команда

DADELE, AREA, Lab

где

- **AREA** – поверхность, на которой ограничения должны быть удалены. Если **AREA = ALL**, то ограничения будут удалены со всех выбранных с помощью команды **LSEL** поверхностей. Если **AREA = P**, то графический выбор доступен и оставшиеся параметры команды будут проигнорированы. Номер поверхности может быть использован вместо параметра **AREA**.
- **Lab** – может иметь своим значением метку симметрии: **SYMM** – генерирует симметричные ограничения на модели, кроме **FLOTRAN**-моделей; **ASYM** – генерирует антисимметричные ограничения, кроме **FLOTRAN**-моделей, а также метки перемещений (**UX, UY, UZ**), вращений (**ROTX, ROTY, ROTZ**), температуры (**TEMP**), метка **ALL** означает использование всех меток.

Удаление ограничений, определенных в узлах конечно-элементной сетки

Удаление ограничений на перемещения (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Structural> Displacement> On Nodes

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора **Delete Node Constraints**, с помощью которого выбираются узловые точки, с которых должны быть удалены ограничения на перемещения. После подтверждения окончания выбора, нажатием кнопки **OK** или **Apply**, появляется второе окно **Delete Node Constraints** (Рисунок 27), в котором необходимо указать ограничение в каком направлении необходимо удалить (выпадающий список с меткой **Lab**, «по умолчанию» удаляются ограничения во всех направлениях – раздел **All DOF**). После окончания выбора необходимо нажать кнопки **OK** или **Apply**.

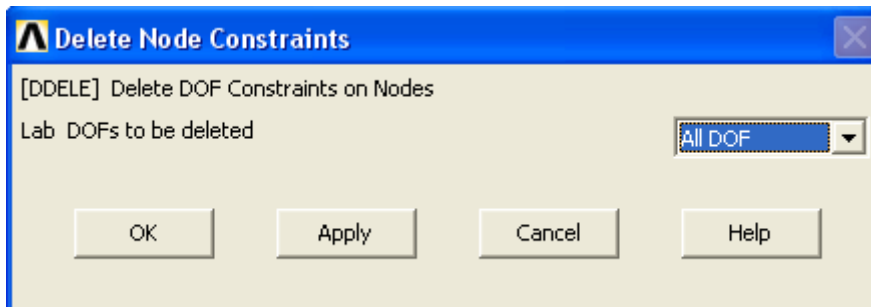


Рисунок 27. Вид окна *Delete Node Constraints*

Удаление ограничений температуры (Thermal Analysis)

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > Thermal > Temperature > On Nodes

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора ***Delete TEMP on Nodes***, с помощью которого выбираются узловые точки конечноэлементной сетки, с которых должны быть удалены ограничения на температуру. После этого необходимо подтвердить окончание выбора нажатием кнопки ***OK*** или ***Apply***.

Дополнительные пункты главного меню

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > All Load Data > All Constraint > On All Nodes

При использовании данного пункта меню появляется информационное окно ***Delete All Constraints on All Selected Nodes***, в котором сообщается о том, что в результате действия будут удалены все ограничения на всех узловых точках текущей модели. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки ***OK***, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки ***Cancel***.

Кроме того, используя следующие пункты меню, можно на этапе решения удалить наложенные ограничения в узловых точках:

Main Menu > Solution > Define Loads > Delete > Structural > Displacement > On Nodes

Main Menu > Solution > Define Loads > Delete > Thermal > Temperature > On Nodes

*Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> All Load Data>
All Constraint> On All Nodes*

Команда

Команда для удаления ограничений на определенном узле имеет вид:

DDELE, NODE, Lab, NEND, NINC

где

- *NODE* – узел, для которого ограничение должно быть удалено. Если *NODE = All*, то значения *NEND* и *NINC* игнорируются. Если *NODE = P*, то доступен графический выбор и все остальные значения параметров игнорируются. Номер узловой точки может быть использован в качестве значения параметра *NODE*.
- *Lab* – метка используемой степени свободы. Если *Lab = All*, то используются все допускаемые значения меток.
- *NEND* – удалить ограничения от *NODE* до *NEND* («по умолчанию» *NODE*) с шагом *NINC* («по умолчанию» равно *1*).

Удаление сосредоточенных нагрузок

Удаление сосредоточенных нагрузок, приложенных к ключевым точкам

Удаление сосредоточенных сил и моментов (*Structural Analysis*)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Structural> Force/Moment> On Keypoints

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора *Delete F/M on KPs*, с помощью которого выбираются ключевые точки, в которых должны быть удалены приложенные сосредоточенные силы. После подтверждения окончания выбора, нажатием кнопки **OK** или *Apply*, появляется второе окно *Delete F/M on KPs*, в котором необходимо указать проекцию сосредоточенной силы для удаления (выпадающий список с меткой *Lab*, «по умолчанию» удаляются проекции во всех направлениях – раздел *All* выпадающего списка). После окончания выбора необходимо нажать кнопки **OK** или *Apply*.

Удаление сосредоточенного теплового потока (*Thermal Analysis*)

Main Menu> *Preprocessor*> *Loads*> *Define Loads*> *Delete*> *Thermal*> *Heat Flow*> *On Keypoints*

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора *Delete HEAT on KPs*, с помощью которого выбираются ключевые точки твердотельной модели, с которых должны быть удалены ограничения на тепловой поток. После этого необходимо подтвердить окончание выбора, нажатием кнопки *OK* или *Apply*.

Дополнительные пункты главного меню

Main Menu> *Preprocessor*> *Loads*> *Define Loads*> *Delete*> *All Load Data*> *All Forces*> *On All KPs*

При использовании данного пункта меню появляется информационное окно *Delete All Forces on All Selected Keypoints*, в котором сообщается о том, что в результате действия будут удалены все приложенные сосредоточенные силы во всех ключевых точках текущей модели. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки *OK*, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки *Cancel*.

Кроме того, используя следующие пункты меню, можно на этапе решения удалить приложенные в ключевых точках сосредоточенные силы:

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *Structural*> *Force/Moment*> *On Keypoints*

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *Thermal*> *Heat Flow*> *On Keypoints*

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *All Load Data*> *-All Forces- On All KPs*

Команда

FKDELE, KPOI, Lab

где

- *KPOI* – первый узел, в котором данная нагрузка должна быть удалена. Если *KPOI = ALL*, то нагрузки удаляются во всех

выбранных с помощью команды **KSEL** ключевых точках. Если **KPOI = P**, то доступен графический выбор узлов для удаления сосредоточенных нагрузок и все остальные параметры команды игнорируются. Номер ключевой точки может также быть использован для определения значения **KPOI**.

- **Lab** – допустимая метка сосредоточенной силы. В структурном анализе можно использовать метки проекции сил (**FX**, **FY**, **FZ**), проекции моментов (**MX**, **MY**, **MZ**), при решении термических задач – величину сосредоточенного теплового потока (**HEAT**).

Удаление сосредоточенных нагрузок, приложенных к узлам конечно-элементной сетки

Удаление сосредоточенных сил и моментов (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Structural> Force/Moment> On Nodes

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора **Delete F/M on Nodes**, с помощью которого выбираются узловые точки, в которых должны быть удалены приложенные сосредоточенные силы. После подтверждения окончания выбора, нажатием кнопки **OK** или **Apply**, появляется второе окно **Delete F/M on Nodes**, в котором необходимо указать проекцию сосредоточенной силы на какое направление необходимо удалить (выпадающий список с меткой **Lab**, «по умолчанию» удаляются проекции во всех направлениях – раздел **All** выпадающего меню). После окончания выбора необходимо нажать кнопки **OK** или **Apply**.

Удаление сосредоточенного теплового потока (Thermal Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Thermal> Heat Flow> On Nodes

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора **Delete HEAT on Nodes**, с помощью которого выбираются узловые точки конечноэлементной модели, в которых должны быть удалены ограничения на тепловой поток. После этого необходимо подтвердить окончание выбора, нажатием кнопки **OK** или **Apply**.

Дополнительные пункты главного меню

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> All Load Data> All Forces> On All Nodes

При использовании данного пункта меню появляется информационное окно **Delete All Forces on All Selected Nodes**, в котором сообщается о том, что в результате действия будут удалены все приложенные сосредоточенные силы во всех узловых точках конечно-элементной модели. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**.

Кроме того, используя следующие пункты меню, можно на этапе решения удалить приложенные в узловых точках сосредоточенные силы и тепловой поток:

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> Structural Force/Moment> On Nodes

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> Thermal> Heat Flow> On Nodes

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> All Load Data> All Forces> On All Nodes

Команда

FDELE, NODE, Lab, NEND, NINC

где

- **NODE** – первый узел, в котором данная нагрузка должна быть удалена. Если **NODE = ALL**, то **NEND** и **NINC** игнорируются и усилия удаляются у всех выбранных с помощью команды **NSEL** узлах. Если **NODE = P**, то доступен графический выбор узлов для удаления сосредоточенных нагрузок и все остальные параметры команды игнорируются. Номер узловой точки может также быть использован для определения значения **NODE**.
- **Lab** – допустимая метка силы. В структурном анализе можно использовать метки проекции сил (**FX, FY, FZ**), проекции

моментов (MX , MY , MZ), при решении термических задач – величину сосредоточенного теплового потока ($HEAT$).

- $NEND$, $NINC$ – определяют, что та же метка силы будет удалена от $NODE$ до $NEND$ («по умолчанию» $NODE$) с шагом $NINC$ («по умолчанию» равно I).

Удаление распределенных нагрузок

Удаление распределенных нагрузок на линиях

Удаление распределенных по линиям давлений (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Structural> Pressure> On Lines

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора *Delete PRES on Lines*, с помощью которого выбираются линии, с которых должны быть удалены распределенные давления. После окончания выбора необходимо нажать кнопки **OK** или *Apply*.

Удаление распределенных по линиям тепловых потоков (Thermal Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Thermal> Heat Flux> On Lines

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора *Delete HFLUX on Lines*, с помощью которого выбираются линии твердотельной модели, с которых должны быть удалены ограничения на тепловой поток. После этого необходимо подтвердить окончание выбора, нажатием кнопки **OK** или *Apply*.

Дополнительные пункты главного меню

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> All Load Data> All Surface Ld> On All Lines

При использовании данного пункта меню появляется информационное окно *Delete All Surface Loads on All Selected Lines*, в котором сообщается о

том, что в результате действия будут удалены все приложенные распределенные нагрузки на всех линиях твердотельной модели. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**.

Кроме того используя следующие пункты меню, можно на этапе решения удалить приложенные на линиях распределенные нагрузки (например, давление и тепловой поток):

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> Structural> Pressure> On Lines

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> Thermal> Heat Flux> On Lines

Main Menu> Solution> Define Loads> Delete> All Load Data> All Surface Ld> On All Lines

Команда

SFLDELE, LINE, Lab

где

- **LINE** – линия, на которой данная нагрузка должна быть удалена. Если **LINE = ALL**, то нагрузки удаляются у всех выбранных с помощью команды **LSEL** линий. Если **LINE = P**, то доступен графический выбор линий для удаления распределенных нагрузок и все остальные параметры команды игнорируются. Номер линии может также использоваться в качестве значения **LINE**.
- **Lab** – допустимая метка силы. В структурном анализе, например, можно использовать метки давления (**PRES**), при решении термозадач - тепловой поток (**HFLUX**) и др.

Удаление давлений, распределенных по элементам

Пункт главного меню (**Structural Analysis**)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Structural> Pressure> On Elements

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора *Delete PRES on Elems*, в котором выбираются элементы, с которых должны быть удалены распределенные давления. После окончания выбора необходимо нажать кнопки **OK** или *Apply*.

Дополнительные пункты главного меню (*Structural Analysis*)

Main Menu> *Preprocessor*> *Loads*> *Define Loads*> *Delete*> *All Load Data*> *All Surface Ld*> *On All Elems*

При использовании данного пункта меню появляется информационное окно *Delete All Surface Loads on All Selected Elements*, в котором сообщается о том, что в результате действия будут удалены все приложенные распределенные нагрузки на всех элементах конечноэлементной модели. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки *Cancel*.

Кроме того, используя следующие пункты меню, можно на этапе решения удалить приложенные на поверхностях элементов распределенные нагрузки (например, давление и тепловой поток):

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *Structural*> *Pressure*> *On Elements*

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *All Load Data*> *All Surface Ld*> *On All Elems*

Команда

SFDELE, ELEM, LKEY, Lab

где

- *ELEM* – элемент, на котором данная нагрузка должна быть удалена. Если *ELEM = ALL*, то нагрузки удаляются на всех выбранных с помощью команды *ESEL* элементах. Если *ELEM = P*, то доступен графический выбор элементов для удаления распределенных нагрузок и все остальные параметры команды игнорируются. Номер элемента может также быть использован для определения значения *ELEM*.
- *LKEY* – нагрузочный ключ, его значение «по умолчанию» равно *1*.

- **Lab** – допустимая метка силы. В структурном анализе, например, можно использовать метки давления (**PRES**) и др.

Удаление распределенных по поверхностям нагрузок

Удаление распределенных по поверхностям давлений (Structural Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Structural> Pressure> On Areas

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора **Delete PRES on Areas**, с помощью которого выбираются поверхности, с которых должны быть удалены распределенные давления. После окончания выбора необходимо нажать кнопки **OK** или **Apply**.

Удаление распределенных по поверхностям тепловых потоков (Thermal Analysis)

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Delete> Thermal> Heat Flux> On Areas

При использовании данного пункта меню появляется окно выбора **Delete HFLUX on Areas**, с помощью которого выбираются поверхности твердотельной модели, с которых должны быть удалены ограничения на тепловой поток. После этого необходимо подтвердить окончание выбора, нажатием кнопки **OK** или **Apply**.

Дополнительные пункты главного меню

Main Menu> Preprocessor> Loads> Delete> All Load Data> All Surface Ld> On All Areas

При использовании данного пункта меню появляется информационное окно **Delete All Surface Loads on All Selected Areas**, в котором сообщается о том, что в результате действия будут удалены все приложенные распределенные нагрузки на всех поверхностях твердотельной модели. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**.

Кроме того, используя следующие пункты меню, можно на этапе решения удалить приложенные на поверхностях распределенные нагрузки (например, давление и тепловой поток):

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *Structural*> *Pressure*> *On Areas*

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *Thermal*> *Heat Flux*> *On Areas*

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *All Load Data*>
All Surface Ld> *On All Areas*

Команда

SFADELE, AREA, LKEY, Lab

где

- *AREA* – поверхность, на которой данная нагрузка должна быть удалена. Если *AREA = ALL*, то нагрузки удаляются со всех выбранных с помощью команды *ASEL* поверхностей. Если *AREA = P*, то доступен графический выбор поверхностей для удаления распределенных нагрузок и все остальные параметры команды игнорируются. Номер поверхности может также быть использован для определения значения *AREA*.
- *LKEY* – нагрузочный ключ, его значение «по умолчанию» равно 1, используется только для оболочечных элементов.
- *Lab* – допустимая метка силы. В структурном анализе, например, можно использовать метки давления (*PRES*), при решении термозадач - тепловой поток (*HFLUX*) и др.

Удаление инерционных нагрузок

Удаление сил гравитации

Пункт главного меню (*Structural Analysis*)

Main Menu> *Preprocessor*> *Loads*> *Define Loads*> *Delete*>
Structural> *Inertia*> *Gravity*

При использовании данного пункта меню появляется окно *Delete (Gravitational) Acceleration* (Рисунок 28), в котором сообщается о том,

что в результате действия будет удалено линейное ускорение. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**.

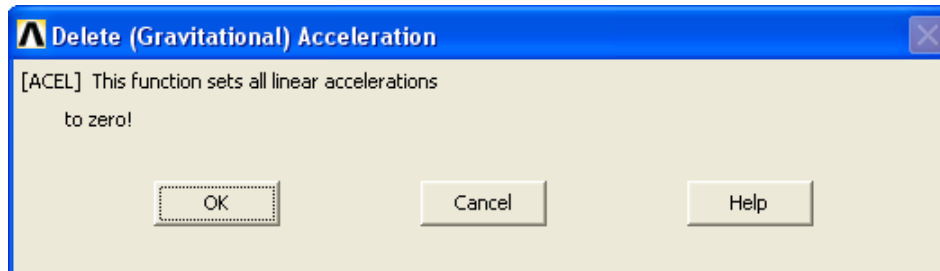


Рисунок 28. Вид окна *Delete (Gravitational) Acceleration*

Дополнительный пункт главного меню

Main Menu > Solution > Define Loads > Delete > Structural > Inertia > Gravity

Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**.

З а м е ч а н и е! Отдельной команды для удаления сил гравитации нет. С помощью команды ACEL достаточно положить, что силы гравитации равным нулю.

Удаление значений угловой скорости

Пункт главного меню (Structural Analysis)

Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > Structural > Inertia > Angular Velocity > Global

При использовании данного пункта меню появляется окно ***Delete Angular Velocity*** (Рисунок 29), в котором сообщается о том, что в результате действия будет удалена угловая скорость. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**.

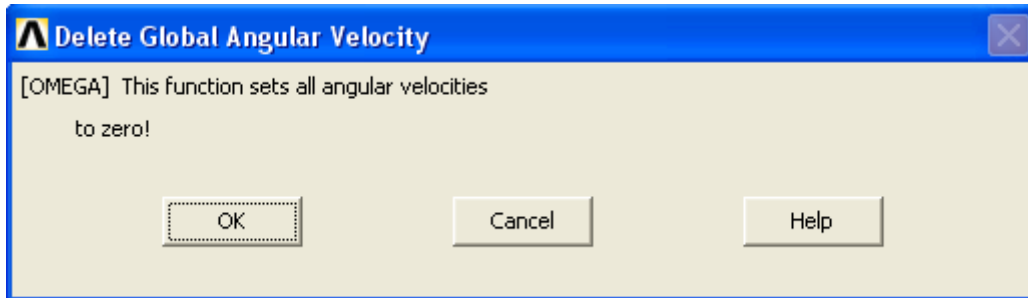


Рисунок 29. Вид окна *Delete Angular Velocity*

Дополнительный пункт главного меню (*Structural Analysis*)

Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *Structural*> *Inertia*> *Angular Velocity*> *Global*

Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**

З а м е ч а н и е! Отдельной команды для удаления угловой скорости нет. С помощью команды **OMEGA** достаточно положить, что она равна нулю, либо воспользоваться пунктом главного меню.

Удаление значений углового ускорения

Пункт главного меню (*Structural Analysis*)

Main Menu> *Preprocessor*> *Loads*> *Define Loads*> *Delete*> *Structural*> *Inertia*> *Angular Accel*> *Global*

При использовании данного пункта меню появляется окно **Delete Angular Acceleration** (Рисунок 30), в котором сообщается о том, что в результате действия будет удалено угловое ускорение. Пользователь может либо подтвердить необходимость выполнения данной операции нажатием кнопки **OK**, либо отменить выполнение операции нажатием кнопки **Cancel**.

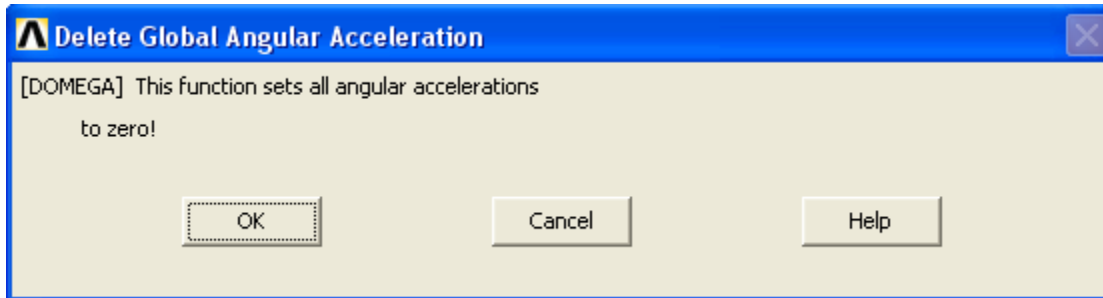


Рисунок 30. Вид окна *Delete Angular Acceleration*

Дополнительный пункт главного меню (*Structural Analysis*)


Main Menu> *Solution*> *Define Loads*> *Delete*> *Structural*> *Inertia*> *Angular Accel*> *Global*

З а м е ч а н и е! *Отдельной команды для удаления углового ускорения нет. С помощью команды DOMEGA достаточно положить, что оно равно нулю, либо воспользоваться пунктом главного меню.*

Удаление контактных пар

Пункт главного меню (*Structural Analysis*)

Main Menu> *Preprocessor*> *Modelling*> *Create*> *Contact Pair*

При использовании данного пункта меню появляется окно *Contact Manager* (Рисунок 31), в котором помощью третьей кнопки  первой секции можно удалить созданные контактные пары. При этом необходимо подтвердить выполнение данной операции нажатием кнопки *Yes* или отменить выполнение операции нажатием кнопки *No* (значение «по умолчанию»).

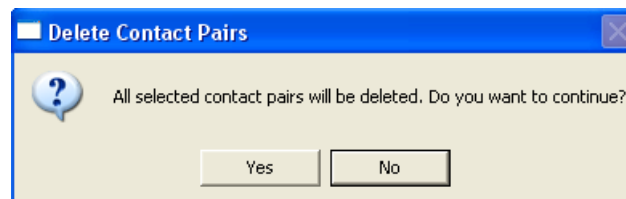


Рисунок 31. Вид окна *Delete Contact Pair*

Примеры задания нагрузок на границах конечно-элементных моделей

З а м е ч а н и е! В ANSYS 10 ED приложить нагрузки к твердотельной модели невозможно, если не создана конечно-элементное разбиение, либо не выбран тип конечных элементов, которые будут использоваться при разбиении модели.

Пример 1. Осевое растяжение плоского образца с концентратором

Шаг 1. Чтение существующей модели из db-файла

Для этого используем пункт меню:

Utility Menu > File > Resume from...

При использовании пункта меню утилит появляется окно **Resume DataBase From**. В этом случае следует:

- Выбрать в выпадающем списке **Drives** диск, на котором хранится уже созданный файл.
- Выбрать в списке **Directories** папку, в которой хранится файл.
- В списке **Resume DataBase From** выбрать имя существующего файла, в котором хранится модель примера 1 (например, **Example1.db**).
- Нажать кнопку **OK**.

Шаг 2. Выключение нумерации ключевых точек и включение нумерации линий

Пункт меню утилит

Utility Menu > PlotCtrl > Numbering...

При использовании данного пункта меню появляется окно **Plot Numbering Controls**. Далее выполняем следующие действия:

- устанавливаем флаг On в пункте **LINE**;
- устанавливаем флаг Off в пункте **KP**;
- Нажимаем кнопку **OK** для подтверждения окончания выбора;

Для обновления изображения модели необходимо использовать пункт меню (Рисунок 32):

Utility Menu > Plot > Replot

Команда

/PNUM,LINE,1

/PNUM,KP,0

/REPLOT

Шаг 3. Отображение области

Пункт меню утилит

Utility Menu > Plot > Areas

При использовании этого пункта меню утилит область будет перерисована.

Команда

APLOT,All

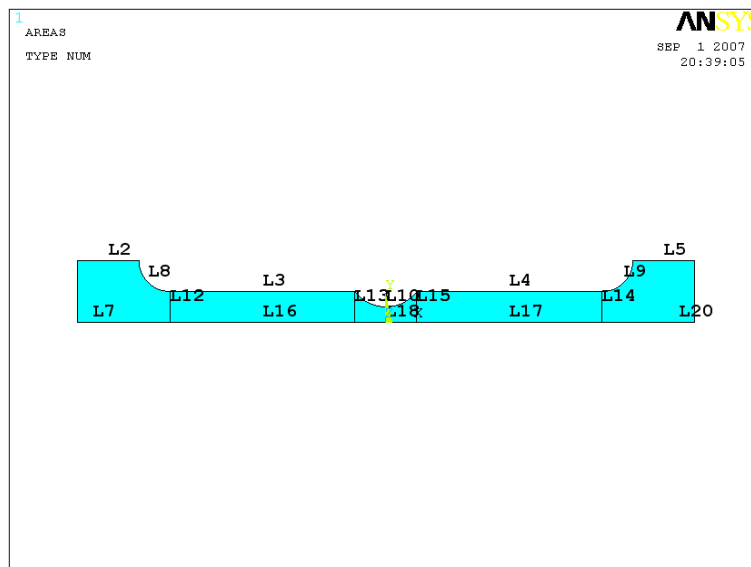


Рисунок 32. Результат выполнения шага 3

Шаг 4. Удаление конкатенации

Совместное использование пунктов главного меню и меню утилит

**Main Menu> Preprocessor> Meshing> Concatenate>
Del Concats> Lines**

При использовании данного пункта меню все линии (**L11** и **L12**), созданные конкатенацией, будут автоматически удалены. После этого следует использовать пункт меню утилит для перерисовки областей (Рисунок 33):

Utility Menu> Plot> Replot

Команда

LDELE,7,,1

LDELE,20,,1

/REPLOT

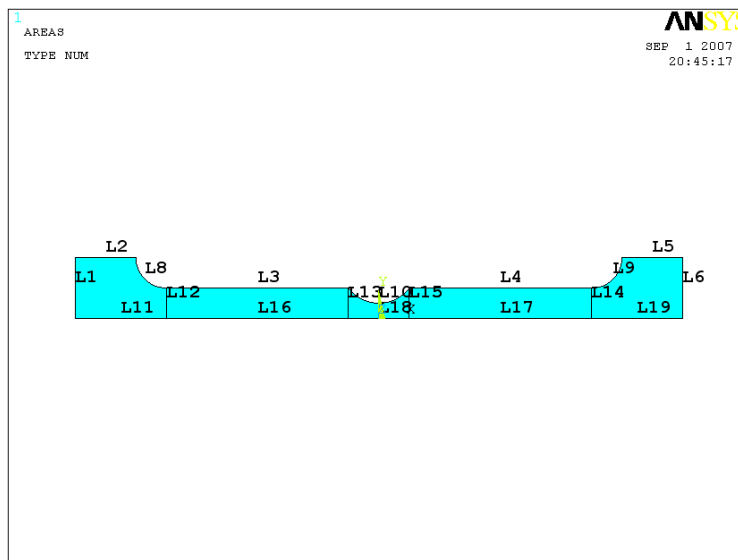


Рисунок 33. Результат выполнения шага 4

З а м е ч а н и е! Подготовительные шаги 1-3 могут быть опущены, если пользователь уже ориентируется в средствах ANSYS.

Шаг 5. Определение перемещений на границах модели

Пункт главного меню

**Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply>
Structural> Displacement> On Lines**

При использовании данного пункта меню появляется окно **Apply U,ROT on Lines**. Далее выполняем следующие действия:

- Выбираем линию **L11, L16, L18, L17, L19** (нижнюю линию модели) для того, чтобы задать на ней перемещения.
- Нажимаем кнопку **OK** или **Apply**.
- В списке **Lab2** второго окна **Apply U,ROT on Lines** выбираем с помощью «мыши» **UY**, т.е. направление декартовой системы координат **OY**, в котором необходимо ограничивать перемещения.
- В поле **VALUE** вводим **0**, либо оставляем пустым. Отсутствие перемещений на этой линии, в указанном направлении, определяется симметричностью образца и нагрузки относительно оси **OX**.
- Нажимаем кнопку **Apply**.
- Выбираем линию **L1** (левую линию модели) для того, чтобы определить на ней перемещения.
- Нажимаем кнопку **OK** или **Apply**.
- В списке **Lab2** второго окна **Apply U,ROT on Lines** выбираем с помощью «мыши» **UX**.
- В поле **VALUE** вводим **0**, либо оставляем пустым. Отсутствие всех перемещений на этой линии определяется закреплением нижней границы образца.
- Нажимаем кнопку **OK** (Рисунок 34).

Команда

DL,7,,UX,0

DL,1,,ALL,0

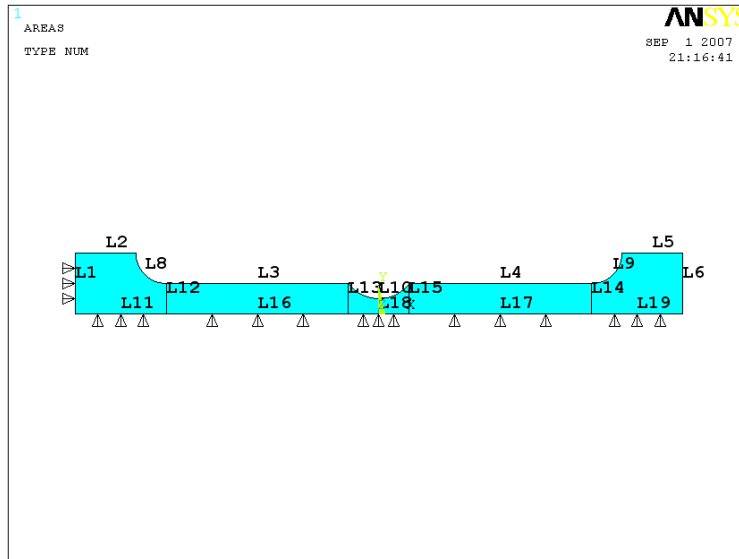


Рисунок 34. Результат выполнения шага 5

З а м е ч а н и е! Ограничение перемещений линий обозначается треугольниками-стрелками указывающими направление в котором наложены ограничения.

Шаг 6. Определение распределенной нагрузки по линии

Пункт главного меню

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Pressure> On Lines

При использовании данного пункта меню появляется окно *Apply PRESS on Lines*. Далее выполняем следующие действия:

- Выбираем линию **L6** (правую линию модели) для того, чтобы определить на ней давления.
- Нажимаем кнопку **OK** или *Apply*.
- В поле ввода **VALUE** второго окна *Apply PRESS on Lines* указываем величину равномерного растягивающего давления величиной **-1**.

З а м е ч а н и е! Второе поле *Value* не заполняется в случае однородного давления.

- Нажимаем кнопку **OK**.

Команда

SFL,6,PRESS,-1

Шаг 7. Сохранение измененной модели в db-файле

Для этого используем пункт меню:

Utility Menu > File > Save as...

При использовании пункта главного меню появляется окно **Save DataBase**. В этом случае следует:

- Выбрать в выпадающем списке **Drives** диск, на котором хранится уже созданный файл.
- Выбрать в списке **Directories** папку, в которой хранится файл.
- В списке **Save DataBase to** выбрать имя существующего файла, в котором хранится модель примера 1 (например, **Example1.db**).
- Нажать кнопку **OK** (Рисунок 35).

Результат определения нагрузок для примера 1

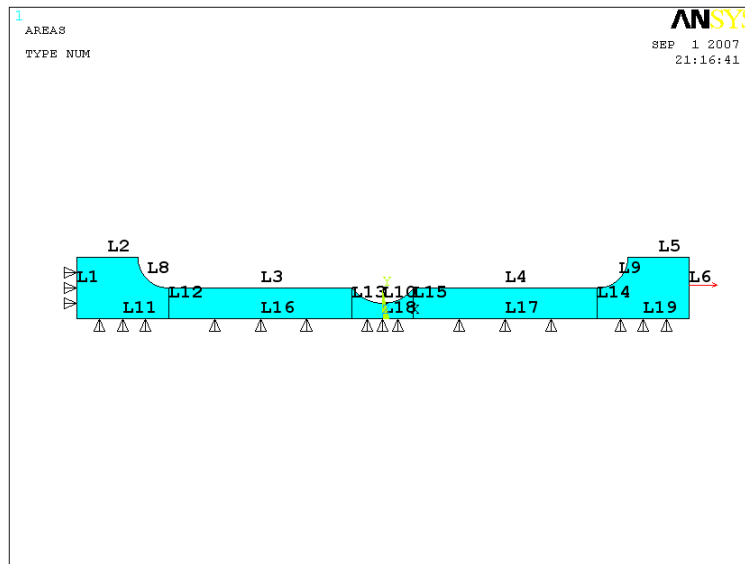


Рисунок 35. Результат приложения нагрузки к модели образца

Пример 2. Построение разбиения плоской гребенки с трапециoidalными зубьями

Шаг 1. Чтение существующей модели из db-файла

Для этого используем пункт меню:

Utility Menu > File > Resume from...

При использовании пункта главного меню появляется окно **Resume DataBase**. В этом случае последовательность действий, связанная с выбором логического диска, папки (директории), в которой хранится уже созданный файл полностью соответствует примеру 1 данного раздела, однако в данном случае необходимо выбрать другой файл (например, **Example2.db**) в списке **Resume DataBase From**, в котором хранится вторая созданная модель.

Шаг 2. Отображение поверхностей и их номеров

Пункт меню утилит

Utility Menu > Plot > Areas

При использовании этого пункта меню, области с нумерацией будут перерисованы (Рисунок 36).

Команда

APLOT,All

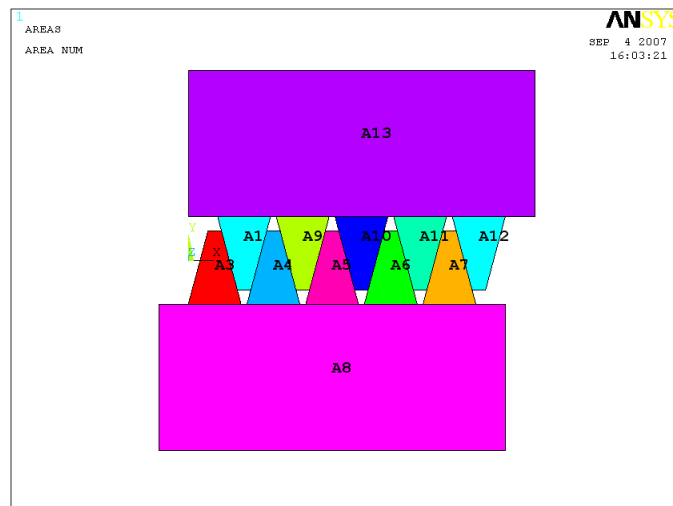


Рисунок 36. Нумерация поверхностей примера 2

Шаг 3. Включение нумерации линий и выключение нумерации поверхностей

Utility Menu > PlotCtrl > Numbering...

При использовании данного пункта меню появляется окно *Plot Numbering Controls*. Далее выполняем следующие действия:

- устанавливаем флаг On в пункте *LINE*;
- устанавливаем флаг Off в пункте *AREA*;
- Нажимаем кнопку **OK** для подтверждения окончания выбора;

Для обновления изображения модели необходимо использовать пункт меню (Рисунок 37):

Utility Menu > Plot > Replot

Команда

/PNUM,LINE,1

/PNUM,AREA,0

/REPLOT

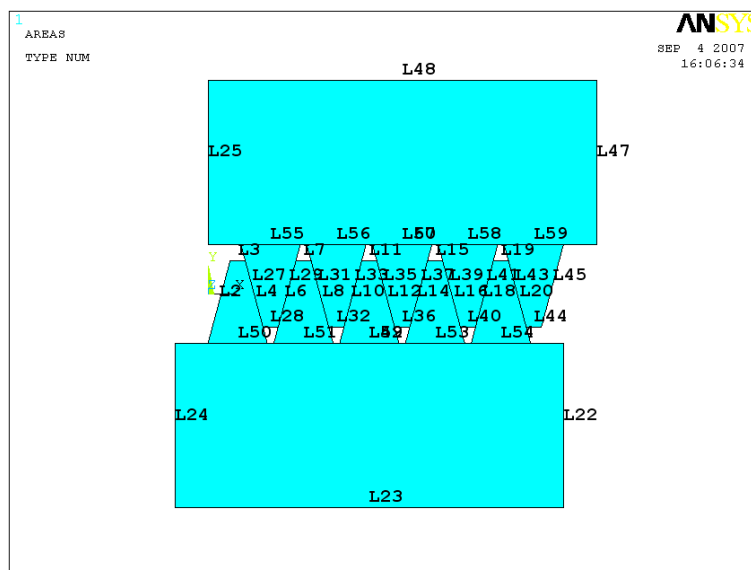


Рисунок 37. Нумерация линий примера 2

Шаг 4. Ограничение перемещений и определение нагрузок на границах модели

При определении перемещений на линиях данной модели будем исходить из того, что :

- Для поверхности *A8* (Рисунок 36): нижняя граница *L23* (Рисунок 37) поверхности неподвижно закреплена (*All DOF: VALUE = 0*). Отсутствуют перемещения левой и правой границы *L22* и *L24* поверхности вдоль оси *OX* (*UX: VALUE = 0*).
- Для поверхности *A13* (Рисунок 36): верхняя граница *L48* (Рисунок 37) не может перемещаться вдоль оси *OY* (*UY: VALUE = 0*), но может перемещаться вдоль *OX*. Правая граница *L47* имеет заданное перемещение вдоль оси *OX* равное $-5E-6$ (*UX: VALUE = -5E-6*).

Последовательность действий см в примере 1 данного раздела (Рисунок 38).

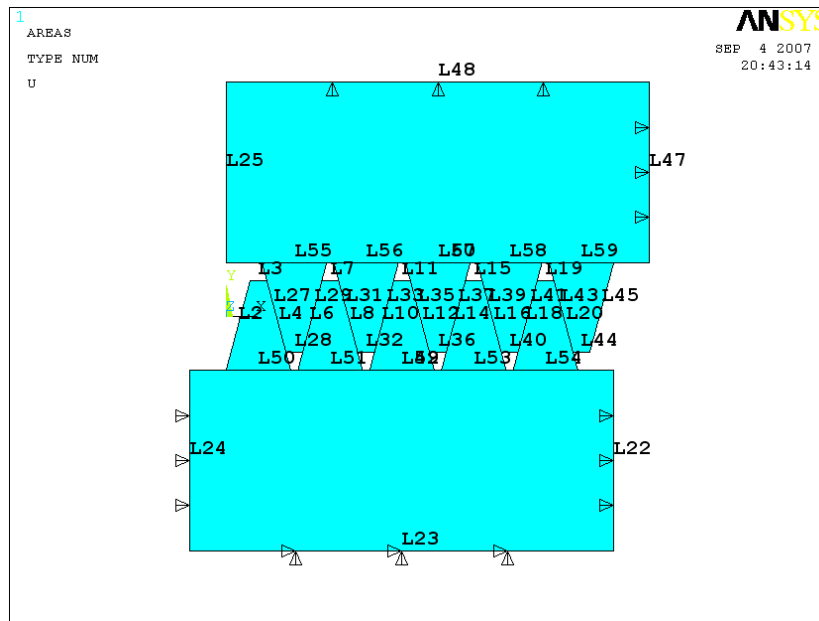


Рисунок 38. Результат определения перемещений на границах модели

З а м е ч а н и е! Уточнить на каких линиях ограничены перемещения и в каком направлении можно с помощью пункта меню утилит: *Utility Menu > List > Loads > DOF Constraints > On All Lines*

*Шаг 5. Создание контактных пар с помощью совместного использования средств **Contact Wizard**, меню **Select Entities** и пунктов меню утилит*

Напоминаем, что при создании контактных пар необходимо задать в двумерном случае линии внедрения и контактные линии. Линиями внедрения в данном случае будут правые боковые линии областей *A3 - A7* (Рисунок 36). Контактными линиями – левые боковые линии поверхностей *A1, A9 - A12*. К сожалению, указать номера линий, с которыми необходимо работать при создании контактных пар, нет возможности, т.к. рисунок в районе зубьев очень насыщен (Рисунок 37). Поэтому, при описании действий в этом пункте, будем пользоваться совместно **Contact Wizard** и меню **Select Entities**.

З а м е ч а н и е! В случае, когда пользователь имеет достаточный опыт работы, или хорошее понимание последовательности действий, меню **Select Entities** использовать нет необходимости.

- Выделяем фрагмент рисунка, содержащего линии внедрения. Для этого вызываем окно **Select Entities**, используя пункт меню утилит: **Utility Menu> Select> Entities....** Определяем на первом этапе, что линии внедрения принадлежат поверхностям *A3 - A7* (Рисунок 36), поэтому выбираем указанные поверхности с помощью меню **Select Entities**. Для этого:
 1. Выбираем раздел **Areas** в первом выпадающем списке первой секции окна **Select Entities** (Рисунок 39).
 2. Выбираем раздел **By Num/Pick** во втором выпадающем списке первой секции окна **Select Entities** (Рисунок 39).



Рисунок 39. Первый выпадающий список первой секции

3. Нажимаем кнопку **Apply**.
4. Выбираем с помощью появившегося окна выбора **Select areas** поверхности *A3 - A7* (Рисунок 36).
5. Нажимаем кнопку **OK** в окне выбора (Рисунок 40).
6. Обновляем графическое окно с помощью пункта меню: **Utility Menu> Plot> Replot**

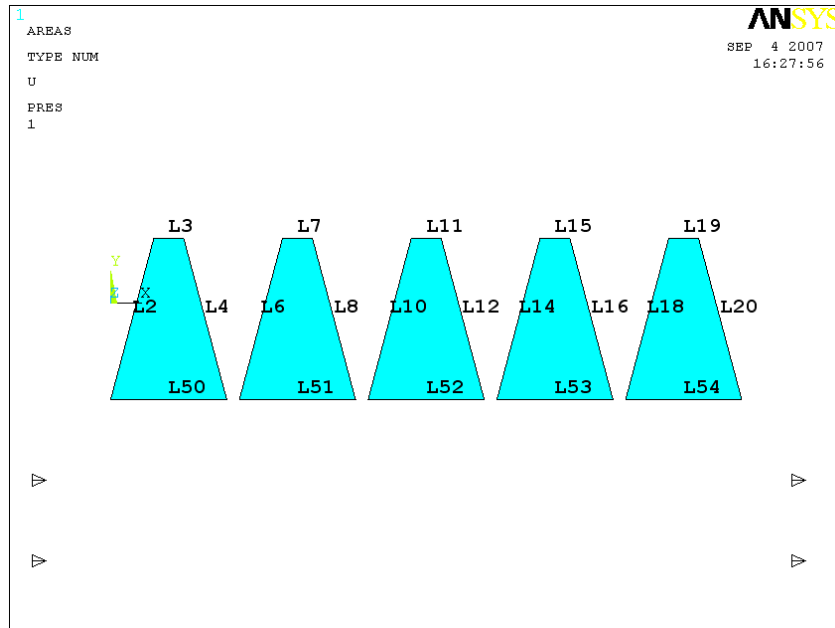


Рисунок 40. Результаты выбора поверхностей с линиями внедрения

- Далее выбираем линии внедрения:
 1. Выбираем раздел *Lines* в первом выпадающем списке первой секции окна *Select Entities*.
 2. Выбираем раздел *Attached to* во втором выпадающем списке первой секции окна *Select Entities*.
 3. Устанавливаем флаг напротив раздела *Areas* во второй секции меню выбора (Рисунок 41).
 4. Нажимаем кнопку *Apply* окна *Select Entities*.
 5. Нажимаем кнопку *Plot* окна *Select Entities* (Рисунок 42).

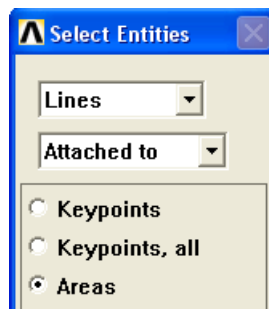


Рисунок 41. Первая и вторая секция меню выбора с установленными опциями

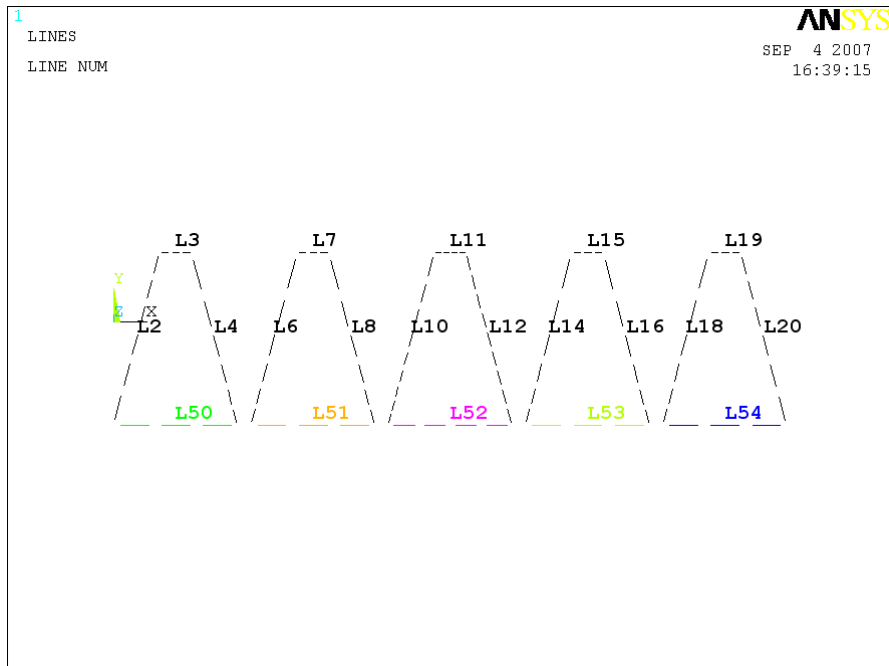



Рисунок 42. Отображение линий выбранных поверхностей

- Для создания контактных пар с помощью *Contact Wizard* используем пункт главного меню: *Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Contact Pair*. В появившемся окне *Contact Manager* необходимо нажать кнопку  для того чтобы вызвать *Contact Wizard*. При его использовании появляется первое окно, с помощью которого задаются линии внедрения.
 1. Нажимаем кнопку *Pick Target....* Появляется окно *Select Lines for Target*.
 2. Выбираем линии внедрения *L4, L8, L12, L16, L20* (Рисунок 42).
 3. Нажимаем *OK* в окне выбора *Select Lines for Target*.
 4. Возвращаемся к окну *Contact Wizard*. Нажимаем кнопку *Next>*.
 5. Используя пункт меню утилит *Utility Menu > Select > Everything* отменяем выбор поверхностей и линий их границ сделанный ранее.
 6. Отображаем поверхности с помощью пункта меню утилит: *Utility Menu > Plot > Areas*.
- Далее выделяем фрагмент рисунка, содержащего контактные линии. Определяем, что контактные линии принадлежат поверхностям *A1, A9 - A12* (Рисунок 36). Поэтому выбираем

указанные поверхности с помощью окна *Select Entities*. Затем выбираем линии границы, относящиеся к уже выбранным поверхностям (последовательность действий такая же как и для линий внедрения) (Рисунок 43).

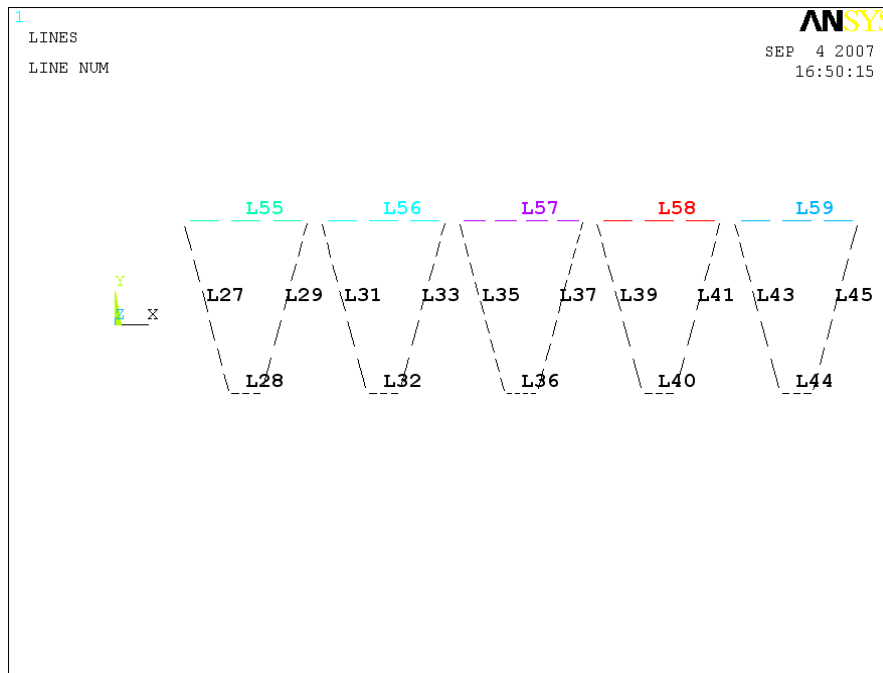


Рисунок 43. Номера линий верхних зубьев

1. Нажимаем кнопку *Pick Contact...* в окне *Contact Wizard*. Появляется окно *Select Lines for Contact*.
 2. Выбираем контактные линии *L27, L31, L35, L39, L43* (Рисунок 43).
 3. Нажимаем **OK** в окне выбора *Select Lines for Contact*.
- Нажимаем кнопку *Next>* в окне *Contact Wizard*.
 - Нажимаем кнопку *Create>* в окне *Contact Wizard*.

З а м е ч а н и е! Значение коэффициента трения можно не назначать. Кнопку *Optional Settings...* следует использовать только после приобретения достаточного опыта.

- В окне *Contact Wizard* нажимаем кнопку *Finish* (Рисунок 44).
- Используя пункт меню утилит *Utility Menu> Select> Everything* отменяем выбор области и линий их границ сделанный ранее.

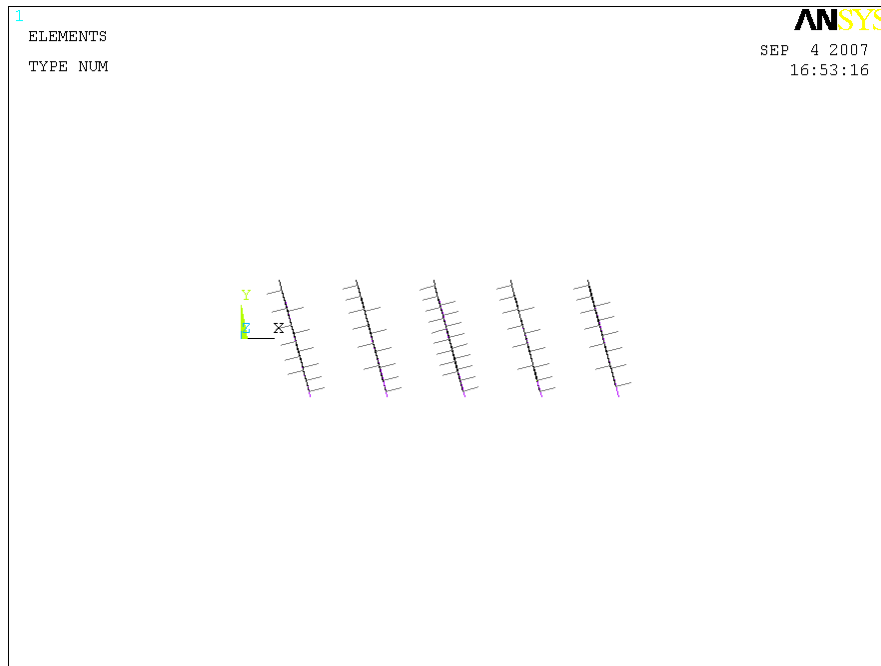


Рисунок 44. Контактные пары

З а м е ч а н и е! В окне *ANSYS Graphics* будут отображены созданные контактные элементы. Вообще говоря, в качестве контактирующих поверхностей следовало брать обе боковые поверхности зубьев. Однако это приводит к превышению ограничений налагаемых на количество элементов в учебной версии *ANSYS 10 ED*.

Шаг 6. Сохранение созданной модели в отдельном db-файле

При использовании пункта меню утилит появляется окно ***Save DataBase***. В этом случае последовательность действий полностью соответствует примеру 1 данного раздела. При этом имя файла следует выбрать ***Example2.db***.

Пример 3. Расчет напряженно-деформированного состояния кривошипа коленчатого вала

Шаг 1. Чтение существующей модели из db-файла

Для этого используем пункт меню:

Utility Menu > File > Resume from...

При использовании пункта меню утилит появляется окно *Resume DataBase*. В этом случае последовательность действий, связанная с выбором логического диска, папки (директории), в которой хранится уже созданный файл полностью соответствует примеру 1 данного раздела, однако в данном случае необходимо выбрать другой файл (например, *Example3.db*) в списке *Resume DataBase From*, в котором хранится третья созданная модель.

Шаг 2. Включение нумерации поверхностей

Utility Menu > PlotCtrl > Numbering...

При использовании данного пункта меню появляется окно *Plot Numbering Controls*. Далее выполняем следующие действия:

- устанавливаем флаг On в пункте *AREA*.
- Нажимаем кнопку **OK** для подтверждения окончания выбора.

Для обновления изображения модели необходимо использовать пункт меню:

Utility Menu > Plot > Replot

Команда

/PNUM,AREA,1

/REPLOTT

Шаг 3. Отображение поверхностей

Пункт меню утилит

Utility Menu > Plot > Areas

При использовании этого пункта меню области с нумерацией будут перерисованы (Рисунок 45).

Команда

APLOT,All

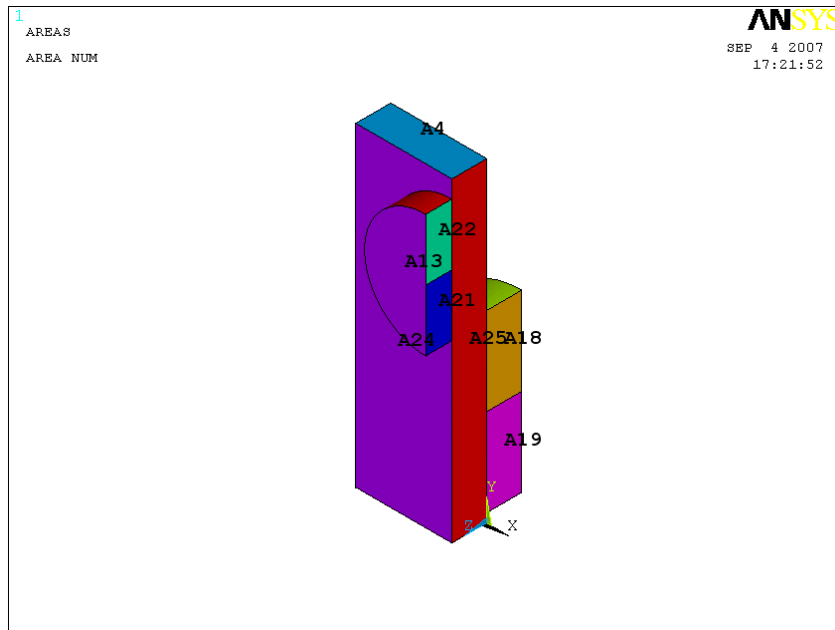


Рисунок 45. Поверхности модели и их номера

Шаг 4. Ограничение перемещений на поверхностях модели

При определении перемещений на поверхностях данной модели будем исходить из того, что:

- Перемещения вдоль оси OZ на поверхностях $A7$ и $A13$ (боковые поверхности шеек коленчатого вала) равны нулю ($UZ: VALUE = 0$).
- Перемещения вдоль оси OX для областей $A18$, $A19$, $A21$, $A22$, $A25$ (Рисунок 45) равны нулю ($UX: VALUE = 0$)

Последовательность действий см. пример 1 данного раздела.

Шаг 5. Включение нумерации линий и выключение нумерации поверхностей

Utility Menu > PlotCtrl > Numbering...

При использовании данного пункта меню появляется окно **Plot Numbering Controls**. Далее выполняем следующие действия:

- устанавливаем флаг On в пункте **LINE**;
- устанавливаем флаг Off в пункте **AREA**;
- Нажимаем кнопку **OK** для подтверждения окончания выбора;

Для обновления изображения модели необходимо использовать пункт меню (Рисунок 46):

Utility Menu > Plot > Replot

Команда

/PNUM,LINE,1

/PNUM,AREA,0

/REPLOT

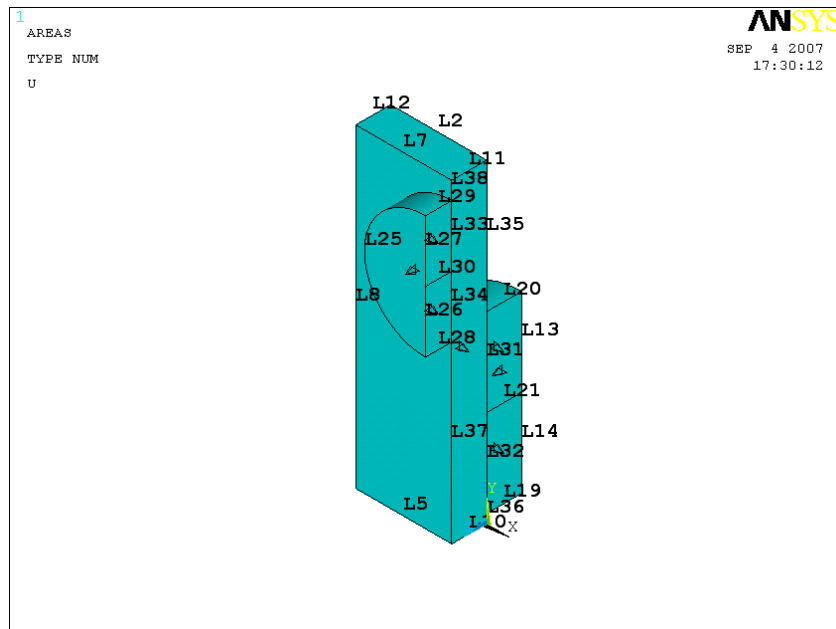


Рисунок 46. Модель с номерами линий

Шаг 6. Ограничение перемещений на линиях модели

При определении перемещений на линиях данной модели будем исходить из того, что :

- Перемещение вдоль оси OY на линии $L29$ имеет величину, равную -0.00005 m (Рисунок 46) ($UY: VALUE = -0.00005$).
- Перемещения вдоль оси OY на линии $L19$ (Рисунок 46) равны нулю ($UY: VALUE = 0$)

Последовательность действий см. в примере 1 данного раздела.

Шаг 7. Сохранение созданной модели в отдельном db-файле

При использовании пункта меню утилит появляется окно **Save DataBase**. В этом случае последовательность действий, необходимая для сохранения файла полностью соответствует примеру 1 данного раздела (Рисунок 47).

Результат приложения нагрузок к модели примера 3

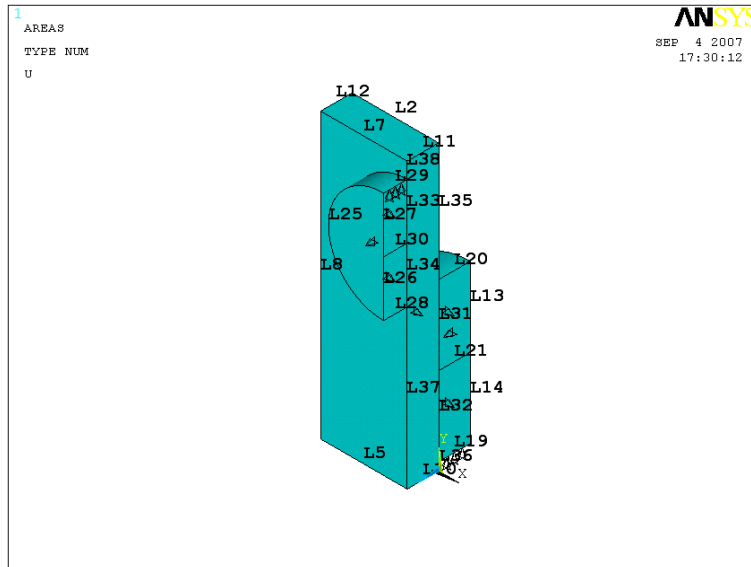


Рисунок 47. Результат приложения нагрузок к модели примера 3

Пример 4. Распределение температур в поперечном сечении строительного перекрытия

Шаг 1. Чтение существующей модели из db-файла

Для этого используем пункт меню:

Utility Menu > File > Resume from...

При использовании пункта меню появляется окно **Resume DataBase**. В этом случае последовательность действий, связанная с выбором логического диска, папки (директории), в которой хранится уже созданный файл полностью соответствует примеру 1 данного раздела, однако в данном случае необходимо выбрать другой файл (например, **Example4.db**) в списке **Resume DataBase From**, в котором хранится четвертая созданная модель.

Шаг 2. Сжатие нумерации линий и ключевых точек

Для сжатия нумерации компонент модели используется пункт меню:

Main Menu > Preprocessor > NumberingCtrls > Compress Numbers

При использовании данного пункта меню появляется окно **Compress Numbers** и в выпадающем списке **Label Item to be compressed** следует выбрать **Lines** (нажать **Apply**), а затем выбрать **Keypoints** (нажать **OK**).

Шаг 2. Включение нумерации линий

Utility Menu > PlotCtrl > Numbering...

При использовании данного пункта меню появляется окно **Plot Numbering Controls**. Далее выполняем следующие действия:

- устанавливаем флаг On в пункте **LINE**;
- устанавливаем флаг Off в пункте **AREA**;
- Нажимаем кнопку **OK** для подтверждения окончания выбора;

Команда

/PNUM,LINE,1

/PNUM,AREA,0

*Шаг 4. Отображение поверхностей*Пункт меню утилит

Utility Menu > Plot > Areas

При использовании этого пункта меню утилит области с нумерацией будут перерисованы (Рисунок 48).

Команда

APLOT,All

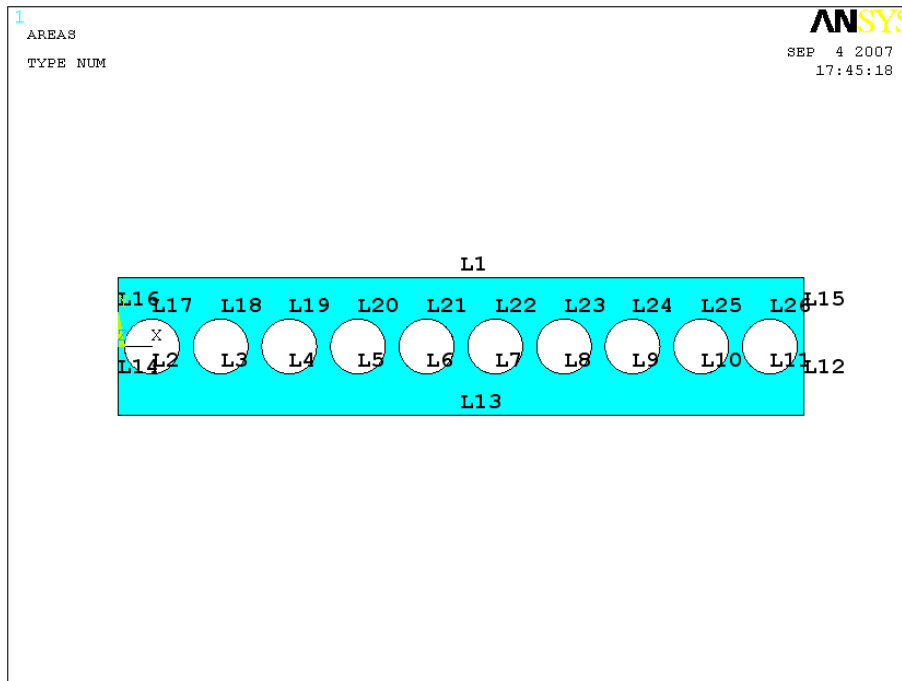


Рисунок 48. Результаты выполнения шага 4

Шаг 5. Определение температур на границах модели

Пункт главного меню

*Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply>
Thermal> Temperature> On Lines*

При использовании данного пункта меню появляется окно *Apply TEMP on Lines*. Далее выполняем следующие действия:

- Выбираем линию *L1* (верхнюю линию модели) для того, чтобы задать на ней температуру.
- Нажимаем кнопку *OK* или *Apply*.
- В окне с меткой *Lab2* второго окна *Apply TEMP on lines* выбираем опцию *TEMP*.
- В окне с меткой *VALUE* вводим *270 K*.
- Нажимаем кнопку *Apply*.
- Выбираем линию *L13* (нижнюю линию модели).
- Нажимаем кнопку *OK* или *Apply*.
- В поле ввода *VALUE* вводим *300 K*.
- Нажимаем кнопку *OK* (Рисунок 49).

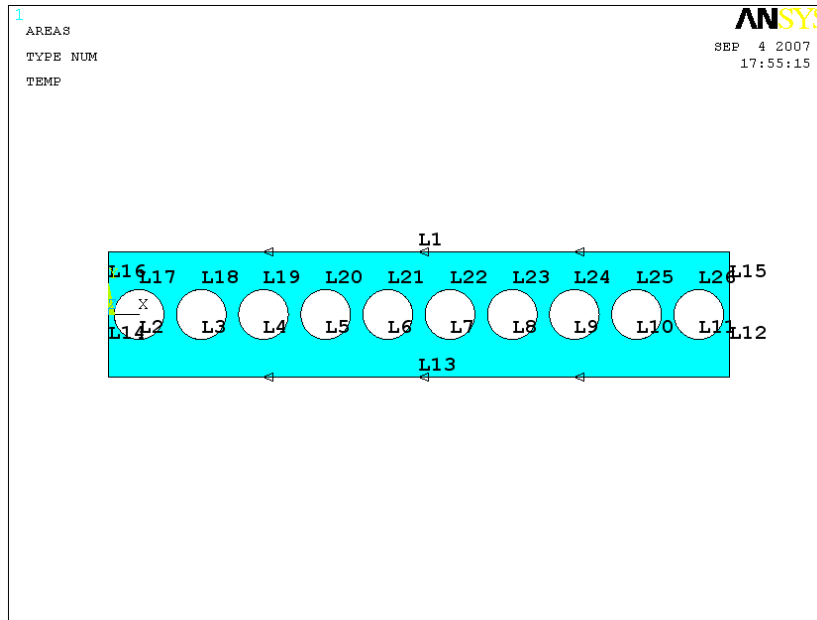
Команда*DL,1,,TEMP,270**DL,13,,TEMP,300*

Рисунок 49. Результат выполнения шага 5

З а м е ч а н и е! Ограничение температур обозначается треугольниками-стрелками.

Шаг 6. Определение тепловых потоков на линиях

Пункт главного меню

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Thermal> Heat Flux> On Lines

При использовании данного пункта меню появляется окно *Apply HFLUX on Lines*. Далее выполняем следующие действия:

- Выбираем линии *L12, L14 - L16, L2 - L11, L17 - L26* для того, чтобы определить на них тепловой поток.
- Нажимаем кнопку **ОК** или *Apply*.

- В поле ввода *VALI* второго окна *Apply HFLUX on Lines* указываем величину теплового потока величиной *0*.
- Нажимаем кнопку *OK*.

Команда

LSEL,S,LINE,,12

LSEL,A,LINE,,14,16

LSEL,A,LINE,,2,11

LSEL,A,LINE,,17,26

SFL,ALL,HFLUX,0

LSEL,ALL

Шаг 7. Сохранение созданной модели в отдельном db-файле

При использовании пункта меню утилит появляется окно *Save DataBase*. В этом случае последовательность действий, необходимая для сохранения файла, полностью соответствует примеру 1 данного раздела. При этом имя файла должно быть *Example4.db*.

Пример 5. Изгиб пружины с шагом витка 0,006 т под действием силы тяжести

Шаг 1. Чтение существующей модели из db-файла

Для этого используем пункт меню:

Utility Menu > File > Resume from...

При использовании пункта меню появляется окно *Resume DataBase*. В этом случае последовательность действий, связанная с выбором логического диска, папки (директории), в которой хранится уже созданный файл полностью соответствует примеру 1 данного раздела, однако в данном случае необходимо выбрать другой файл (например, *Example5.db*) в списке *Resume DataBase From*, в котором хранится пятая созданная модель.

Шаг 2. Выключение нумерации ключевых точек

Utility Menu > PlotCtrl > Numbering...

При использовании данного пункта меню появляется окно *Plot Numbering Controls*. Далее выполняем следующие действия:

- Устанавливаем флаг Off в пункте **КР**.
- Нажимаем кнопку **OK** для подтверждения окончания выбора.

Команда

/PNUM,КР,1

Шаг 3. Отображение линий и их номеров

Пункт меню утилит

Utility Menu > Plot > Lines

При использовании этого пункта меню утилит линии и нумерация будут перерисованы (Рисунок 50).

Команда

LPLLOT,All

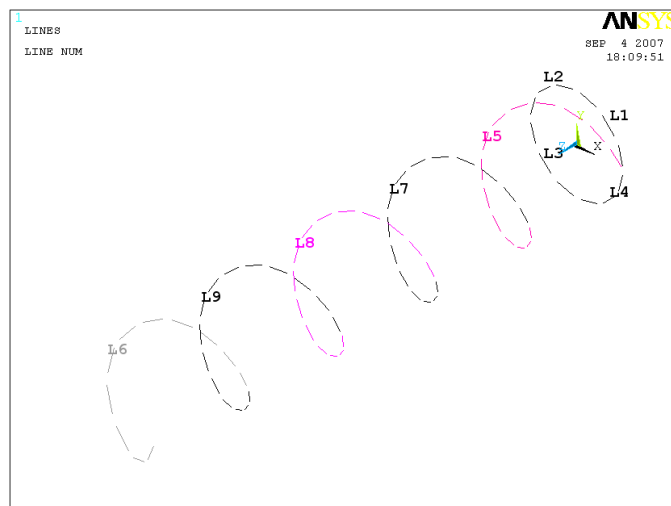


Рисунок 50. Отображение линий и их номеров

Шаг 4. Ограничение перемещений на линиях модели

При определении перемещений на линиях данной модели будем исходить из того, что перемещение во всех направлениях линий **L3**, **L4** отсутствует (линии закреплены **All DOF – VALUE = 0**).

Последовательность действий см. в примере 1 данного раздела.

Шаг 5. Определение силы тяжести

Сила тяжести определяется в ANSYS величиной и направлением ускорения свободного падения. Предполагаем, что сила тяжести действует в направлении обратном оси 0Y.

Пункт меню утилит

Main Menu> Preprocessor> Loads> Define Loads> Apply> Structural> Inertia> Gravity> Global

При использовании данного пункта главного меню появится окно **Apply (Gravitational) Acceleration**, в котором:

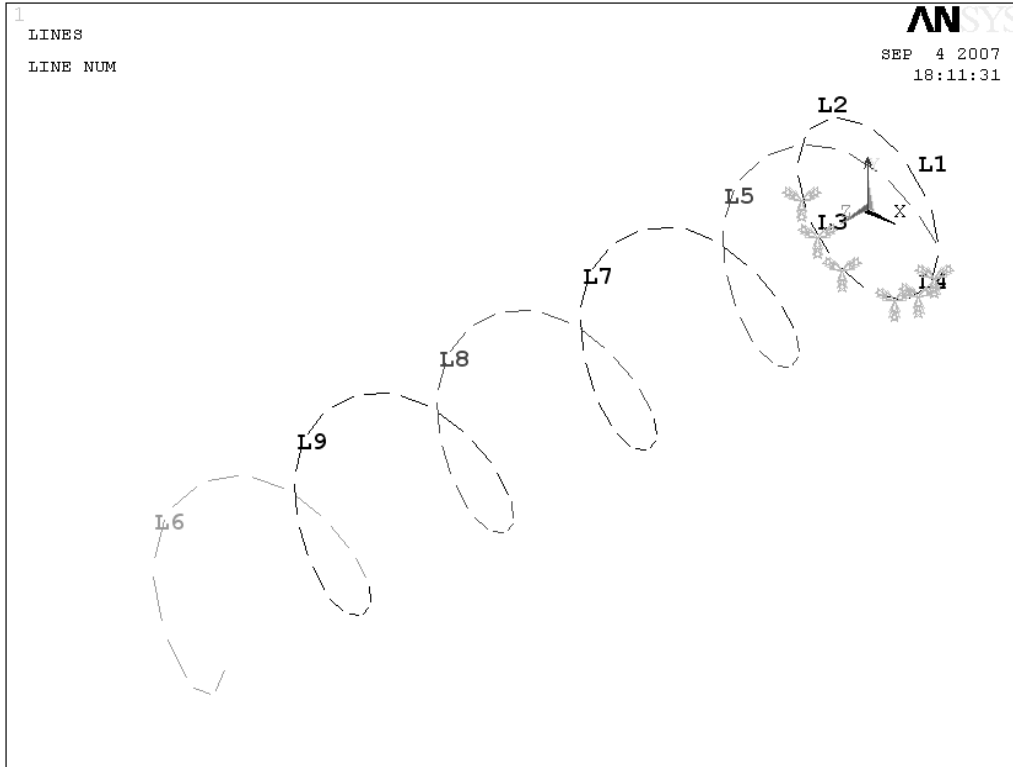
- Указываем в поле с меткой **ACELY** значение **9.8 м/с²**.
- Нажимаем кнопку **OK**.

Команда

ACEL,,9.8

Шаг 6. Сохранение созданной модели в отдельном db-файле

При использовании пункта меню утилит появляется окно **Save DataBase**. В этом случае последовательность действий, необходимая для сохранения файла, полностью соответствует примеру 1 данного раздела. При этом имя файла должно быть **Example5.db** (Рисунок 51).

Результат приложения нагрузок к модели примера 5**Рисунок 51. Результат приложения нагрузки к модели пружины**

Решение поставленных задач и просмотр результатов решения

Решение задач в ANSYS

Решение задач математической физики и механики твердого тела с помощью численных методов сводятся к решению систем уравнений. В этом случае точность получаемых значений зависит от размера (числа уравнений) системы: чем мельче разбиение, тем больше система и точнее решение.

При решении ряда задач (например контактные задачи и д.р.) ANSYS использует итерационные методы, которые представляют из себя многократно повторяющиеся однотипные преобразования системы уравнений, приводящие к приближенному решению системы на определенном конечном шаге. Однако в этом случае возникает определенная сложность реализации, связанные с тем, что итерационные методы решения сходятся для систем уравнений, удовлетворяющих определенным условиям, а при решении поставленных задач эти условия не всегда выполняются. Поэтому ANSYS имеет встроенные средства визуального контроля процесса сходимости итерационного решения, и в случае, когда пользователь видит, что решение не сходится, он может его прервать. Упомянутые средства могут быть включены («по умолчанию») и выключены по желанию пользователя.

Отключение средств контроля сходимости при решении

З а м е ч а н и я! Эти действия необходимо выполнять только, если пользователь хочет отключить средства визуального контроля сходимости метода. Действия описанные в данном разделе необходимо выполнять до решения, однако результаты этих действий будут видны только во время решения задачи.

Пункты главного меню

В данном случае необходимо использовать последовательно два пункта главного меню. С помощью первого пункта меню необходимо включить расширенное меню раздела ***Solution***:

Main Menu > Solution > Unabridged Menu

З а м е ч а н и е! «По умолчанию» включено сокращенное меню раздела Solution.

В расширенном меню необходимо выбрать пункт:

Main Menu > Solution > Load Step Opts > Output Ctrls > Grph Solu Track

При использовании данного пункта меню появится окно **Graphical Solution Tracking** (Рисунок 52), в котором пользователь в пункте **Lab** должен по желанию установить флаг **On**, что означает включен или **Off**, т.е. выключить средства графического контроля («по умолчанию»).

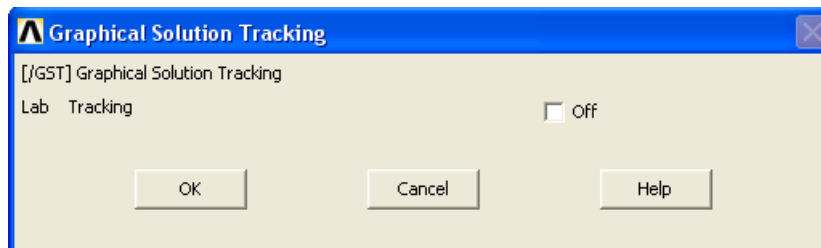


Рисунок 52. Окно *Graphical Solution Tracking*

Для подтверждения выбора необходимо нажать кнопку **OK** окна **Graphical Solution Tracking**

Команда

/GST, Lab

где **Lab** имеет значения **ON** (для включения графического контроля) или **OFF** (для отключения).

Решение


Пункт главного меню

Для получения решения поставленных задач необходимо использовать пункт меню:

Main Menu > Solution > Solve > Current LS

При использовании данного пункта меню появляется два окна:

- окно **/STATUS Command**, содержащее служебную информацию о размерности решаемой задачи ее типе и др.;
- окно **Solve Current Load Step**;

Первое окно */STATUS Command* (Рисунок 53) необходимо закрыть либо нажатием на кнопку  этого окна либо с использованием пункта меню данного окна *File > Close*.

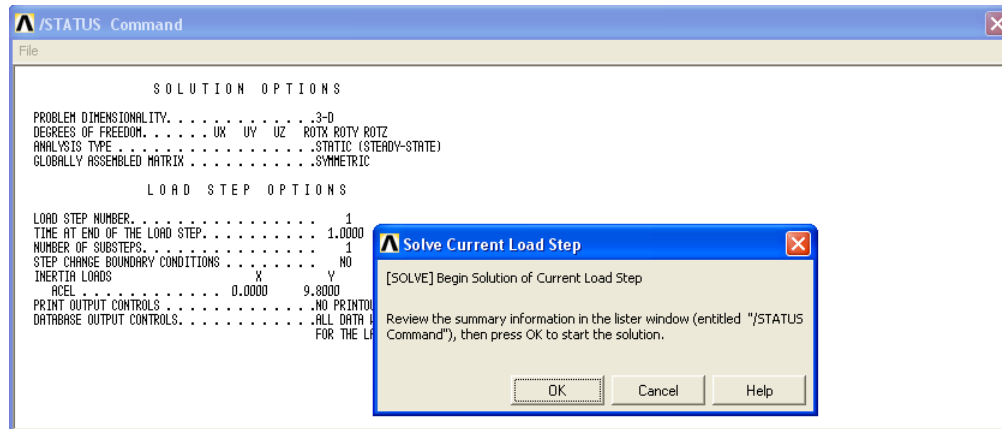


Рисунок 53. Окно */STATUS Command* и окно *Solve Current Load Step*

Во втором окне (*Solve Current Load Step*) для решения задачи необходимо нажать кнопку **OK** или отменить действие нажатием кнопки *Cancel*.

З а м е ч а н и е! Если контроль сходимости включен, то при решении нелинейных задач на «слабых» вычислительных машинах появится окно, в котором отображается сходимость итерационного процесса (Рисунок 54).

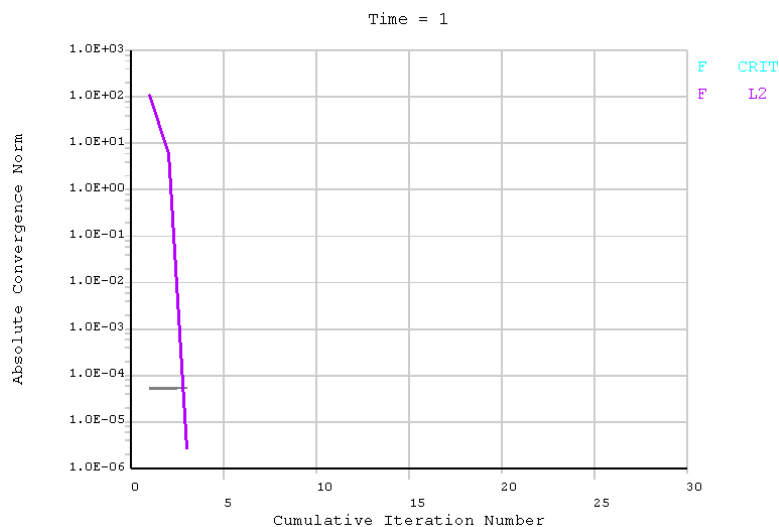


Рисунок 54. Окно контроля сходимости итерационного решения

З а м е ч а н и е! Решение продолжается до появления информационного сообщения «*Solution is done!*» (решение выполнено) в окне *Note* (Рисунок 56). Данное окно следует закрыть с помощью кнопки *Close*.

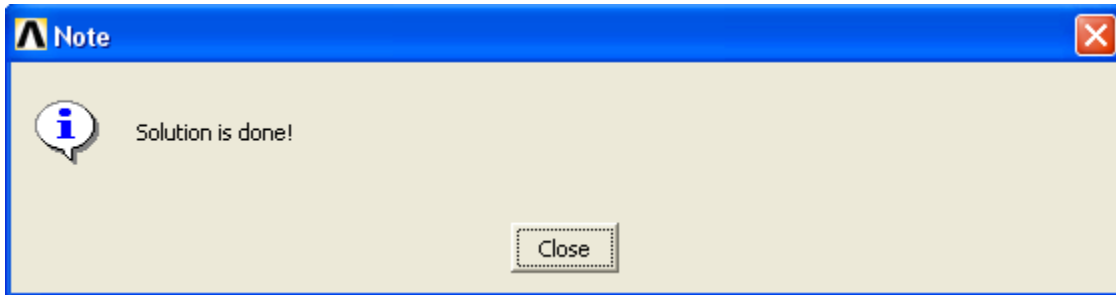


Рисунок 55. Окно с сообщением об окончании процесса решения

Команда

SOLVE

При использовании этой команды выполняется решение.

Средства просмотра результатов решения задач в ANSYS

Решения физических задач в ANSYS представляются в виде непрерывных распределений значений физических величин напряжений, перемещений, температур и др. При этом используется цветовая шкала, в которой каждый цвет соответствует некоторому интервалу величины физического параметра. При этом все области твердотельной модели, (поверхности или объемы) внутри которых значения попадают в указанный на цветовой шкале интервал окрашиваются одним цветом.

З а м е ч а н и е! В этом разделе не будут описаны команды постпроцессора вводимые в командной строке, (также как и в разделе, касающемся определения физических свойств материалов), так как их применение гораздо сложнее, чем в рисовании, разбиении и других разделах.

Просмотр результатов решения в виде непрерывных цветовых полей распределения физических параметров

Просмотр результатов решения задач в узлах конечно элементной сетки

Результаты завершеного решения для узловых точек можно просмотреть с помощью пункта главного меню:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu

При этом появляется окно **Contour Nodal Solution Data** (Рисунок 56).

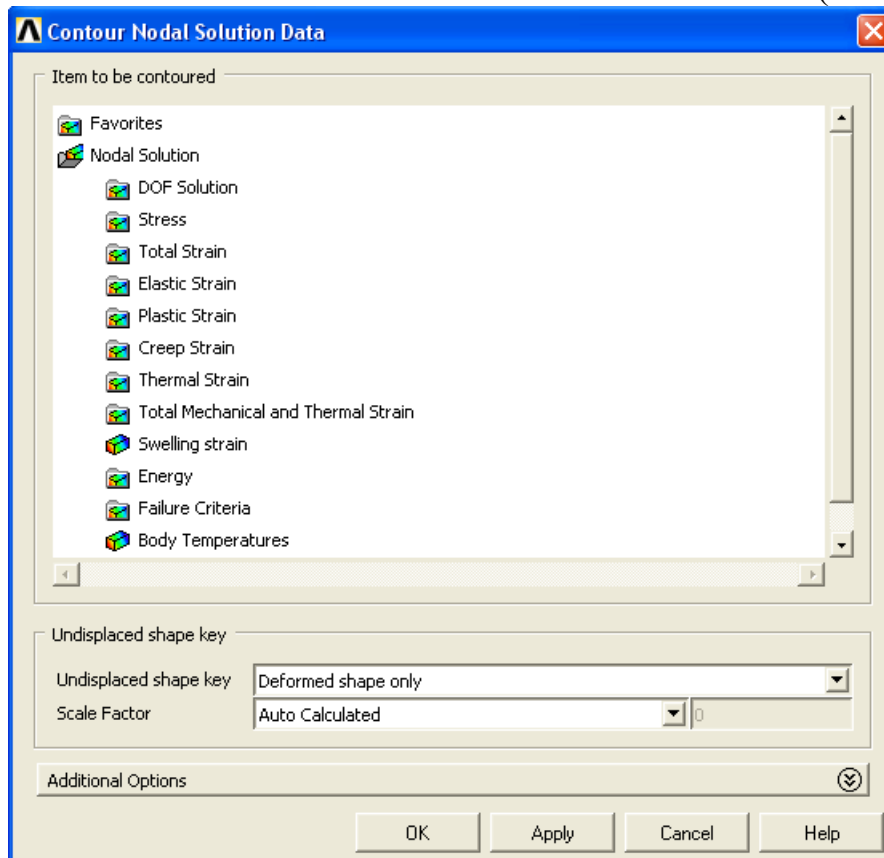


Рисунок 56. Окно *Contour Nodal Solution Data*

В этом случае пользователю предоставляется возможность в списке **Item to be contoured** (Рисунок 57) с помощью «мыши» выбрать физический параметр, который должен быть отображен (перемещения, напряжения и др.) и характерное направление для выбранного параметра (направление осей координат и др.).

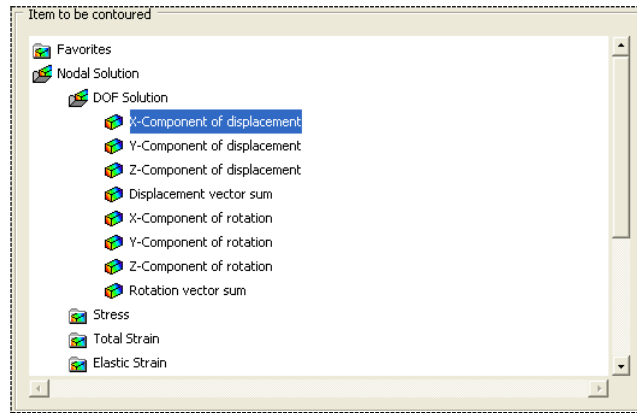


Рисунок 57. Список *Item to be contoured*

В группе опций *Undisplaced shape key* можно выбрать следующие способы отображения модели:

- *Deformed shape only* – при выборе этой опции будет отображено только деформированное состояние модели, а цветовой шкалой - уровни изменения указанного выше физического параметра;
- *Deformed shape with undeformed model* – при выборе этой опции будет отображено не только деформированное состояние модели и уровни изменения указанного физического параметра с помощью цветовой шкалы, но и исходное недеформированное состояние конечноэлементной модели;
- *Deformed shape with undeformed edge* – при выборе этой опции будет отображено не только деформированное состояние модели и уровни изменения указанного физического параметра с помощью цветовой шкалы, но и исходный недеформированный контур модели;

В группе *Additional Options* следует выбрать различные способы интерполяции полученного решения.

В заключение необходимо нажать кнопку **OK**.

Просмотр результатов решения задач для элементов

Результаты решения для элементов можно просмотреть с помощью пункта главного меню:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Element Solu...

При этом появляется окно *Contour Element Solution Data*. Последовательность действий практически полностью соответствует последовательности действий в случае отображения результатов решения для узлов конечноэлементной модели.

Просмотр результатов в векторной форме

Результаты решения для элементов можно просмотреть с помощью пункта главного меню:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Vector Plot > Predefined

При использовании данного пункта меню появляется пункта меню появляется пункта окно **Vector Plot of Predefined Vectors** (Рисунок 58). В этом случае пользователю предоставляется возможность в левом списке **Item** с помощью «мыши» выбрать физический параметр, который должен быть отображен (например, ограничения степеней свободы и др.), а в правом окне если, есть необходимость - уточнить выбор.

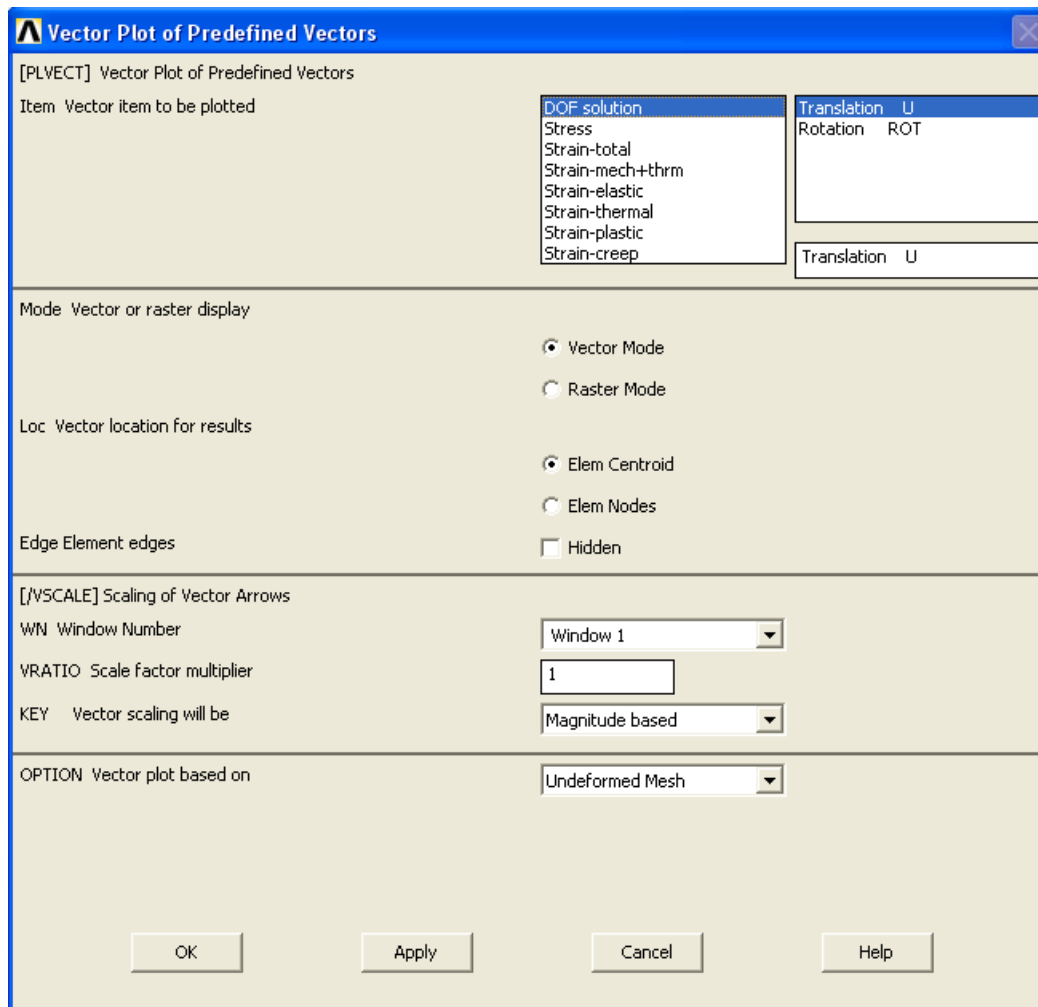


Рисунок 58. Окно *Vector Plot of Predefined Vectors*

Опция **Mode** позволяет выбрать векторный или растровый режим отображения рисунка.

Опция **Loc** позволяет выбрать место приложения вектора в центре элемента (**Elem Centroid**) либо в узлах конечноэлементной сетки (**Elem Nodes**).

Опция **Edge** позволяет выключить (Hidden) либо выключать (Displayed) отображение конечноэлементной сетки.

В поле **VRATIO** можно установить множитель, определяющий величину отображаемых векторов.

В выпадающем списке **KEY** устанавливается режим отображения векторов с длиной, пропорциональной величине физического параметра (**Magnitude Based**), либо режим отображения всех векторов одинаковой длины (**Uniform**).

В выпадающем списке **OPTION** устанавливается режим отображения векторов на основе деформированной сетки (**Deformed Mesh**) либо недеформированной сетки (**Undeformed Mesh**).

В заключение необходимо нажать кнопку **OK**.

Вывод списка значений физических параметров для компонент различного типа

Просмотр списка результатов решения задачи в узлах конечно элементной сетки

Вывод списка результатов решения для узлов конечноэлементной сетки можно просмотреть с помощью пункта главного меню:

Main Menu > General Postproc > List Results > Nodal Solution

При использовании данного пункта меню **List Nodal Solution** пользователю предоставляется возможность в левом списке **Item to be listed**, с помощью «мыши» выбрать физический параметр, который должен быть отображен (например, ограничения степеней свободы и др.) и далее необходимо указать характерное направление для выбранного ранее параметра.

В заключение необходимо нажать кнопку **OK**.

После этого появляется окно **PRNSOL Command** (Рисунок 59), содержащее список номеров узловых точек и значений указанных выше параметров.

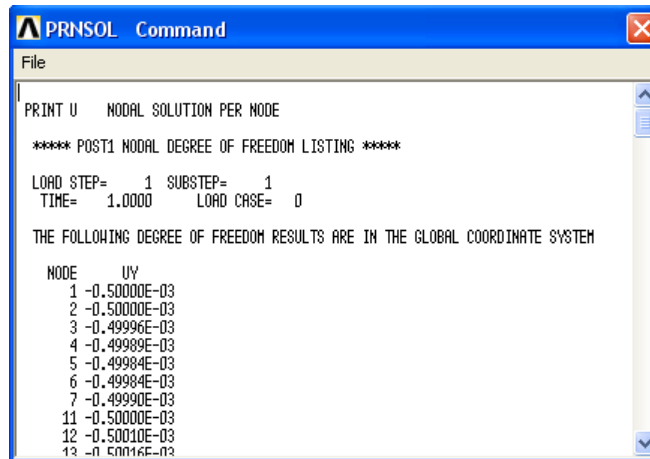


Рисунок 59. Окно *PRNSOL Command*

Просмотр списка результатов решения задачи для элементов

Вывод списка результатов решения для элементов можно просмотреть с помощью пункта главного меню:

Main Menu > General Postproc > List Results > Element Solution

При использовании данного пункта меню ***List Element Solution*** пользователю предоставляется возможность в левом списке ***Item to be listed*** с помощью «мыши» выбрать физический параметр, который должен быть отображен и далее уточнить направление.

В заключение необходимо нажать кнопку ***OK***.

После этого появляется окно ***PRESOL Command***, содержащее список номеров элементов и значений, указанных выше параметров.

Определение значений физических параметров в указанных точках модели

Для определения значений указанных физический параметров в отдельных точках модели необходимо пройти два этапа: первый – указать физический параметр, величину которого необходимо определить, а второй – указать точку (или точки), в которой (которых) желательно определить значение физического параметра.

Пункт главного меню:

Main Menu > General Postproc > Query Results > Subgrid Solu

При этом появляется окно ***Query Subgrid Solution Data*** (Рисунок 60).

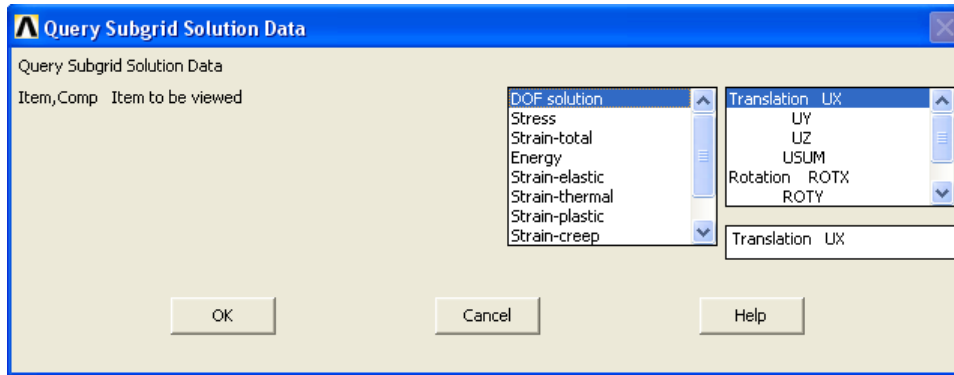


Рисунок 60. Окно *Query Subgrid Solution Data*

- В этом случае пользователю предоставляется возможность в левом списке *Item, Comp* (Рисунок 61) с помощью «мыши» выбрать физический параметр, который должен быть отображен (ограничения степеней свободы и др.):

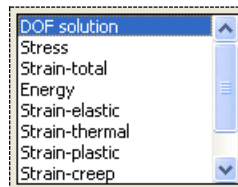


Рисунок 61. Левый список с меткой *Item, Comp*

- В правом списке необходимо выбрать характерное направление для выбранного выше параметра (Рисунок 62):

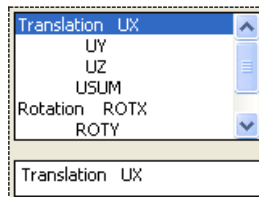


Рисунок 62. Правый список с меткой *Item, Comp*

- После окончания выбора параметра необходимо нажать кнопку **OK**.
- С помощью появившегося окна выбора *Query Subgrid Results* (Рисунок 63) и «мыши» необходимо указать точку модели, в которой необходимо узнать точное значение выбранного параметра

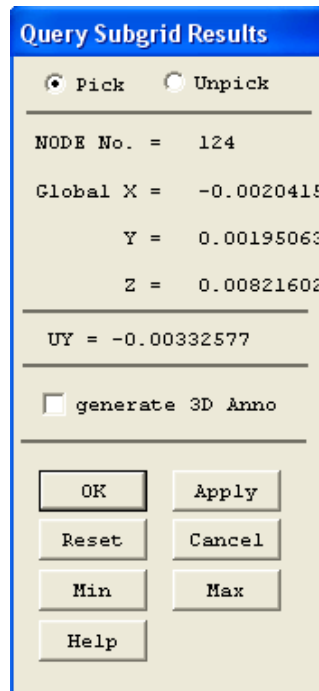


Рисунок 63. Окно выбора *Query Subgrid Results*

При указании «мышью» точки, принадлежащей модели, во второй секции окна *Query Subgrid Results* автоматически отобразятся ее координаты, а в третьей секции величина выбранного физического параметра. Кроме того, величина параметра отобразится в окне *ANSYS Graphics*.

З а м е ч а н и е! Для того чтобы выбрать другой выводимый параметр необходимо использовать кнопку *Apply*. В этом случае появится окно *Query Subgrid Solution Data* и пользователь получит возможность изменить выбор.

Решения примеров и просмотр результатов в ANSYS

З а м е ч а н и е! Шаги, связанные с чтением соответствующих моделей примеров из их файлов, многократно и подробно рассмотрены в предыдущих разделах, поэтому в заключительном разделе нет необходимости еще раз останавливаться на них.


Пример 1. Распределение напряжений при осевом растяжении плоского образца с концентратором

Шаг 1. Решение задачи

Пункт главного меню

Main Menu> Solution> Solve> Current LS

При использовании данного пункта меню появляется два окна. Далее выполняем следующие действия:

- Закрываем окно ***/STATUS Command***, содержащее служебную информацию о решаемой задаче, нажатием кнопки .
- Нажимаем кнопку ***OK*** во втором окне (***Solve Current Load Step***).

Список команд

/SOLU

SOLVE

З а м е ч а н и е! Решение продолжается до появления информационного сообщения ***Solution is done!*** Данное окно следует закрыть с помощью кнопки ***Close***.

Шаг 2. Просмотр полей напряжений

Пункт главного меню

При просмотре полей напряжений следует воспользоваться пунктом главного меню:

Main Menu> General Postproc> Plot Results> Contour Plot> Nodal Solu

При использовании этого пункта меню появится окно ***Contour Nodal Solution Data*** (Рисунок 64). Далее следует:

- Выбрать раздел ***Stress*** (напряжения) в левом списке с меткой ***Item to be contured***.

- Выбрать раздел (*X-Component of stress*) соответствующую выбору нормального напряжения, действующего на площадках перпендикулярных оси Ox .
- Нажать кнопку **OK** (Рисунок 65).

З а м е ч а н и е! Для остальных установок можно оставить значения «по умолчанию».

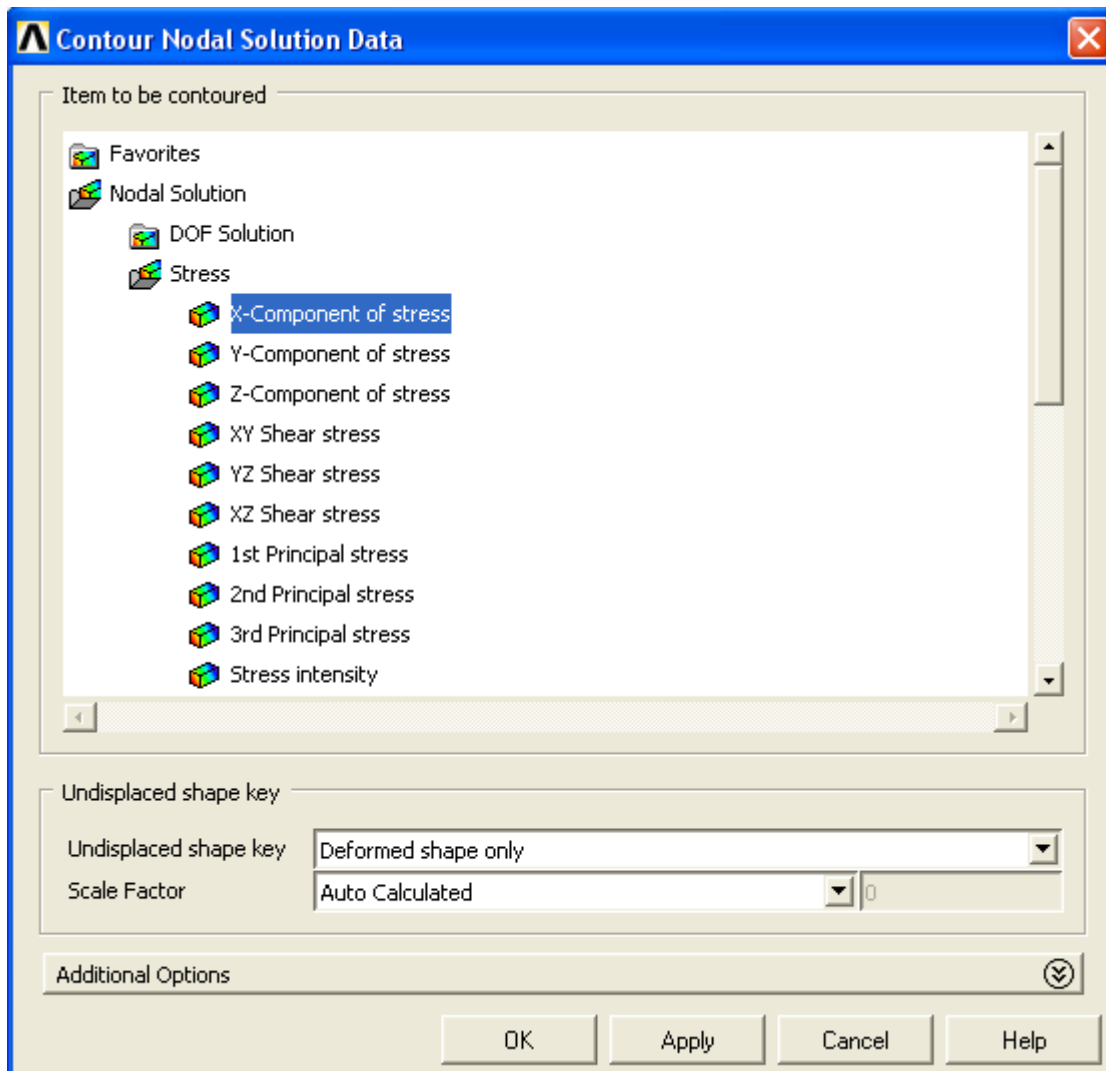


Рисунок 64. Окно *Contour Nodal Solution Data* с выбранным разделом *X-Component of stress*

Результаты выполнения шага 2

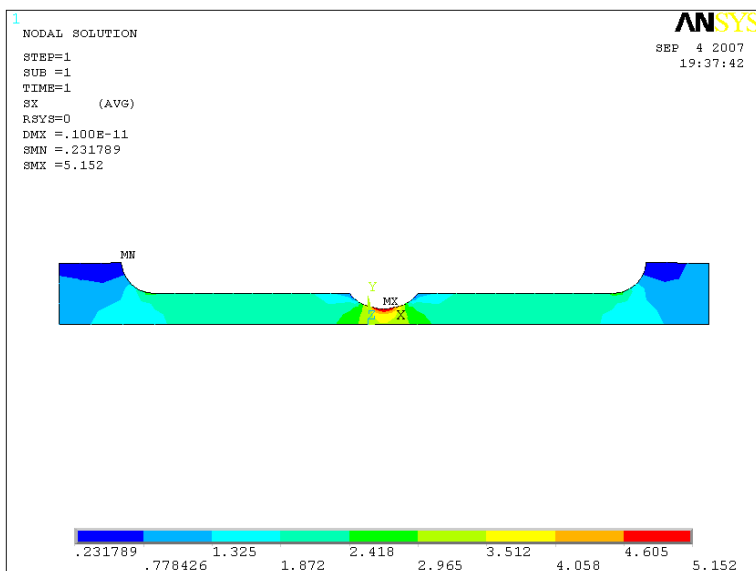


Рисунок 65. Результаты визуализации напряженного состояния образца

Пример 2. Распределение давлений в области контакта трапециoidalных зубьев плоской гребенки

Шаг 1. Решение задачи

Пункт главного меню

Main Menu> Solution> Solve> Current LS

Последовательность действий соответствует шагу 1 примера 1 данного раздела.

Список команд

/SOLU

SOLVE

З а м е ч а н и е! Решение продолжается до появления информационного сообщения Solution is done! (решение выполнено). Данное окно следует закрыть с помощью кнопки Close.

Шаг 2. Просмотр распределения контактных давлений

Пункт главного меню

При просмотре контактных давлений следует воспользоваться пунктом главного меню:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu

При использовании этого пункта меню появится окно **Contour Nodal Solution Data** (Рисунок 66). Далее следует:

- Выбрать раздел **Contact** (напряжения) в левом списке с меткой **Item to be contoured**.
- Выбрать в правом списке метку (**Contact pressure**) соответствующую отображению контактного давления.
- Нажать кнопку **OK** (Рисунок 67).

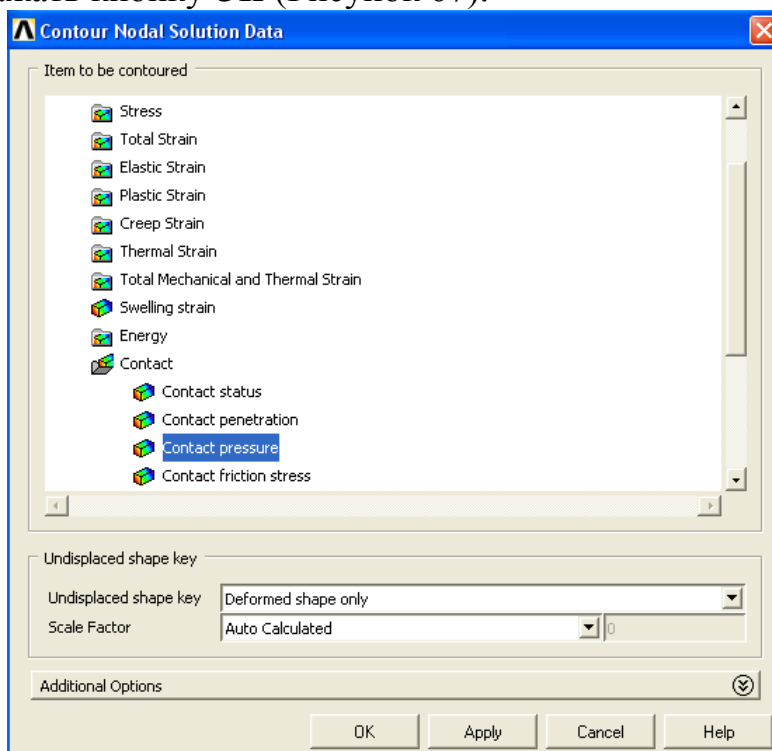


Рисунок 66. Окно **Contour Nodal Solution Data** с выбранным разделом **Contact pressure**

З а м е ч а н и е! Для остальных установок можно оставить значения «по умолчанию».

Результаты выполнения шага 2

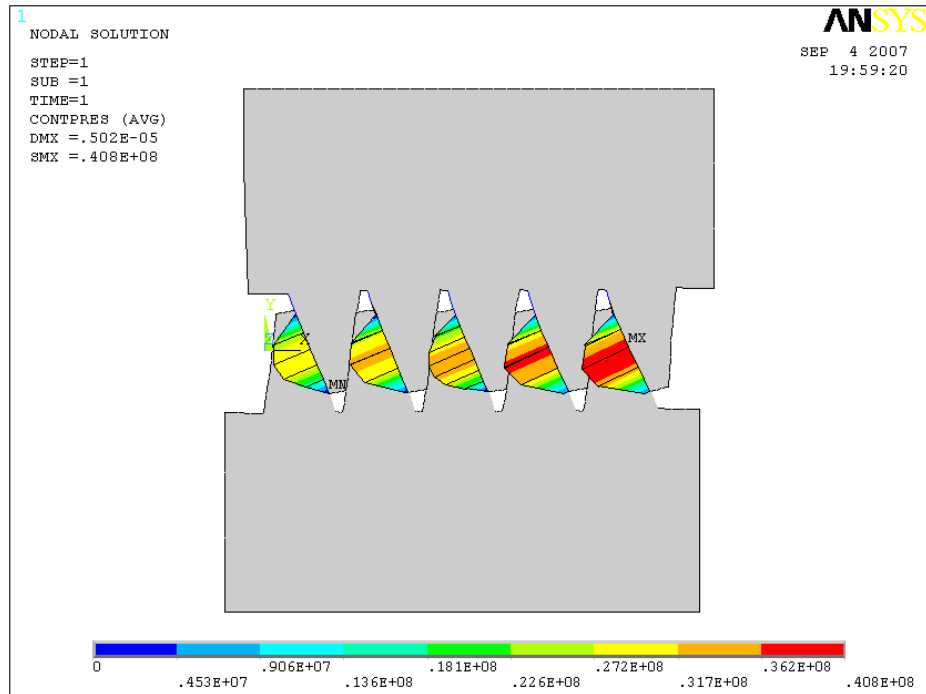


Рисунок 67. Результаты визуализации контактных давлений

З а м е ч а н и е! Наиболее достоверные результаты распределения контактных давлений получаются для среднего зуба, т.к. он имеет наиболее мелкое разбиение.

ПРИМЕР 3. Расчет напряженно-деформированного состояния кривошипа коленчатого вала

Шаг 1. Решение задачи

Пункт главного меню

Main Menu> Solution> Solve Current LS

Последовательность действий соответствует шагу 1 примера 1 данного раздела.

Список команд**/SOLU****SOLVE**

З а м е ч а н и е! Решение продолжается до появления информационного сообщения *Solution is done!* (решение выполнено). Данное окно следует закрыть с помощью кнопки *Close*.

Шаг 2. Просмотр распределения перемещений в сечении кривошипа коленчатого вала

Пункт главного меню

При отображении полей перемещений в сечении следует воспользоваться пунктом главного меню:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu...

При использовании этого пункта меню появится окно *Contour Nodal Solution Data*. Далее следует:

- Выбрать раздел **DOF solution** (степени свободы) в окне с меткой *Item to be contoured*.
- Далее выбрать метку **(Y-Component of displacement)** соответствующую отображению перемещений вдоль оси **0Y**.
- С помощью выпадающего меню **Undisplaced shape key** следует выбрать значение **Deformed shape with undeformed edge** – при выборе этой опции будет отображено не только деформированное состояние модели с цветовой шкалой распределения перемещений, но и исходный недеформированный контур модели.

З а м е ч а н и е! Для остальных установок можно оставить значения «по умолчанию».

- Нажать кнопку **ОК** (Рисунок 68).

Результаты выполнения шага 2

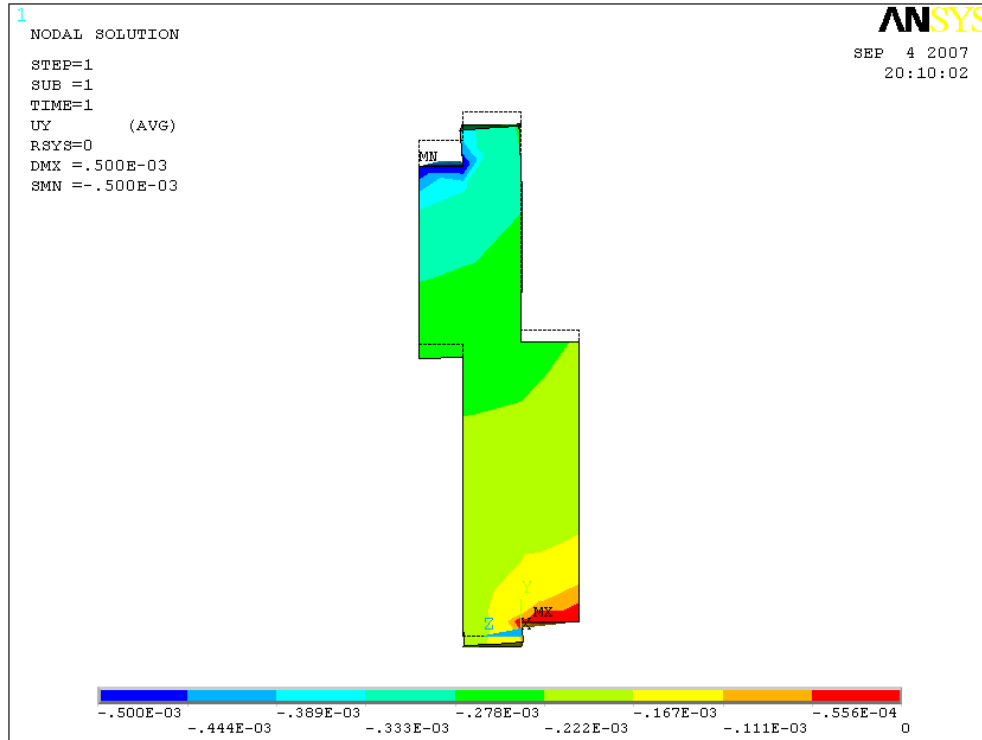


Рисунок 68. Результаты визуализации перемещений в сечении кривошипа

З а м е ч а н и е! *Распределение физических величин при выполненном ранее грубом разбиении на конечные элементы может не соответствовать действительности.*

Пример 4. Распределение температур в поперечном сечении строительного перекрытия

Шаг 1. Решение задачи

Пункт главного меню

Main Menu> Solution> Solve> Current LS

Последовательность действий соответствует шагу 1 примера 1 данного раздела.

Список команд**/SOLU****SOLVE**

З а м е ч а н и е! Решение продолжается до появления информационного сообщения *Solution is done!* (решение выполнено). Данное окно следует закрыть с помощью кнопки *Close*.

Шаг 2. Просмотр распределения температур в поперечном сечении перекрытия

Пункт главного меню

При отображении полей перемещений в сечении следует воспользоваться пунктом главного меню:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu...

При использовании этого пункта меню появится окно **Contour Nodal Solution Data**. Далее следует:

- Выбрать раздел **DOF solution** (степени свободы) в левом списке с меткой **Item to be contoured**.
- Выбрать опцию **Nodal Temperature**, соответствующую отображению распределения температур.

З а м е ч а н и е! Для остальных установок можно оставить значения «по умолчанию».

- Нажать кнопку **ОК** (Рисунок 69).

Результаты выполнения шага 2

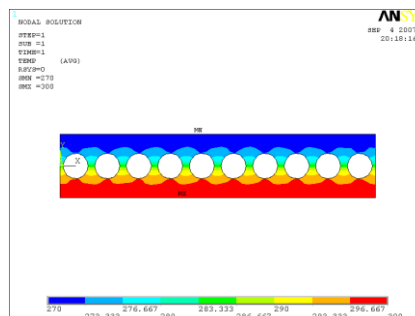


Рисунок 69. Результаты визуализации распределения температур

Пример 5. Изгиб пружины с шагом витка 0,006 т под действием силы тяжести

Шаг 1. Решение задачи

Пункт главного меню

Main Menu> Solution> Solve> Current LS

Последовательность действий соответствует шагу 1 примера 1 данного раздела.

Список команд

/SOLU

SOLVE

З а м е ч а н и е! Решение продолжается до появления информационного сообщения Solution is done! (решение выполнено). Данное окно следует закрыть с помощью кнопки Close.

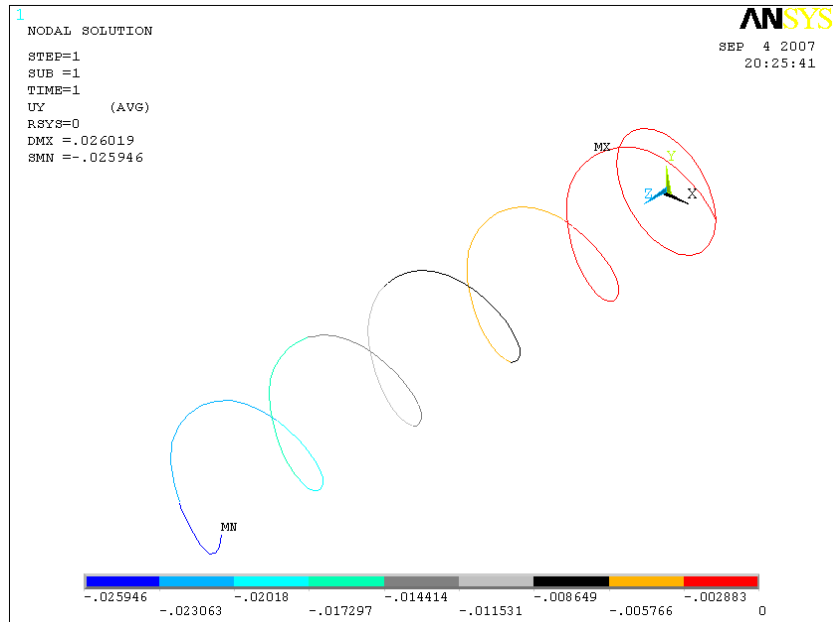
Шаг 2. Просмотр распределения перемещений пружины под действием силы тяжести

Пункт главного меню

При отображении полей перемещений в сечении, следует воспользоваться пунктом главного меню:

Main Menu> General Postproc> Plot Results> Contour Plot> Nodal Solu

Последовательность действий соответствует шагу 2 примера 3 данного раздела (Рисунок 70).

Результаты выполнения шага 2**Рисунок 70. Результаты визуализации перемещений пружины**

Литература

1. Чигарев А.В. ANSYS для инженеров: Справочное пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк – М: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Ограничения и нагрузки в ANSYS	3
Общие сведения.....	3
Определение ограничений и нагрузок	5
Наложение ограничений.....	5
Сосредоточенные нагрузки в ANSYS	14
Распределенные нагрузки в ANSYS.....	19
Простейшие способы использования объемных нагрузок. Инерционные нагрузки в ANSYS.....	28
Решение контактных задач.....	31
Просмотр списка нагрузок, действующих на модель	38
Просмотр списка ограничений	38
Просмотр списка сосредоточенных нагрузок	44
Просмотр списка нагрузок, распределенных по поверхностям	48
Просмотр созданных пар контактных элементов	49
Удаление нагрузок	50
Удаление ограничений.....	50
Удаление сосредоточенных нагрузок	58
Удаление распределенных нагрузок	62
Удаление инерционных нагрузок	66
Примеры задания нагрузок на границах конечно-элементных моделей	70
Пример 1. Осевое растяжение плоского образца с концентратором.....	70
Пример 2. Построение разбиения плоской гребенки с трапециoidalными зубьями.....	76
Пример 3. Расчет напряженно-деформированного состояния кривошипа коленчатого вала	83
Пример 4. Распределение температур в поперечном сечении строительного перекрытия	87
Пример 5. Изгиб пружины с шагом витка 0,006 m под действием силы тяжести	91
Решение поставленных задач и просмотр результатов решения	95
Решение задач в ANSYS.....	95
Отключение средств контроля сходимости при решении	95
Решение	96
Средства просмотра результатов решения задач в ANSYS.....	98
Просмотр результатов решения в виде непрерывных цветовых полей распределения физических параметров.....	99
Просмотр результатов в векторной форме	101

Вывод списка значений физических параметров для компонент различного типа.....	102
Решения примеров и просмотр результатов в ANSYS	105
Пример 1. Распределение напряжений при осевом растяжении плоского образца с концентратором.....	106
Пример 2. Распределение давлений в области контакта трапециoidalных зубьев плоской гребенки	108
ПРИМЕР 3. Расчет напряженно-деформированного состояния кривошипа коленчатого вала	110
Пример 4. Распределение температур в поперечном сечении строительного перекрытия	112
Пример 5. Изгиб пружины с шагом витка 0,006 m под действием силы тяжести	114
Литература.....	116