

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗЬБОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МОДЕЛЕЙ ВЫСОКОГО УРОВНЯ**

методические указания

САМАРА
2009

УДК 621.757.002

Составители: *Курбатов В.П., Проничев Ю.Н.*

Исследование резьбовых соединений с использованием моделей высокого уровня: метод. указания / Сост.: [Курбатов В.П., Проничев Ю.Н.] – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т., 2009. - 25 с.

Методические указания предназначены для студентов направления 16 01 00 и должны использоваться при выполнении лабораторной работы. В методических указаниях рассмотрены способы моделирования нагрузок и контроль усилий затяжки при производстве ДЛА, а также приведена методика проведения экспериментов и обработки результатов исследований.

Методические указания могут использоваться при обучении специалистов на ФПК.
Разработано на кафедре производства двигателей летательных аппаратов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

**© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2009**

Рецензент: д-р техн. наук, проф. *В.П. Самохвалов*

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие положения	3
2. Методика работы с программой Ansys по моделированию резьбы.....	4
2.1. Порядок построения конечно-элементной модели резьбы.....	4
2.2. Порядок проведения расчетов.....	5
2.3. Представление результатов моделирования.....	7
3. Методика проведения эксперимента	8
3.1. Цель и задачи лабораторного эксперимента.....	8
3.2. Проведение эксперимента и обработка результатов.....	9
Приложение I Программа-макрос	
Приложение II Пример расчета	
Приложение III Видеопособие	

1. Общие положения

Практика эксплуатации двигателей летательных аппаратов и других машин показывает, что одной из основных причин разрушения резьбовых соединений является значительное отклонение усилия затяжки болтов, винтов и шпилек от оптимального значения, обеспечивающего их нормальную работу. Это вызвано тем, что создание необходимого усилия затяжки резьбового соединения связано с трудностью контроля этого усилия при сборке. Поэтому возникает необходимость в оценке точностных и других технологических характеристик применяемых способов контроля усилия затяжки резьбовых соединений. Это позволит более обоснованно подходить к выбору того или иного способа контроля исходя из конструктивно-технологических особенностей резьбового соединения.

В работе рассматривается методика моделирования в среде Ansys версии 5.7 и выше с использованием APDL макроса резьбового соединения.

Модель позволяет построить однозаходную метрическую резьбу практически любого диаметра и шага.

Можно моделировать различные виды нагрузок на болт, как в отдельности, так и в произвольной комбинации:

- усилие затяжки;
- момент затяжки (момент на ключе);
- удлинение болта или его отклонение от оси.

Можно регулировать густоту сетки конечных элементов по элементам самой резьбы и базового цилиндра.

Можно задавать различные характеристики материала болта:

- плотность материала (в кг/м^3);
- коэффициент Пуассона;
- модуль упругости (модуль Юнга).

Результатом расчёта в среде Ansys является картина распределения напряжений и смещений при упругом деформировании в рамках модели.

2. Методика работы с программой Ansys по моделированию резьбы

2.1. Порядок построения конечно-элементной модели резьбы

Для запуска программы-макроса из Ansys 5.7 переходим <File> - <read input from> - <расположение файла с макросом>
Программа автоматически построит модель, пригодную для расчёта.

Для изменения параметров построения резьбы и прикладываемой нагрузки необходимо изменить подпрограмму-макрос в любом текстовом редакторе. Текст макроса представлен в Приложении I. Порядок ввода исходных данных в п. 3.2. Пример практической реализации методики моделирования приведен в приложении III (Видеопособие).

В тексте программы **цветом** отмечены места изменения параметров.

При введении параметров резьбы следует обратить внимание на:

- 1) размерность единиц для задания геометрии резьбы (все в мм);
- 2) условие целого числа витков резьбы(l/p должно быть целым числом);
- 3) размерность прикладываемых нагрузок

ВНИМАНИЕ!

СОХРАНИТЬ ИЗМЕНЁННЫЙ МАКРОС!

При указании папки с макросом следует иметь в виду, что путь НЕ должен содержать русских букв. Это связано с особенностями программы Ansys. Путь должен быть указан английскими буквами.

В результате выполнения программы в окне Ansys Graphics появится изображение резьбы с сеткой конечных элементов. Например (M20x4):

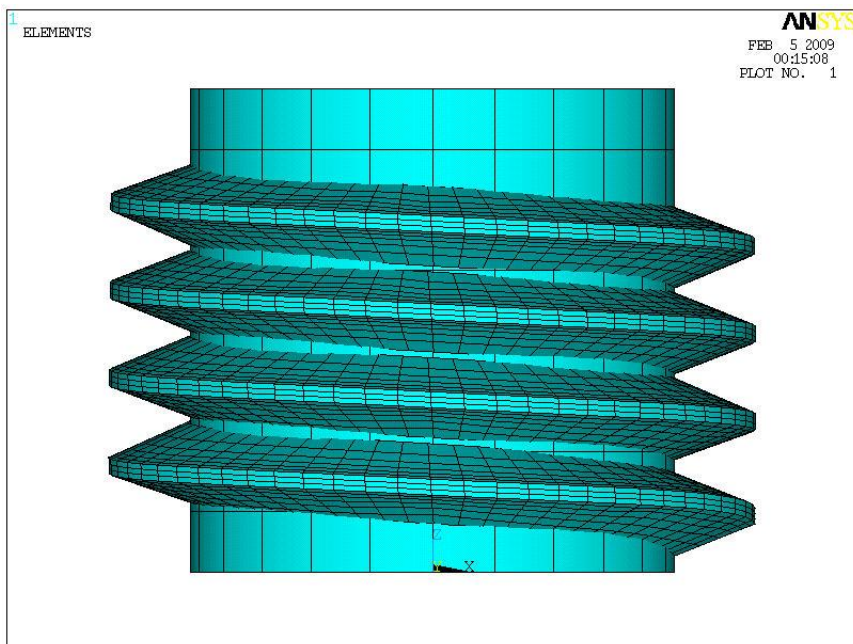


Рис.1 – Изображение готовой модели.

2.2. Порядок проведения расчетов

Далее модель необходимо запустить на расчёт. Для этого в меню в левой части экрана выбираем вкладку SOLUTION – Currents LS – ОК

На предупреждение нажимаем ОК(Да).

Об успешном выполнении расчёта сообщает жёлтое окно с текстом «Solution is done». После выполнения расчёта нажимаем close и закрываем ТЕКСТОВОЕ окно.

В зависимости от того, что необходимо показать далее (какой вид напряжений или какое-либо направление деформаций), выбираем в Ansys Main Menu – General postprocessor – plot results – nodal solution. В появившемся окне Dof solution дают перемещения, а следующая вкладка Stress – напряжения. Направления осей следующие:

- OX – радиальная
- OY – радиальная
- OZ – осевая

Иногда может возникнуть проблема, состоящая в том, что программа при запуске на расчёт или при построении будет выдавать ошибку. Эта проблема связана либо с некорректным заданием резьбы, либо с тем, что получается очень большое количество витков. В таком случае следует повторить построение, уменьшив число витков на 1.

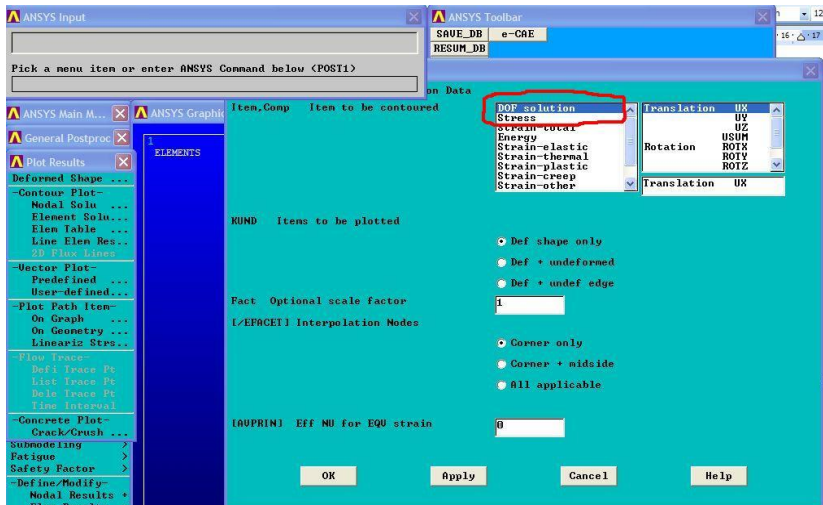


Рис.2 – меню выбора полученных результатов

2.3. Представление результатов моделирования

В результате появится картинка с распределением напряжений или смещений, в зависимости от того, что потребовалось.

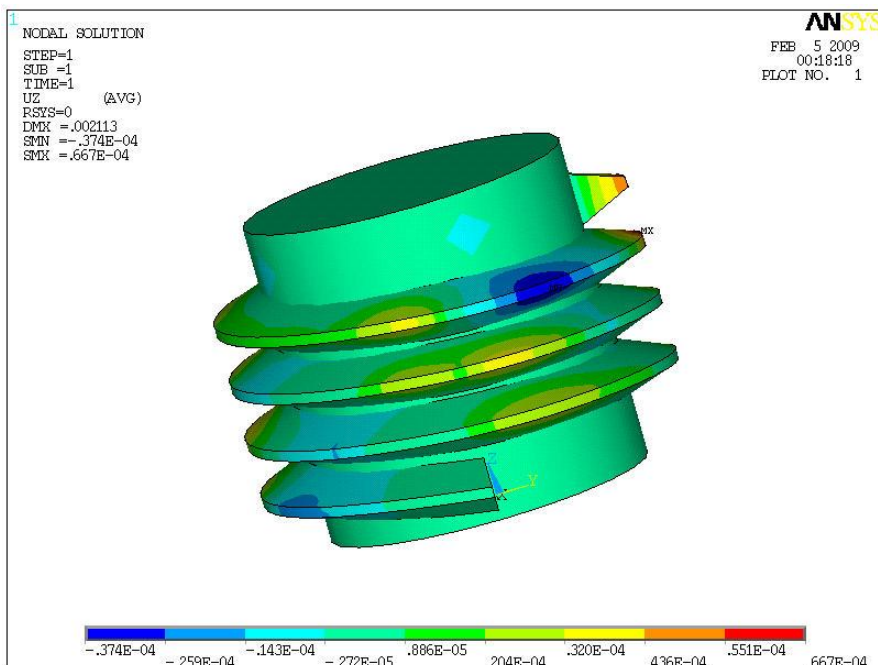


Рис.3 – результаты расчёта модели резьбы (вертикальные перемещения)

В Приложении III представлен видеофайл «Пример использования AVJ, который может быть воспроизведен стандартным проигрывателем Windows Media Player. Ролик позволяет посмотреть, как выполняются все описанные выше операции.

3. Методика проведения эксперимента

3.1. Цель и задачи лабораторного эксперимента

При выполнении эксперимента производится затяжка гайки динамометрическим ключом через равные интервалы 5, 10, 15 и 20 кН. Для каждого значения усилия затяжки $Q_{z(o)}$ определяется момент затяжки $M_{зам}$, удлинение болта Δl_o и угол $\varphi_{зам}$. Все полученные данные заносятся в таблицу 3.1 отчёта.

К указанным выше величинам добавляется величина расчёта удлинения болта $\Delta l_{бРАСЧ}$, которая вычисляется с помощью конечноэлементной-модели, выполненной в программной среде Ansys. В рамках модели производится четырёхкратный расчёт удлинения болта с помощью полуавтоматической подпрограммы.

В программе воспроизведён лабораторный эксперимент. По заданным пользователем параметрам строится КЭ-модель испытуемого болта с резьбой М12х1.5, длина болта – 83мм, материал – сталь 30ХГСА.

При выполнении лабораторной работы рекомендуется провести 4 расчёта с помощью программы для тех же усилий затяжки. Программа составлена таким образом, что для одного расчёта требуется ввести только величину усилия затяжки. Результатом выполнения программы будут 2 картины с распределениями смещений по всему болту и по его исследуемой части, в которой в лабораторном эксперименте находится непосредственно индикатор индикаторных часов.

3.2. Проведение эксперимента и обработка результатов

Методика проведения расчёта в среде Ansys 5.7.

Программа для расчета представляет собой программу-макрос, написанную на языке APDL, который является внутренним языком программирования Ansys. Она выполнена в виде текстового файла с названием BOLT_LR3.txt .

Расчёты производится в следующей последовательности:

1. Запускается программа Ansys 5.7. Пуск – Все программы – Ansys 5.7 - Interactive
2. В строке Working directory устанавливается рабочая директория. В дальнейшем в неё будут записываться все результаты экспериментов. Нажимаем кнопку Run.
3. Копируем текстовый файл BOLT_LR3.txt в установленную в предыдущем пункте папку, если его там ещё нет.
4. В скопированном файле устанавливаем требуемую величину нагружения так, как показано на следующем рисунке.

В выделенной строке устанавливаем величину нагрузки. При выполнении первого расчёта заменяем число в файле на 5000 (это соответствует 5кН), при последующих расчётах число меняется на 10000, 15000 и 20000. И **ОБЯЗАТЕЛЬНО сохраняем файл** под своим же именем в той же папке.

Все процедуры, связанные с проведением компьютерных исследований приведены в Приложении III (Видеопособие).

```

D:\anv\111111\BOLT_LR3.txt  Notepad?
Файл  Правка  Вид  Сервис  Справка
[Icons]
FINISH
/CLEAR,NOSTART
/PREP7
ET,1,SOLID45
ET,2,SHEN163
R,1,0,001, . . . . .
RNOBE, . . . . .
RNOBE, . . . . .
!материал - сталь
MPTEMP, . . . . .
MPTEMP,1,0
!задание модуля упругости - следующая строка
MPDATA,EX,1,,2.2e11
!задание гамма - следующая строка
MPDATA,PRXY,1,,0.3
MPTEMP, . . . . .
MPTEMP,1,0
!задание плотности - следующая строка
MPDATA,DENS,1,,7800

!план такой - строить цилиндр, соответствующий окружности впадин
!потом вращать по спирали вокруг него профиль

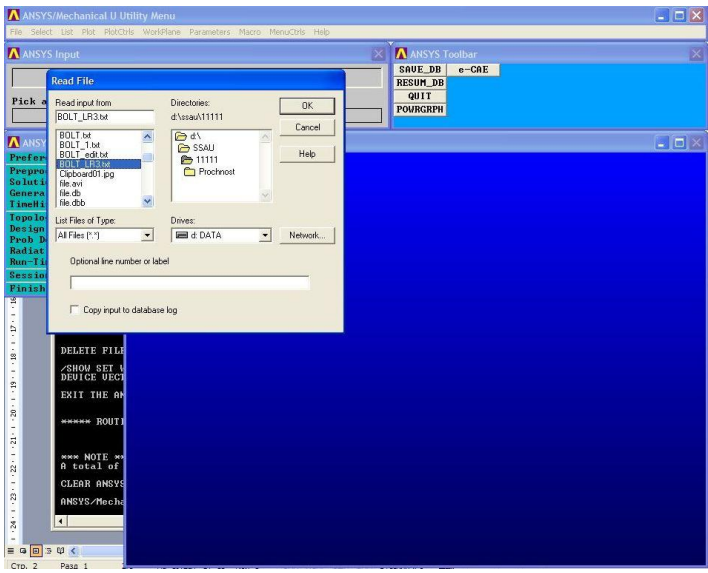
!далее - параметры, все в мм

!m - обозначение резьбы по ГОСТ - наружный диаметр
!p - шаг резьбы
!h-высота болта до головки
!l - длина участка резьбы в мм

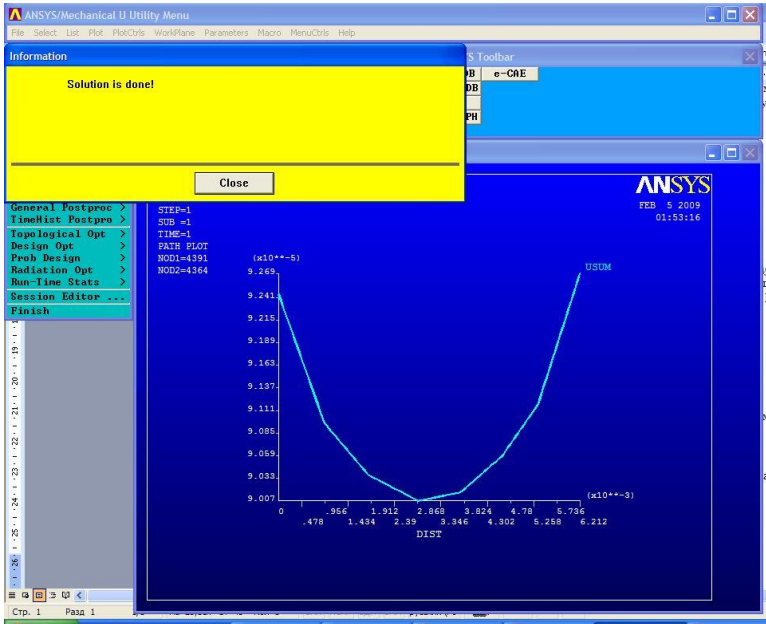
m=12
p=1.5
h=15
l=83
----- !p должно быть целым числом-----
!условие затяжки задается переменной FORCE(в ньютонх)
s11a=20000

```

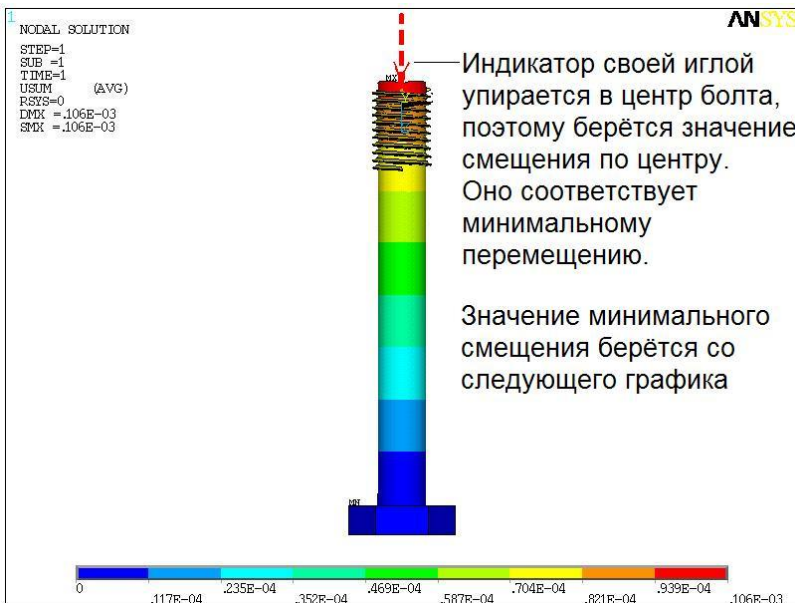
5. В окне Ansys в верхнем меню выбираем File – Read input from и в появившемся окне находим файл BOLT_LR3.txt . Программа начнёт построение и расчёт.



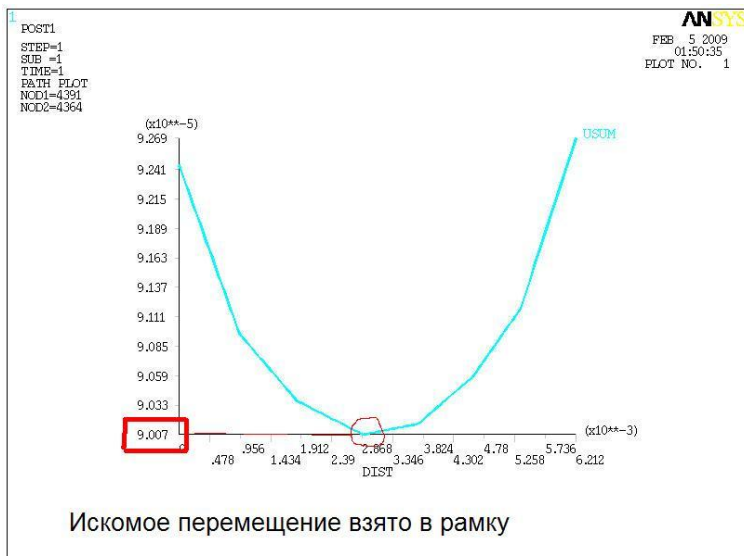
6. В процессе выполнения программа выдаёт окно с предупреждением – в нём необходимо нажать ОК
7. Результатом успешного выполнения расчёта является окно следующего вида:



8. Нажимаем кнопку Close.
9. В созданной в п.2 рабочей директории появились 2 новых файла с именами File000.jpg и File001.jpg. Если в папке уже содержались файлы с такими именами, то для дальнейшего анализа нужны 2 файла с наибольшими номерами.
10. Открываем эти новые файлы. В файле с меньшим номером показана картина распределения смещений по всему болту. Например:



11. В файле с большим номером показано распределение смещений по торцу болта, где расположен индикатор (на предыдущей картинке он отмечен пунктирной линией). Например:



12. С данной картинке необходимо записать значение смещения в минимальной точке, которая находится примерно посередине графика (на предыдущей картинке отмечена красной линией) и занести в пункт таблицы $\Delta l_{\text{бРАСЧ}}$.

При этом необходимо учитывать, что значение берётся с вертикальной оси и умножается на 10^{-2} степени, чтобы получить величину в мм. На указанной выше картинке величина смещения составляет 0.09007мм.

13. Закрываем просмотр картинок.

14. Приступаем к следующему расчёту – меняем нагрузку на болт в файле BOLT_LR3.txt (как показано в п.4) на величину нагружения в следующем эксперименте и повторяем все операции.

15. В результате в окончательной таблице должны быть представлены 4 значения удлинений болта, взятых с полученных графиков.

После выполнения эксперимента на установке сравниваются экспериментальные данные и данные, полученные в результате расчётов.

```
FINISH
/CLEAR,NOSTART
/PREP7
ET,1,SOLID45
ET,2,shell63
R,1,0.001, , , , ,
RMORE, , ,
RMORE
RMORE, ,
!материал - сталь
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
!задание модуля упругости - следующая строчка
MPDATA,EX,1,,2e11
!задание гамма - следующая строчка
MPDATA,PRXY,1,,0.3
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
!задание плотности - следующая строчка
MPDATA,DENS,1,,7800
!!далее – параметры все в мм
!m - обозначение резьбы по ГОСТ - наружный диаметр
!p - шаг резьбы
!l - длина участка резьбы в мм
!h-высота болта до головки

m=12
p=2
l=12
h=20
```

!-----ВНИМАНИЕ!-----

!----- $l \setminus r$ должно быть целым числом, это число равно
числу полных витков---

!Усилие затяжки задаётся переменной force(в Ньютонах)
Force=1000

!Момент затяжки задаётся переменной MOMENT (в Н/м)
MOMENT=3000

!удлинение болта задаётся переменной extension(в мм)
extension=0

k,1,0,0,0

k,2,0,0,0.001*1

!точки оси резьбы

!считаем, что резьба оканчивается полным профилем. с него
и начинаем построение

!точки профиля с учётом внутреннего диаметра резьбы -
отталкиваюсь от него

k,3,0.001*m/2-5/8*p*0.001,0,1/8*p*0.001+0

k,4,0.001*m/2,0,1/8*p*0.001+0.001*p*0.25

k,5,0.001*m/2,0,1/8*p*0.001+0.001*p*(0.25+1/8)

k,6,0.001*m/2-5/8*p*0.001,0,1/8*p*0.001+0.001*(0.5+1/8)*p

k,7,0.001*m/2-5/8*p*0.001,0,0

k,8,0.001*m/2-5/8*p*0.001,0,2/8*p*0.001+0.001*(0.5+1/8)*p

!k-500 - базовая для спирали

k,500,0.001*m/2-5/8*p*0.001,0,2/8*p*0.001+0.00000

!будем строить сплайн по точкам спирали, расположенным
на четверти окружности с шагом по высоте

!i=счетчик цикла, nk -последний номер точки...

определяется автоматом


```

nk=2*1/p+1
plusminus=1
*Do,i,1,NK+1+2
plusminus=-1*plusminus
k,2*i+500,plusminus*(0.001*m/2-
5/8*p*0.001),0,(4/8*p*0.001+4/8*p*0.001*i)/1.5
k,1+2*(i-1)+500,0,plusminus*(0.001*m/2-
5/8*p*0.001),(2/8*p*0.001+4/8*p*0.001*i)/1.5
*ENDDO

```

```
!501 +x -z
```

```
!503 -x -z
```

```
!505 -x +z
```

```
!507 +x +z
```

```
A,3,4,5,6
```

```
k,499,kx(503),ky(503),kz(503)-p*0.001
```

```
k,498,kx(502),ky(502),kz(502)-p*0.001
```

```
k,497,kx(501),ky(501),kz(501)-p*0.001
```

```
k,496,kx(500),ky(500),kz(500)-p*0.001
```

```
FLST,2,2*nk+2+1+8,3
```

```
*Do,i,1,2*NK+2+1+8
```

```
FITEM,2,500+i-1-4
```

```
*enddo
```

```
SPLINE,P51X
```

```
LDELE,5
```

```
LDELE,6
```

```
LDELE,7
```

```
LDELE,8
```

```
LDELE,9+4*1/p+4
```

```
LDELE,9+4*1/p+4+1
```

```
LDELE,9+4*1/p+4+2
```

```
LDELE,9+4*1/p+4+3
```

FLST,8,9+4*1/p+3-9,4
*Do,i,1,9+4*1/p+3-9
FITEM,8,9+i-1
*enddo
VDRAG, 1, , , , ,P51X
CYL4,0,0,kx(500), , , ,h*0.001

NUMMRG,ALL,,,,LOW
FLST,2,19,6,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-19
VADD,P51X
ETDEL,2
ETDEL,1
ET,1,SOLID45
VPLOT

MODMSH,STAT
SHPP,ON
SHPP,ON,ASPECT
SHPP,ON,PARA
SHPP,ON,MAXANG
SHPP,ON,JACRAT
SHPP,ON,WARP
SHPP,ON,ANGD
/AUTO, 1
/REP

CM,_Y,VOLU
VSEL, , , , all
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'

```

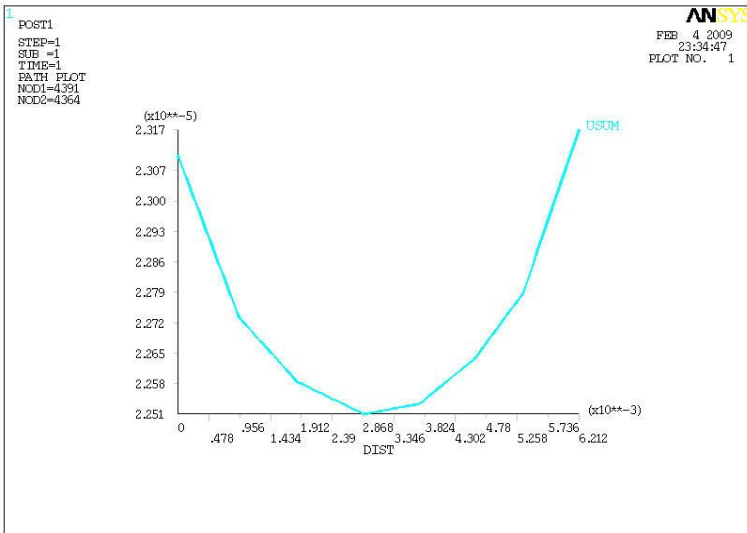
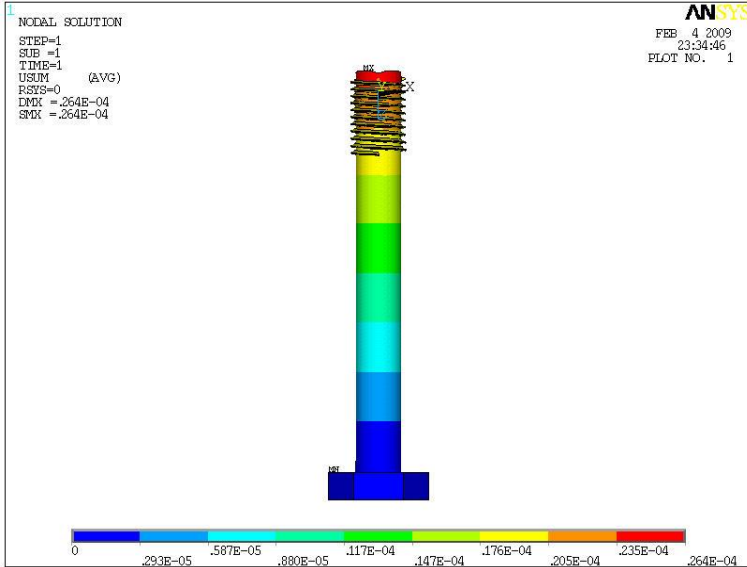
CMSEL,S,_Y
VSWEEP,_Y1
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!FLST,2,4*(1/p+1)-1,5,ORDE,4*(1/p+1)-1
!*Do,i,1,2*(1/p+1)-1
!FITEM,2,4+10*(i-1)
!FITEM,2,9+10*(i-1)
!*enddo
!FITEM,2,4+10*(i-1+1)
!/GO
!DA,P51X,UZ,+0
ALLSEL,ALL
ASEL,S,,(3+4*1/p)*5+1+2
NSLA,S
NPLOT
/GO
F,all,FZ,Force/96
ALLSEL,ALL
FK,4*(3+4*1/p)+12+1,FY,+Moment/(2*kx(500))/2
FK,4*(3+4*1/p)+12+3,FY,-Moment/(2*kx(500))/2
FK,4*(3+4*1/p)+12+2,FX,-Moment/(2*kx(500))/2
FK,4*(3+4*1/p)+12+4,FX,+Moment/(2*kx(500))/2
DA,(3+4*1/p)*5+1+2,UZ,extension*0.001
/REPLO
CPINTF,ALL,0.001*p/20,
DL,4,,ALL,
EPlot
/VIEW,1,,-1
/ANG,1
/REP,FAST

```

Приложение II

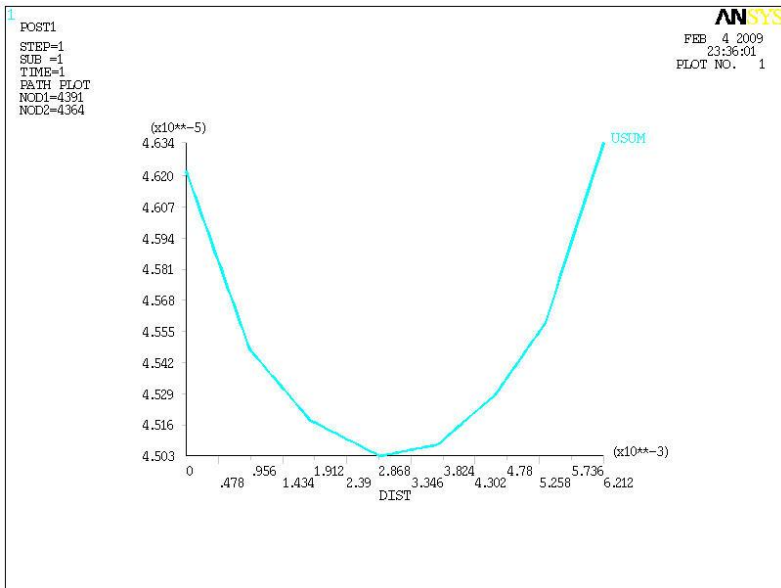
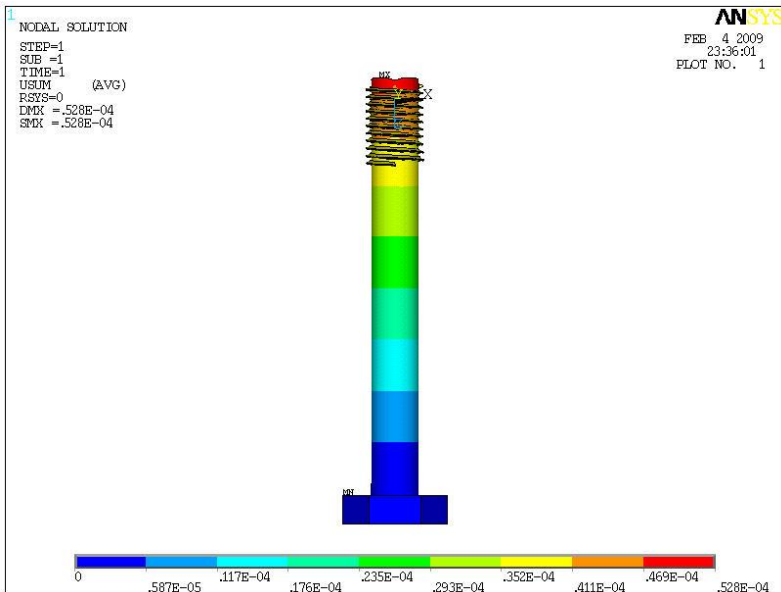
Пример расчета

При силе в 5кН получим следующее:



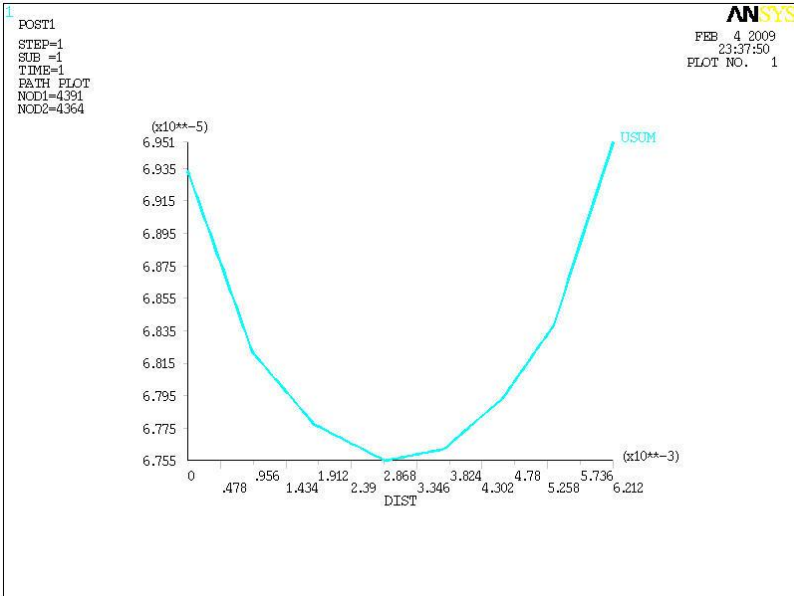
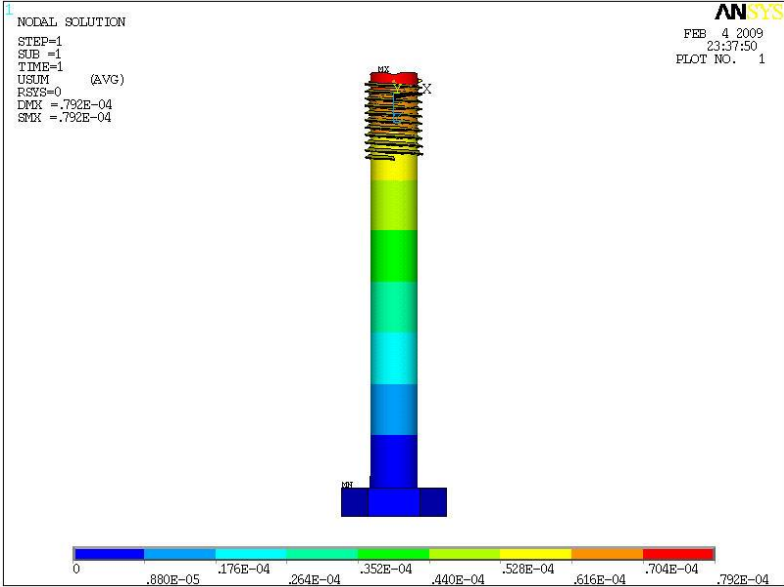
Величина удлинения составляет 0.02251мм

При силе 10кН получим следующее:



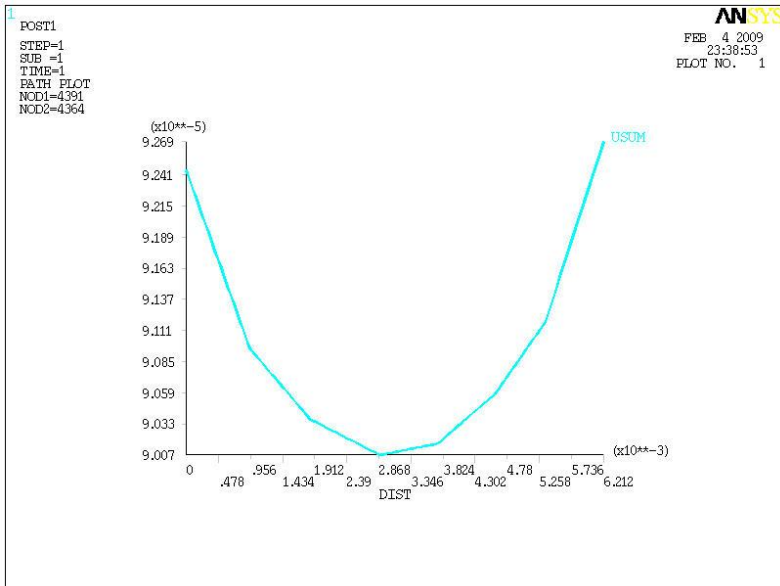
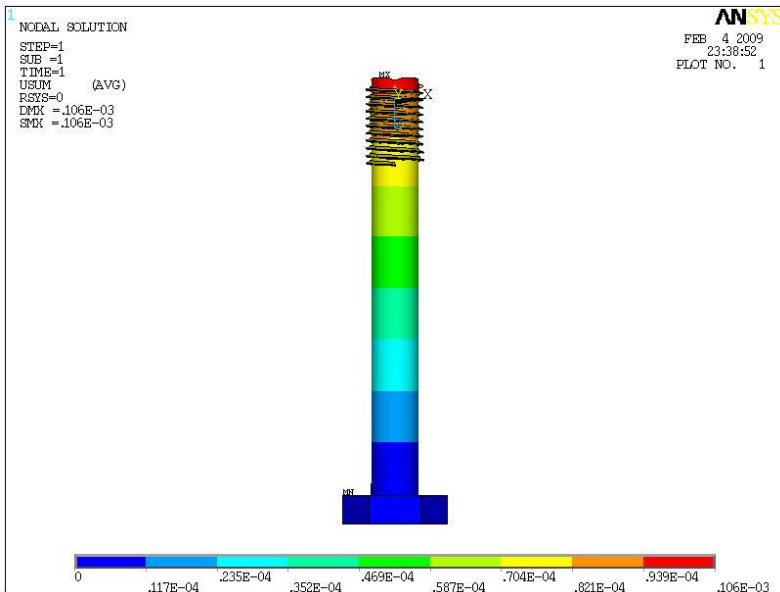
Величина удлинения составляет 0.04503мм

При силе в 15 кН получим следующее:



Величина удлинения составляет 0.06755мм

При силе в 20кН получим следующее:



Величина удлинения составляет 0.09007мм

Приложение III

Видеопособие

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ ВЫСОКОГО УРОВНЯ**

Методические указания

Составители:

Курбатов Валерий Павлович

Проничев Юрий Николаевич

Компьютерная верстка: Галузина Т.В.

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.