

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового  
Красного Знамени государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

---

Факультет «Робототехники и комплексной автоматизации»  
Кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»

Домашнее задание №1  
По дисциплине «Современные методы инженерных  
расчетов»  
Вариант № 22111

Студент: Масный Д.И.  
Группа: РК9-64Б  
Преподаватель: Гаврюшин С.С.

Москва, 2020

Условия задачи

С помощью конечно-элементного программного комплекса ANSYS проведите расчет заданной стержневой пространственной конструкции на прочность и жесткость. Геометрические и физические параметры, а также величины нагрузок заданы в таблице 1.

Таблица 1

| Сх<br>ем<br>а | Размеры в метрах |     |     |     |     | Поперечное сечение |                  |                     | Нагрузка    |                |                |                      |    |                |                |                |
|---------------|------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------|------------------|---------------------|-------------|----------------|----------------|----------------------|----|----------------|----------------|----------------|
|               |                  |     |     |     |     |                    |                  |                     | Усилие [кН] |                |                | Погонная нагр [кН/м] |    |                |                |                |
| №1            | №2               | a   | b   | c   | d   | №3                 | Дву<br>тавр<br>№ | Диам<br>етр в<br>мм | №4          | F <sub>x</sub> | F <sub>y</sub> | F <sub>z</sub>       | №5 | P <sub>x</sub> | P <sub>y</sub> | P <sub>z</sub> |
| 2             | 2                | 1,5 | 3,0 | 2,5 | 1,0 | 1                  | 10               | 15                  | 1           | 0              | -20            | 5                    | 1  | 2              | 0              | 0              |

Характеристики материала: Модуль упругости  $E=2\times10^5$  МПа; коэффициент Пуассона  $\nu=0,3$ ; удельный вес  $\rho=7800$  кг/м<sup>3</sup>.

Чертеж конструкции представлен на рисунке 1.

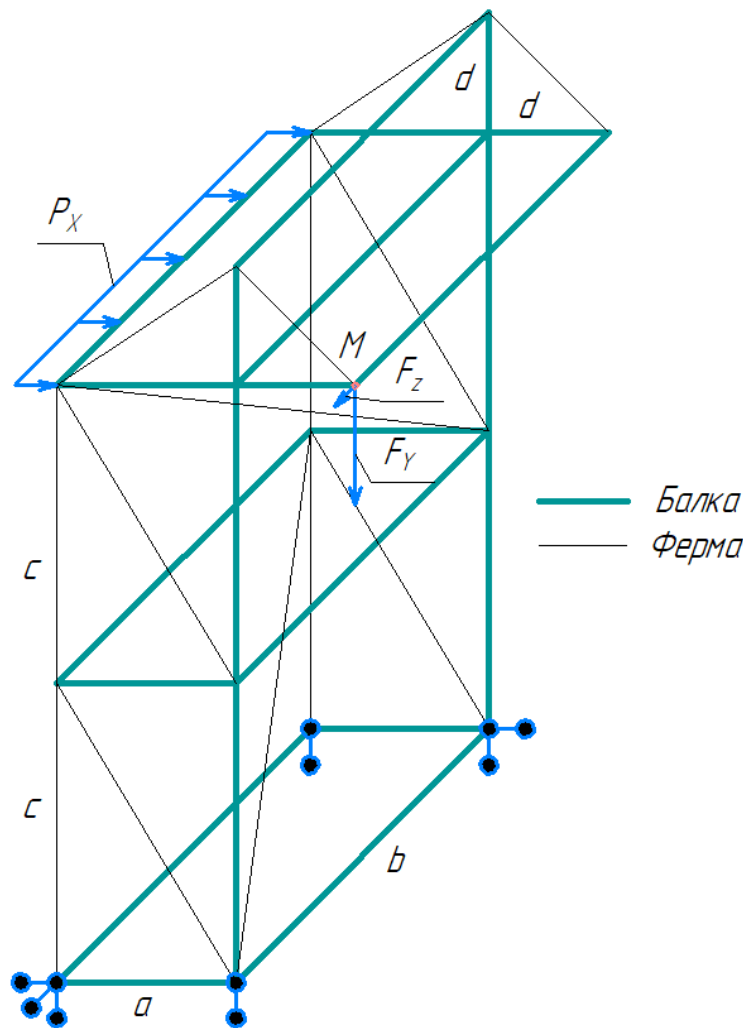


Рисунок 1

## Решение

Конструкция построена в программном комплексе ANSYS, вид конструкции в исходном состоянии представлен на рисунке 2, где 1- фермы, 2- балки, красными стрелками показаны силовые факторы (красная стрелка в центре системы координат XOY иллюстрирует ускорение свободного падения, так как расчет ведется с учетом деформаций под действием сил тяжести; ускорение задается в направлении оси Y, чтобы инерционная нагрузка была направлена против оси Y (согласно указаниям «Help»)).

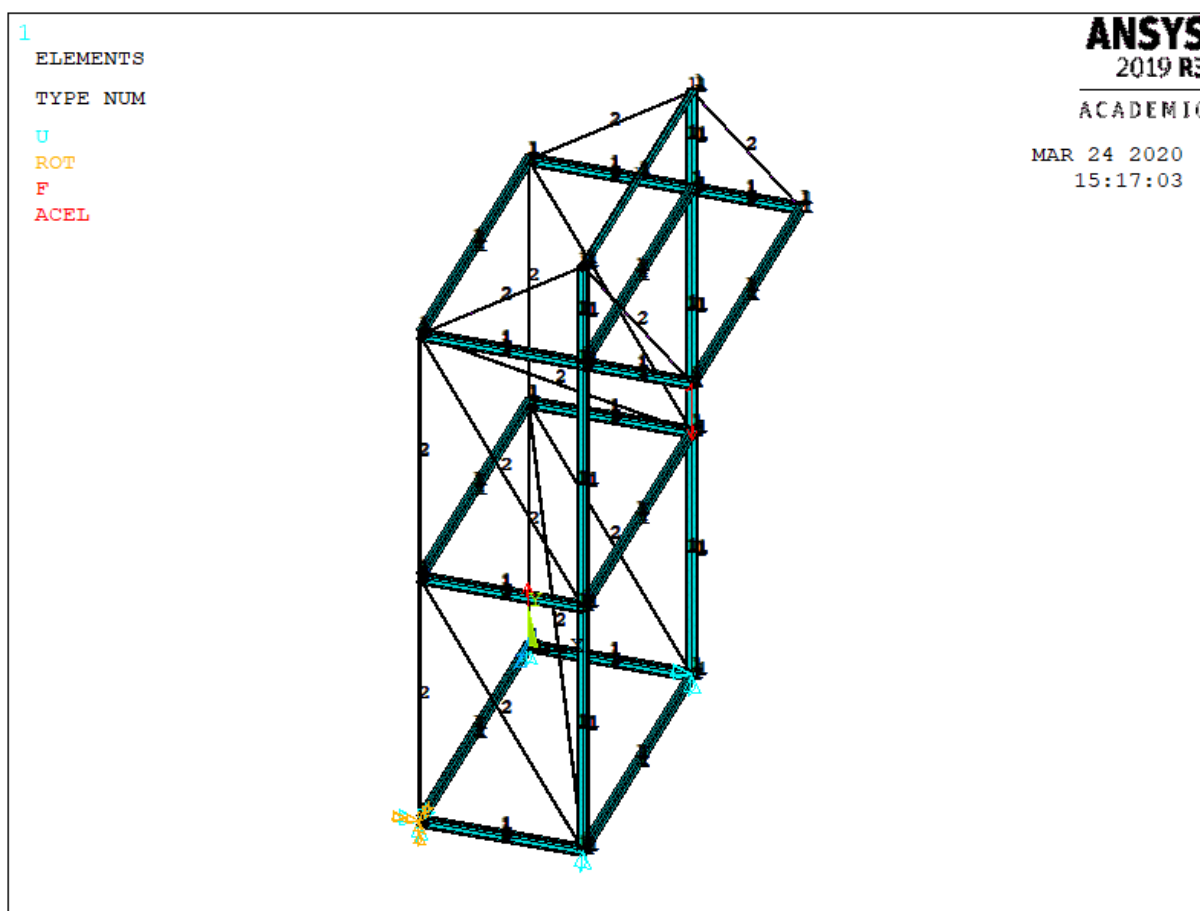
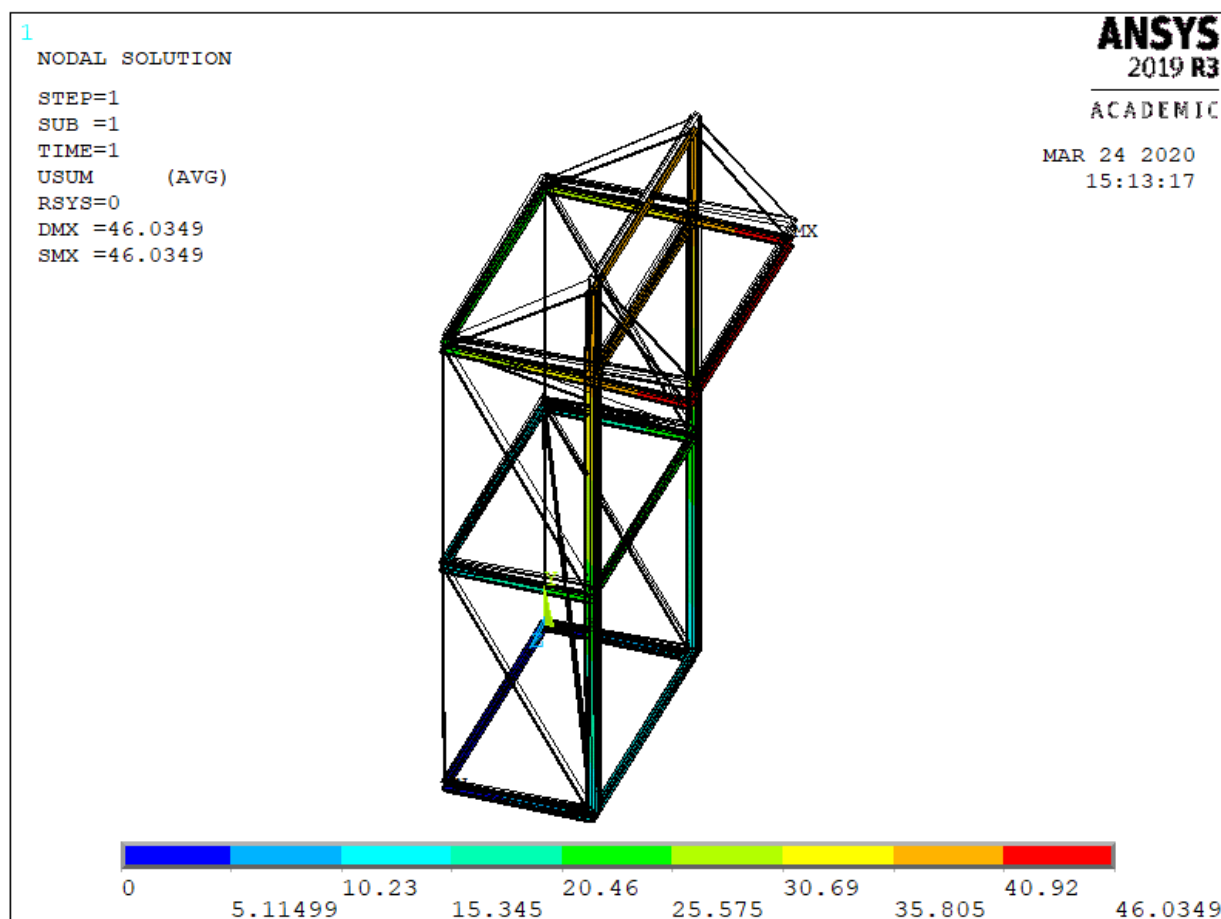


Рисунок 3

Расчет выполнен с помощью операции SOLVE. Результаты расчета и вид конструкции в деформированном состоянии представлен на рисунке 4.



*Рисунок 4*

Величина максимального векторного перемещения при расчете конструкции получилась равной  **$\delta=46,0349$  мм.**

Результат расчета эквивалентного напряжения по энергетической теории прочности представлен на рисунке 5. Максимальное эквивалентное напряжение получилось равным  **$\sigma_{\text{экв}}=143,878$  Мпа.** Наиболее нагруженный элемент - ферма, окрашенная в красный цвет.

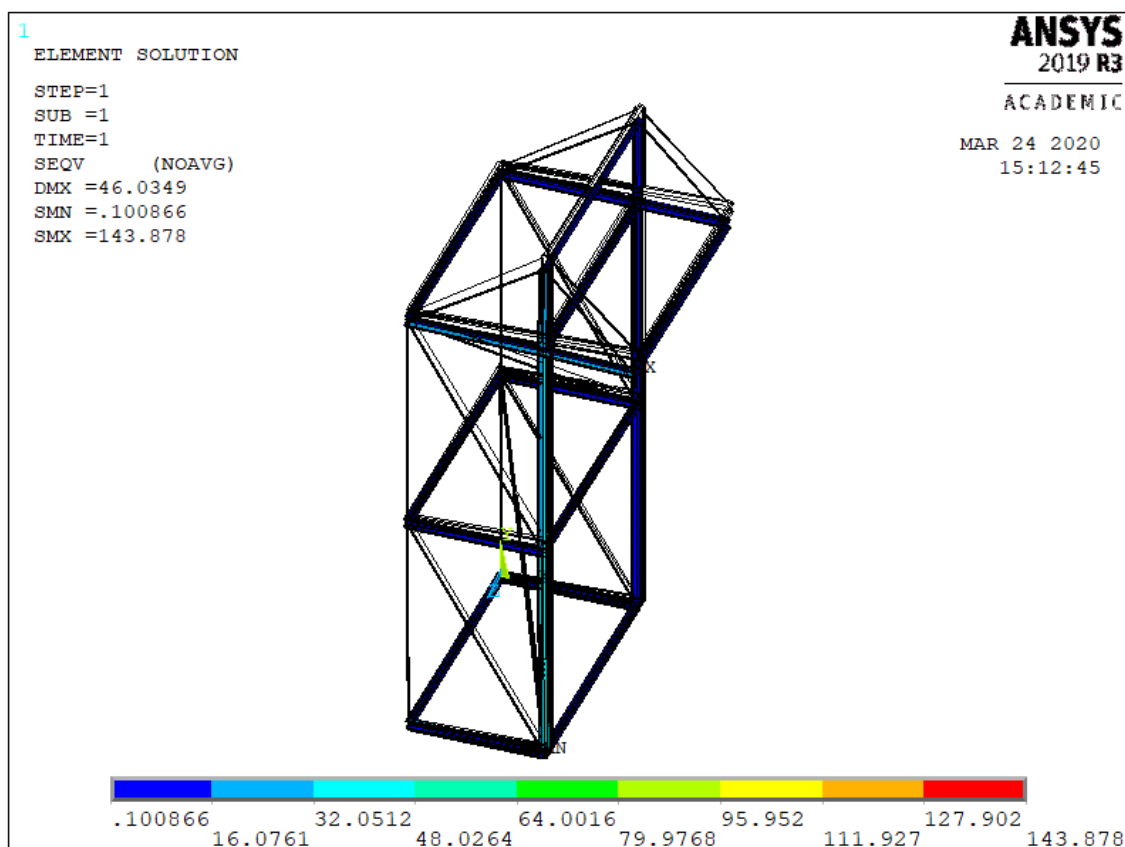


Рисунок 5

При расчете была определена масса конструкции:  $m=V_{\Sigma} \times \rho$ , где  $V_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{36} V_i$ .  $V_{\Sigma}$  определен с помощью команды SSUM, результат выполнения команды представлен на рисунке 6.



Рисунок 6

Получаем  $m=0,617718 \times 10^8 \times 7,8 \times 10^{-6} = 481,82$  кг.

Листинг программы решения задачи на языке ADPL представлен в приложении 1.

## Приложение 1

!\* Выбор типа решаемой задачи

KEYW,PR\_SET,1

KEYW,PR\_STRUC,1

!\* Задание атрибутов

\*SET,a,1500

\*SET,b,3000

\*SET,c,2500

\*SET,d,1000

\*SET,r,7.5

\*SET,fy,-20000

\*SET,fz,5000

\*SET,px,2

\*SET,e,2e5

\*SET,nu,0.3

\*SET,ro,7.8e-6

\*SET,pi,3.14159

!\* Вход в препроцессор

/PREP7

!\* Выбор элементов

ET,1,BEAM188

!\*

!\*

ET,2,LINK180

!\*

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

MPDATA,EX,1,,e

MPDATA,PRXY,1,,nu

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

!\* Задание плотности

MPDATA,DENS,1,,ro

/REPLOT,RESIZE

/REPLOT,RESIZE

SAVE

SAVE

!\* Задание сечений

SECTYPE, 1, BEAM, I, , 0

SECOFFSET, CENT

SECDATA,55,55,100,7.2,7.2,4.5,0,0,  
0,0,0,0

!\*

SECTYPE,2,LINK, ,circle

SECDATA,pi\*r\*r,

SECCONTROL,0,0

!\*

SAVE

!\* Задание узлов

WPSTYLE,,,,,,,,1

WPSTYLE,,,,,,,,0

/AUTO,1

/REP,FAST

N,1,0,0,0,,,

N,2,a,0,0,,,

N,3,a,0,b,,,

N,4,0,0,b,,,

|                     |            |
|---------------------|------------|
| N,5,0,c,0,,,        | FITEM,2,2  |
| N,6,a,c,0,,,        | FITEM,2,6  |
| N,7,a,c,b,,,        | E,P51X     |
| N,8,0,c,b,,,        | FLST,2,3,1 |
| N,9,0,2*c,0,,,      | FITEM,2,2  |
| N,10,a,2*c,0,,,     | FITEM,2,1  |
| N,11,a,2*c,b,,,     | FITEM,2,5  |
| N,12,0,2*c,b,,,     | E,P51X     |
| N,13,a,2*c+d,0,,,   | FLST,2,3,1 |
| N,14,a,2*c+d,b,,,   | FITEM,2,1  |
| N,15,a+d,2*c,0,,,   | FITEM,2,4  |
| N,16,a+d,2*c,b,,,   | FITEM,2,8  |
| SAVE                | E,P51X     |
| SAVE                | FLST,2,3,1 |
| !* Построение балок | FITEM,2,8  |
| TYPE, 1             | FITEM,2,7  |
| MAT, 1              | FITEM,2,11 |
| REAL,               | E,P51X     |
| ESYS, 0             | FLST,2,3,1 |
| SECNUM, 1           | FITEM,2,7  |
| TSHAP,LINE          | FITEM,2,6  |
| !*                  | FITEM,2,10 |
| FLST,2,3,1          | E,P51X     |
| FITEM,2,4           | FLST,2,3,1 |
| FITEM,2,3           | FITEM,2,6  |
| FITEM,2,7           | FITEM,2,5  |
| E,P51X              | FITEM,2,9  |
| FLST,2,3,1          | E,P51X     |
| FITEM,2,3           | FLST,2,3,1 |

|            |                              |
|------------|------------------------------|
| FITEM,2,5  | FLST,2,3,1                   |
| FITEM,2,8  | FITEM,2,15                   |
| FITEM,2,12 | FITEM,2,10                   |
| E,P51X     | FITEM,2,13                   |
| FLST,2,3,1 | E,P51X                       |
| FITEM,2,3  | !*                           |
| FITEM,2,7  | /SHRINK,0                    |
| FITEM,2,8  | /ESHAPE,1.0                  |
| E,P51X     | /EFACET,1                    |
| FLST,2,3,1 | /RATIO,1,1,1                 |
| FITEM,2,2  | /CFORMAT,32,0                |
| FITEM,2,6  | /REPLOT                      |
| FITEM,2,5  | !*                           |
| E,P51X     | !*                           |
| FLST,2,3,1 | /SHRINK,0                    |
| FITEM,2,6  | /ESHAPE,1                    |
| FITEM,2,10 | /EFACET,1                    |
| FITEM,2,9  | /RATIO,1,1,1                 |
| E,P51X     | /CFORMAT,32,0                |
| FLST,2,3,1 | /REPLOT                      |
| FITEM,2,7  | !* Построение дополнительных |
| FITEM,2,11 | ориентационных узлов         |
| FITEM,2,12 | EPlot                        |
| E,P51X     | N,21,0,3*c,0,,,              |
| FLST,2,3,1 | N,22,0,3*c,b,,,              |
| FITEM,2,16 | N,23,a+d,3*c,b,,,            |
| FITEM,2,11 | N,24,a+d,3*c,0,,,            |
| FITEM,2,14 | NPlot                        |
| E,P51X     | /PNUM,KP,0                   |



/PNUM,LINE,0  
/PNUM,AREA,0  
/PNUM,VOLU,0  
/PNUM,NODE,1  
/PNUM,TABN,0  
/PNUM,SVAL,0  
/NUMBER,0  
!\*  
/PNUM,MAT,1  
/REPLOT  
!\*  
/PNUM,KP,0  
/PNUM,LINE,0  
/PNUM,AREA,0  
/PNUM,VOLU,0  
/PNUM,NODE,1  
/PNUM,TABN,0  
/PNUM,SVAL,0  
/NUMBER,0  
!\*  
/PNUM,TYPE,1  
/REPLOT  
!\*  
/PNUM,KP,0  
/PNUM,LINE,0  
/PNUM,AREA,0  
/PNUM,VOLU,0  
/PNUM,NODE,1  
/PNUM,TABN,0

/PNUM,SVAL,0  
/NUMBER,0  
!\*  
/PNUM,TYPE,1  
/REPLOT  
!\* Продолжение построения балок  
EPLOT  
NPLOT  
FLST,2,3,1  
FITEM,2,16  
FITEM,2,15  
FITEM,2,24  
E,P51X  
FLST,2,3,1  
FITEM,2,10  
FITEM,2,9  
FITEM,2,21  
E,P51X  
FLST,2,3,1  
FITEM,2,9  
FITEM,2,12  
FITEM,2,22  
E,P51X  
EPLOT  
NPLOT  
FLST,2,3,1  
FITEM,2,12  
FITEM,2,11  
FITEM,2,14

E,P51X  
 EPLOT  
 NPLOT  
 FLST,2,3,1  
 FITEM,2,14  
 FITEM,2,13  
 FITEM,2,23  
 E,P51X  
 EPLOT  
 NPLOT  
 FLST,2,3,1  
 FITEM,2,11  
 FITEM,2,14  
 FITEM,2,23  
 E,P51X  
 FLST,2,3,1  
 FITEM,2,10  
 FITEM,2,13  
 FITEM,2,24  
 E,P51X  
 EPLOT  
 FLST,2,3,1  
 FITEM,2,11  
 FITEM,2,10  
 FITEM,2,13  
 E,P51X  
 !\* Построение ферм  
 TYPE, 2  
 MAT, 1

REAL,  
 ESYS, 0  
 SECNUM, 2  
 TSHAP,LINE  
 !\*  
 FLST,2,2,1  
 FITEM,2,15  
 FITEM,2,13  
 E,P51X  
 FLST,2,2,1  
 FITEM,2,16  
 FITEM,2,14  
 E,P51X  
 FLST,2,2,1  
 FITEM,2,9  
 FITEM,2,13  
 E,P51X  
 FLST,2,2,1  
 FITEM,2,12  
 FITEM,2,14  
 E,P51X  
 FLST,2,2,1  
 FITEM,2,9  
 FITEM,2,6  
 E,P51X  
 FLST,2,2,1  
 FITEM,2,6  
 FITEM,2,12  
 E,P51X

|            |                               |
|------------|-------------------------------|
| FLST,2,2,1 | FITEM,2,5                     |
| FITEM,2,12 | FITEM,2,9                     |
| FITEM,2,7  | E,P51X                        |
| E,P51X     | SAVE                          |
| FLST,2,2,1 | !* Вход в решатель            |
| FITEM,2,8  | /SOL                          |
| FITEM,2,3  | !* Задание опор               |
| E,P51X     | FLST,2,1,1,ORDE,1             |
| FLST,2,2,1 | FITEM,2,4                     |
| FITEM,2,3  | !*                            |
| FITEM,2,5  | /GO                           |
| E,P51X     | D,P51X, , , , ,ALL, , , , ,   |
| FLST,2,2,1 | FLST,2,1,1,ORDE,1             |
| FITEM,2,5  | FITEM,2,3                     |
| FITEM,2,2  | !*                            |
| E,P51X     | /GO                           |
| FLST,2,2,1 | D,P51X, , , , ,UY, , , , ,    |
| FITEM,2,4  | FLST,2,1,1,ORDE,1             |
| FITEM,2,8  | FITEM,2,2                     |
| E,P51X     | !*                            |
| FLST,2,2,1 | /GO                           |
| FITEM,2,1  | D,P51X, , , , ,UX,UY, , , , , |
| FITEM,2,5  | FLST,2,1,1,ORDE,1             |
| E,P51X     | FITEM,2,1                     |
| FLST,2,2,1 | !*                            |
| FITEM,2,8  | /GO                           |
| FITEM,2,12 | D,P51X, , , , ,UY, , , , ,    |
| E,P51X     | SAVE                          |
| FLST,2,2,1 | FLST,2,1,1,ORDE,1             |

FITEM,2,16

!\* Задание силовых факторов

/GO

F,P51X,FY,FY

FLST,2,1,1,ORDE,1

FITEM,2,16

!\*

/GO

F,P51X,FZ,FZ

FLST,2,1,2,ORDE,1

FITEM,2,17

SFBEAM,P51X,2,PRES,-PX,-PX, , , ,  
,0

EPLOT

!\* Задание инерционной нагрузки

ACEL, ,9.81, ,

SAVE

!\* Решение

/STATUS,SOLU

SOLVE

FINISH

/POST1

SAVE

!\* Вывод решения

SET,FIRST

PLNSOL,S,EQV