

Модальный и гармонический анализ фермы

Анализ мод колебаний является эффективным экспериментальным методом определения динамических характеристик конструкций на основе результатов измерений и анализа вынужденных механических колебаний. Также этот метод может быть использован при мониторинге конструкций. В результате эксплуатации в изделии могут происходить усталостные деформации, микротрещины в соединительных швах, которые не приводят к изменениям геометрических размеров изделия, но приводят к изменению динамических характеристик конструкции. Анализ этих изменений позволяет прогнозировать проведения регламентных работ по техническому обслуживанию. Этот метод эффективен в широкой области и используется при исследовании разного рода конструкций от лопаток турбин до железнодорожных вагонов.

Постановка задачи

1. Выполнить модальный анализ фермы, изображенной на рисунке. Определить первые 5 собственных частот и форм колебаний.
2. Определить отклик системы на периодическую силу $F=F_0\sin(kt)$. F_0 – амплитуда силы – 1000 Н. Диапазон изменения частоты силы k от 100 до 200 Гц.

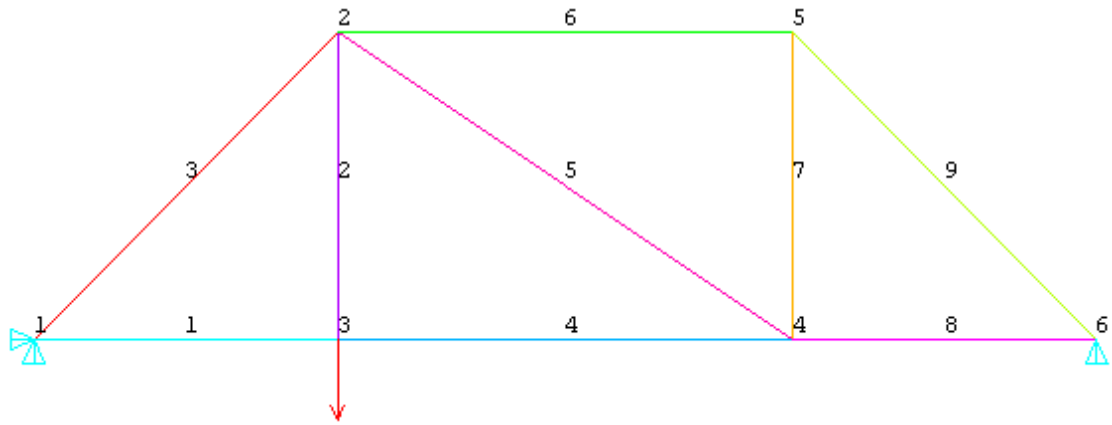
Стержни фермы имеют круглое поперечное сечение и изготовлены из материала имеющего следующие свойства: модуль упругости $E=2.1 \cdot 10^{11}$ Па., коэффициент Пуассона $\mu=0.3$., плотность материала 7850 кг/м^3 .

Радиус поперечного сечения стержней – 0.01 м.

Длина первого и последнего пролёта фермы 2 м.

Длина среднего пролёта фермы 3 м.

Высота конструкции 2 м.



Расчетная схема фермы представляет систему, образованную осями стержневых конечных элементов, проходящих через центры тяжести сечений и наделенных геометрическими и физическими свойствами, присущими соответствующим моделируемым участкам фермы. В качестве конечного элемента для моделирования фермы может быть использован стержень.

Модальный анализ проводится для определения частот и форм (мод) собственных колебаний конструкций. Также модальный анализ может быть первым шагом для других видов динамического анализа, таких, как гармонический и спектральный анализ. Модальный анализ предполагает, что система является линейной.

Гармонический анализ предназначен для решения уравнений движения в случае установившихся колебательных процессов (вынужденных колебаний).

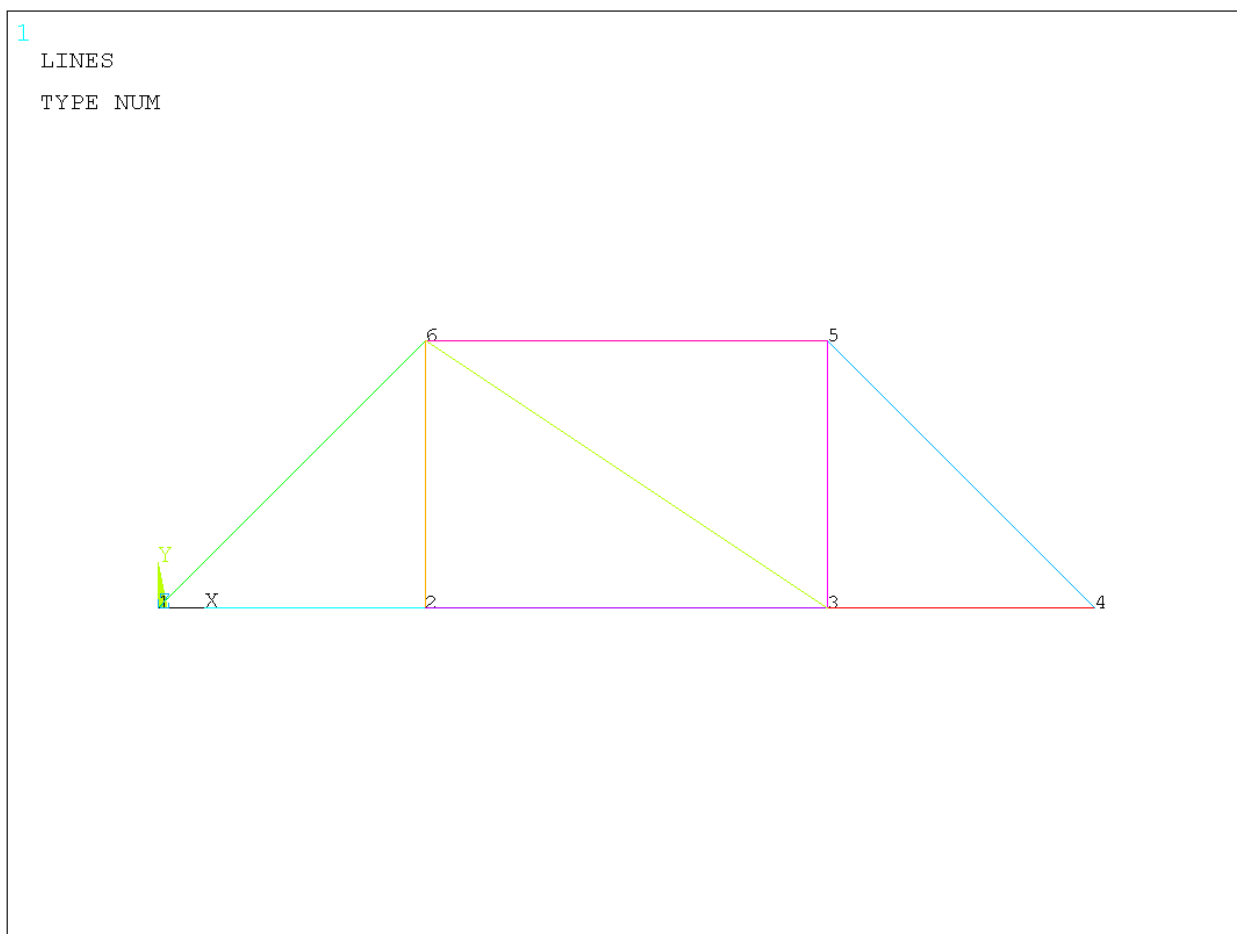
Создание геометрической модели

Ферменная конструкция с точки зрения геометрической модели представляет собой последовательность точек, соединенных линиями. Построение будем проводить методом “снизу-вверх”, т.е. сначала на плоскости создаются точки, а затем они соединяются линиями.

Создаём точки Preprocessor->Modeling->Create->Keypoints->In Active CS. Вводим координаты точек:

X	Y	Z
0	0	0
2	0	0
5	0	0
7	0	0
5	2	0
2	2	0

Далее проводим через созданные точки линии Preprocessor->Modeling->Create->Lines->Straight Line.



Задание свойств элемента и материала

Для моделирования фермы будем использовать элемент LINK1. Он является двумерным элементом стержня, имеет одну ось, может воспринимать растяжение и сжатие и имеет две степени свободы в каждом узле – перемещения в направлении осей X и Y узловой системы координат.

Выбираем элемент LINK1 из библиотеки Preprocessor->Element Type->Add/Edit/Delete...->Add->LINK1.

Далее следует задать константы, характеризующие элемент. В нашем случае – это площадь поперечного сечения стержня. Для этого Preprocessor->Real Constants->Add/Edit/Delete...->Add->ОК. Выбираем элемент LINK1. В поле Area вводим 0.000314 м^2 .

Также необходимо задать свойства материала, из которого изготовлен стержень Preprocessor->Material Props->-Material Models->-Structural->Linear->Elastic->Isotropic. Задаем модуль Юнга $2.1\text{E}11$, коэффициент Пуассона 0.3 Preprocessor->Material Props->Material Models->Structural->Density. Вводим плотность – 7850 кг/м^3 .

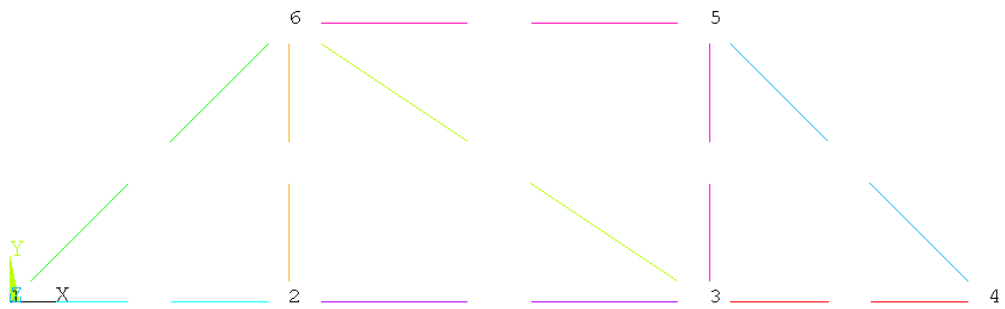
Создание вычислительной сетки

Сначала необходимо задать количество элементов вдоль каждой линии. Мы зададим два элемента на одной линии. Preprocessor->Meshing->MeshTool, в ряду Lines нажимаем Set->Pick All. В текстовом поле No. of element divisions ставим 2. Все линии разбиты на две части.

1

LINES

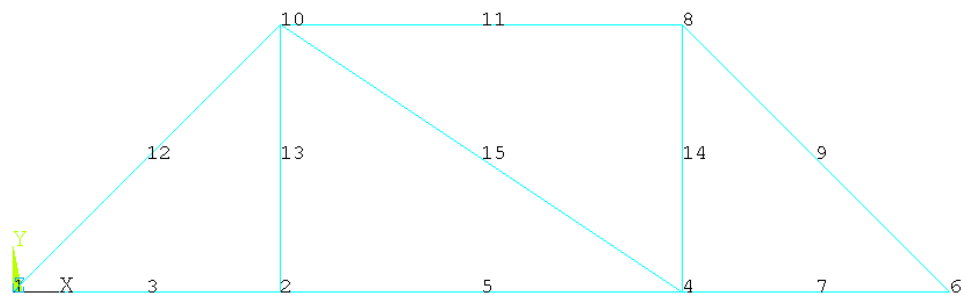
TYPE NUM



Далее необходимо выбрать элемент, из которого будет состоять сетка, но в данном случае задан только один элемент, поэтому выбирать элемент не требуется. Переходим к разбиению. Выбираем Mesh: Lines, нажимаем Mesh->Pick All

1

ELEMENTS



Модальный анализ

Для решения задачи необходимо установить тип анализа (статический, модальный и т.д.) и опции которые влияют на решение (например, шаг интегрирования, количество вычисляемых собственных частот и т.д.), а также задать граничные условия.

Проведём модальный анализ Solution->Analysis Type->New Analysis->Modal.

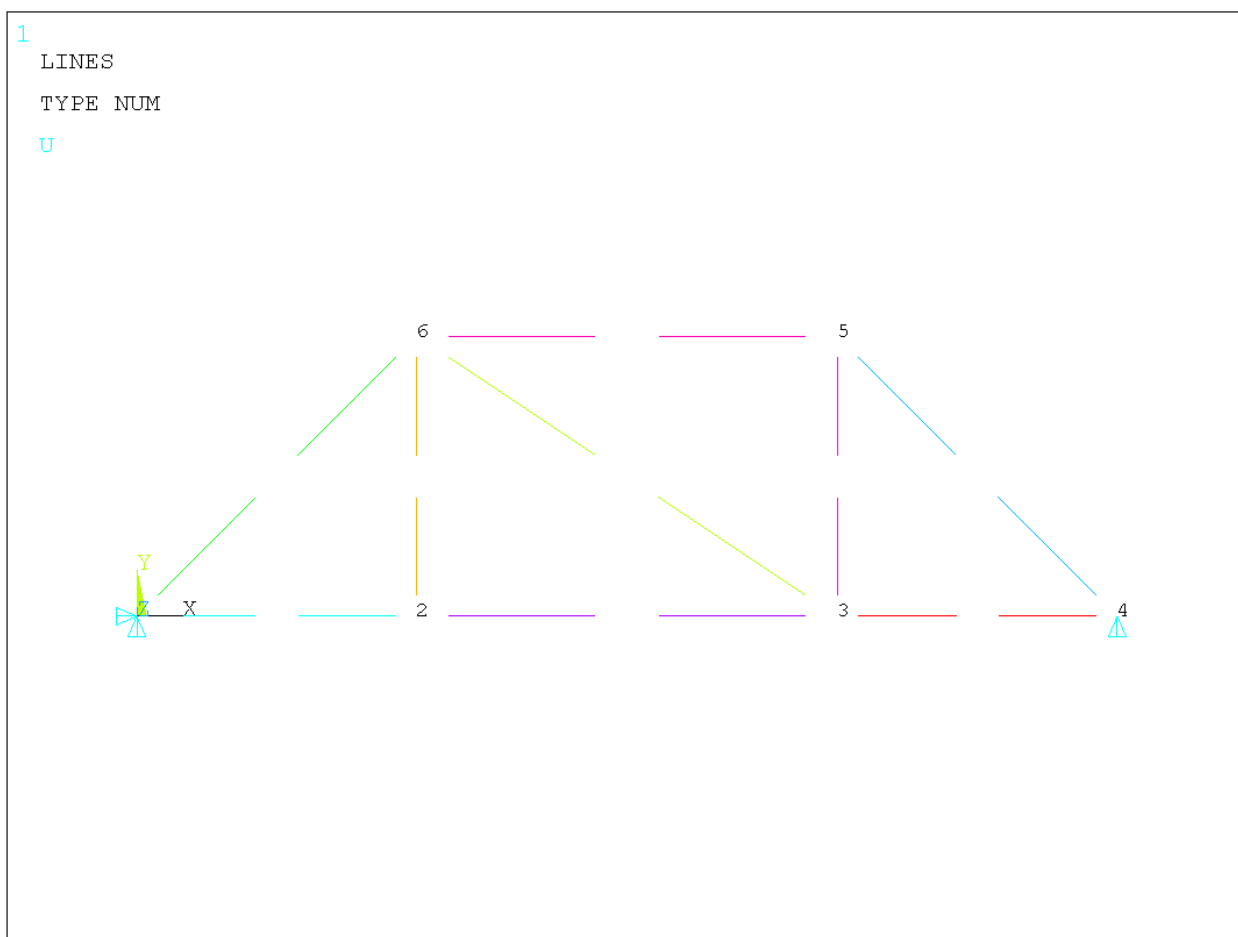
Задаём опции анализа Solution->Analysis Type->Analysis Options. Выбираем тип решателя – Subspace. В поле No. of modes to extract вводим 5 (количество собственных частот, которые будут вычислены). В поле No. of modes to expand вводим 5 (записывать решения 5 собственных форм).

Переходим к постановке граничных условий.

Как видно из первого рисунка нам необходимо ограничить перемещение левой нижней точки фермы относительно осей X и Y глобальной системы координат. Для этого Solution->Define Loads->Apply->Structural->Displacement->On Keypoints. Выбираем точку №1, задаем $u_x=0$, $u_y=0$.

Также необходимо ограничить перемещение правой нижней точки фермы относительно оси Y Solution->Define Loads->Apply->Structural->Displacement->On Keypoints. Выбираем точку №4, задаем $u_y=0$.

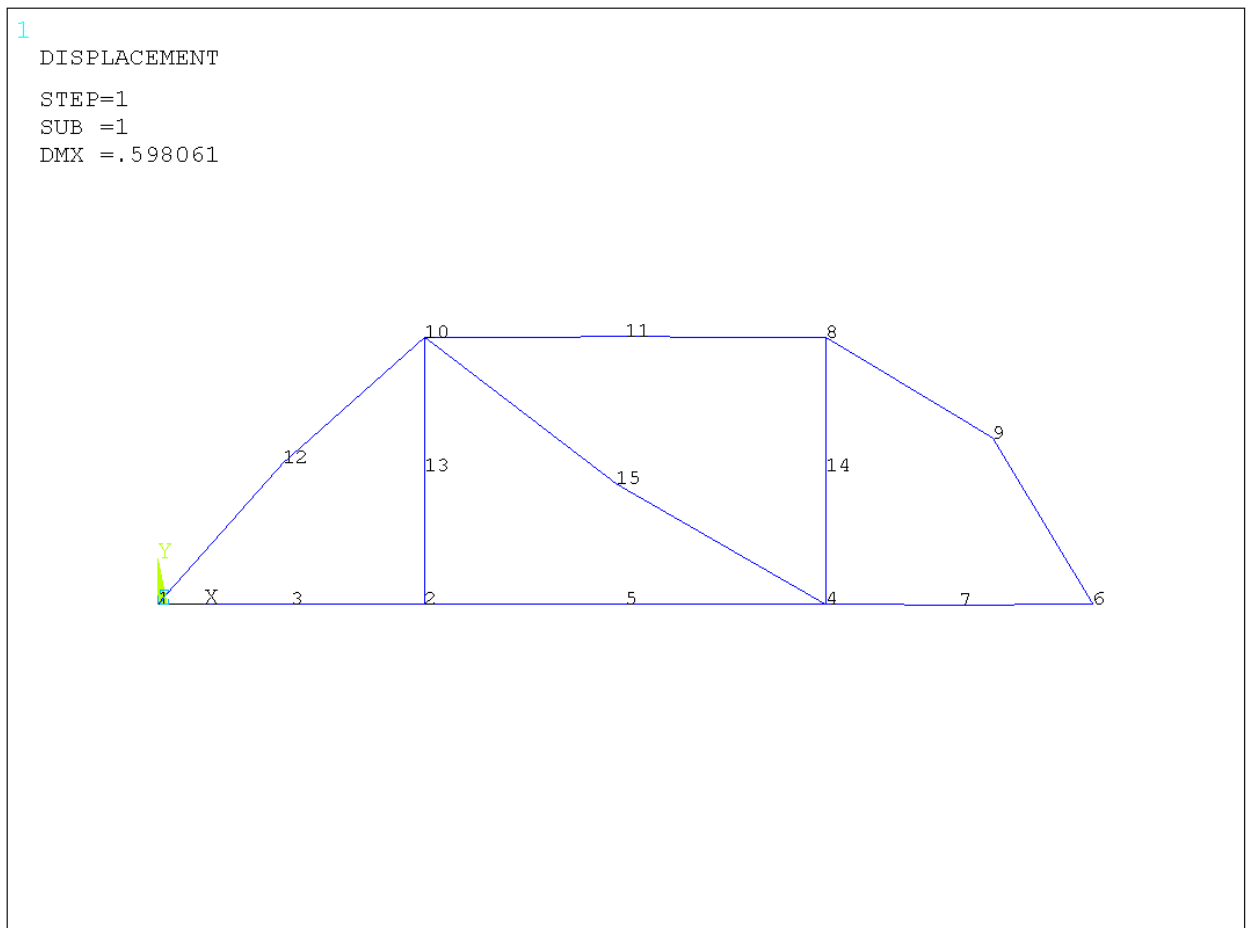
Заданные нулевые перемещения отображается на геометрии модели голубыми треугольниками.



Запускаем задачу на счет Solution->Solve->Current LS.

Просмотр результатов

- Значения собственных частот доступны через следующее меню:
General Postproc->Results Summary.
- Отобразить на экране первую форму колебаний можно через меню
General Postproc->Read Results->-First Set;
General Postproc->Plot Results->Deformed Shape.



- Чтобы просмотреть следующие формы колебаний
General Postproc->Read Results->Next Set;
General Postproc->Plot Results->Deformed Shape.

Гармонический анализ

Постановка граничных условий

ANSYS позволяет прикладывать периодическую силу в виде $F = F_0 \cos(kt + \varphi)$. В нашем случае $F_0 = -1000, \varphi = 3\pi/2$. Для задания

этой силы в командной строке над рабочей областью вводим команду **F,2,FY,-1000,2*3.14/2.**

Зададим типа анализа Solution->Analysis Type->New Analysis->Harmonic. Далее изменим опции анализа Solution->Analysis Type->Analysis Options

a) solution method->Full (тип анализа – полный);

b) DOF printout format->Amplitud + phase (опция печати – выводить данные в виде амплитуда-частота);

c) equation solver->Frontal solver (решатель фронтальный).

d) вводим команды

HARFRQ,100,200, (пределы изменения частот от 100 до 200 Гц);

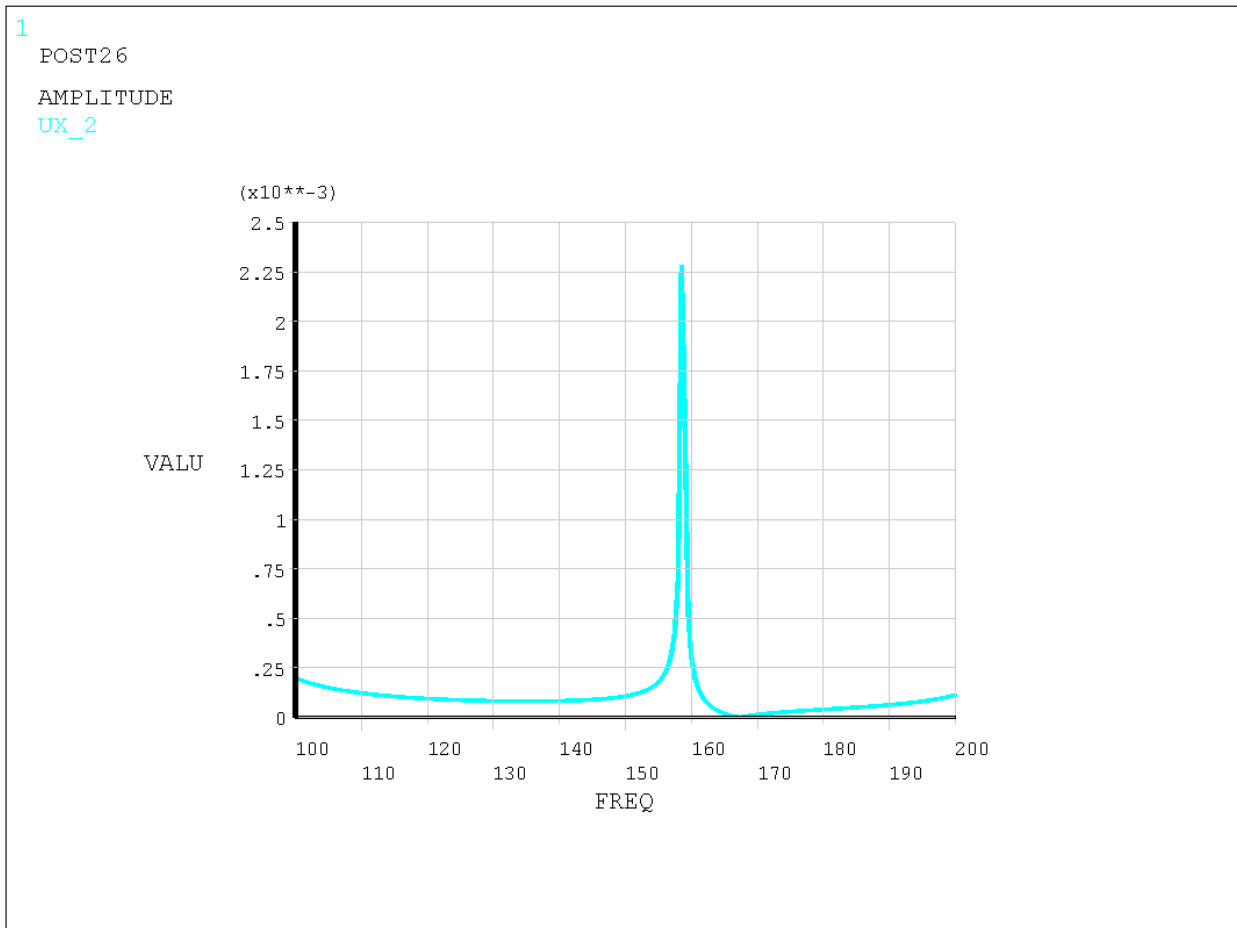
NSUBST,200, (задаем количество шагов);

KBC,1 (Нагрузка от шага к шагу меняется ступенчато).

Запускаем задачу на счёт.

Просмотр результатов

Построим зависимость перемещения их узла №11 фермы от частоты приложенной силы. Для этого переходим в меню TimeHist Postpro. В появившемся окне нажимаем на кнопку Add Data, выбираем Nodal Solution->DOF Solution->X-Component of displacement. Выбираем узел №11, далее нажимаем кнопку Graph Data. Получаем следующий график зависимости перемещения их узла №11 фермы от частоты приложенной силы.



Посмотрим частоту, при которой перемещение их узла фермы №11 максимально: Main Menu->TimeHist Postpro->List Extremes. При этом откроется дополнительное меню List Time-History Variables, где в первом поле необходимо ввести число 2 (номер переменной).

```

POST26 SUMMARY OF VARIABLE EXTREME VALUES
VARI TYPE IDENTIFIERS NAME  MINIMUM  AT TIME  MAXIMUM  AT TIME
2 NSOL  11 UX    UX_2  -0.2284E-02  158.5   0.1526E-02  159.0

```

Мы видим что максимальное перемещение их узла 11 – при частоте 159 Гц.

Отообразим эпюры напряжений в стержнях, возникающие при этой частоте General Postproc->Read Result->By Time/Freq. В поле Value of time or freq вводим 159. Далее вводим команды

```
ETABLE,FI,SMISC,1
```

ETABLE,FJ,SMISC,1

PLLS,FI,FJ

Получаем следующий рисунок.

