

Млын 2D

Праграма для мадэлявання паводзінаў у часе простых механічных сістэм

Принцип и особенности работы программы **Млын 2D**

- Метод молекулярной динамики (или метод сосредоточенных параметров):

Получение временных реализаций перемещений масс путём интегрирования для каждой массы уравнения второго закона Ньютона (скоростной метод Верле). Сила, действующая на каждую массу, рассчитывается по принципу Д'Аламбера.

Используемые элементы:



Точечная масса

Невесомая пружина между двумя массами

- Движение в плоскости
- Пружина подчиняется закону Гука и имеет вязкое демпфирование
- Соединение пружин посредством шарнира, способного передавать момент силы
- Обработка столкновений масс по методу Герца

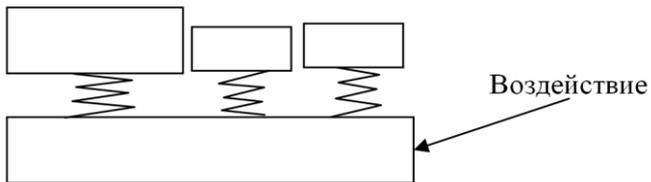
- ❖ Возможно внесение изменений в систему в реальном времени
- ❖ Моделирование испытаний на вибростенде с обратной связью
- ❖ Расчёт АЧХ по СКЗ*1.414 (без следящего фильтра)
- ❖ Возможен учёт нелинейностей (зазор, трение, изменяющаяся жёсткость)
- ❖ Возможен учёт сил электростатики (закон Кулона) и других сил межчастичного взаимодействия

Для запуска программы требуется *Java runtime environment (JRE)*

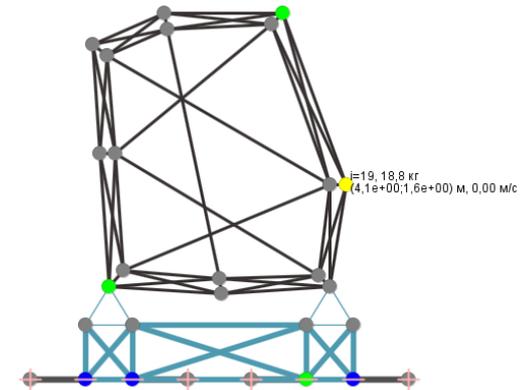
Области моделирования программой **Млын 2D**

Переходные (**transient**) и
установившиеся процессы в задачах:

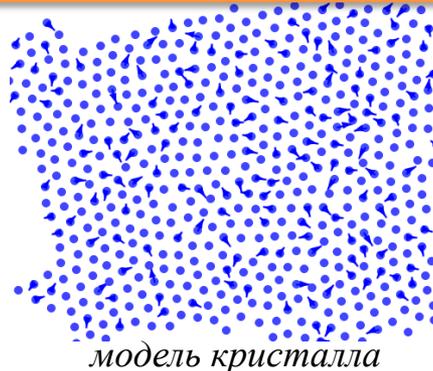
В модальном пространстве



Систем из масс и стержней



Систем точечных масс
(песок, газ-жидкость, кристалл, галактика)



Конкретное применение программы **Млын 2D**

Моделирование следующих задач:

1. Переходные процессы (удар) во временной области и распространение вибрации по реальной конструкции, части которой представлены двумерной системой с небольшим числом степеней свободы (резонансов).

В том числе расчёт:

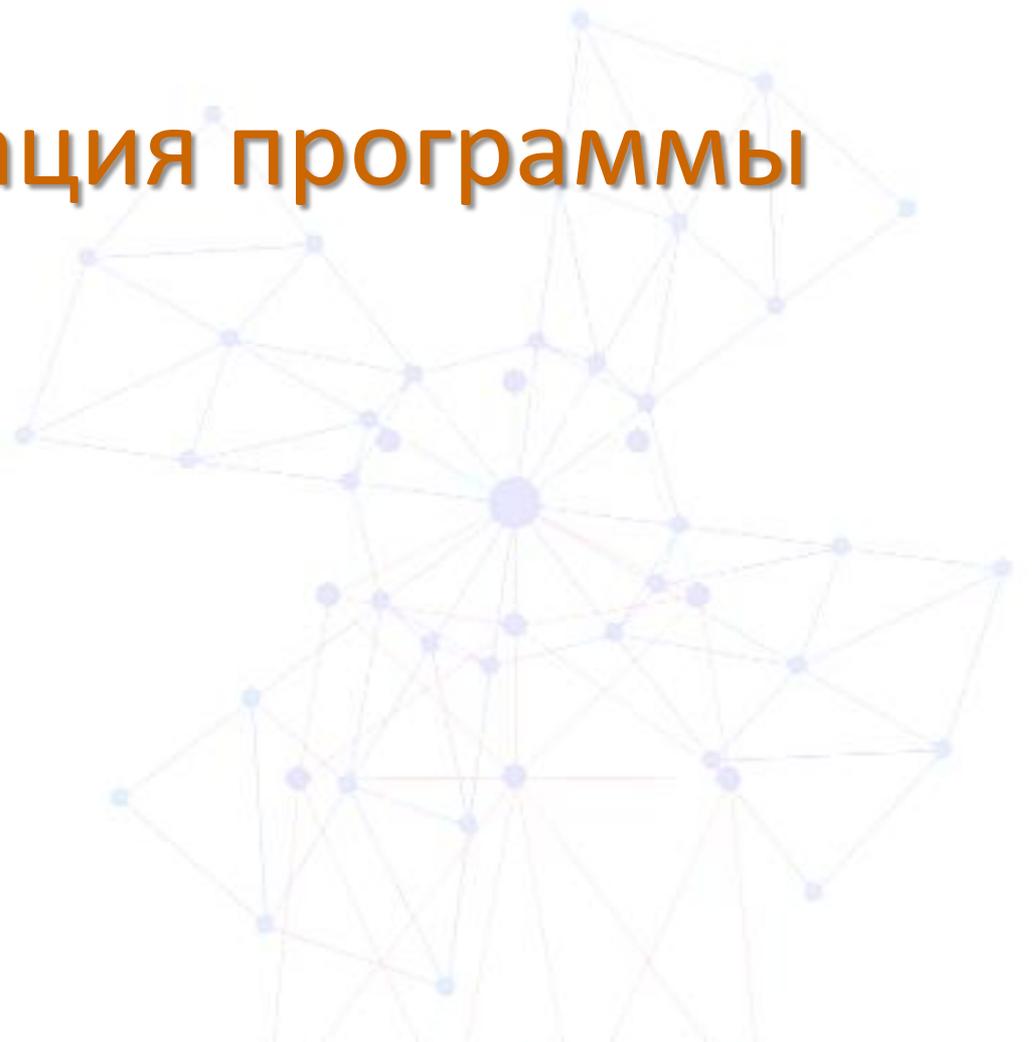
- фазовых соотношений между колебаниями на резонансных частотах
 - влияния наличия зазора и его величины на резонансные отклики конструкции
 - влияния гасителя вибрации и трения
2. Взаимодействие конструкции с вибровозбудителем.
 - Расчёт влияния реакции конструкции на возмущение. Изменение профиля нагружения вибрацией (первичный «ночинг»)

Расчёт влияния различных:

- положений задающего датчика вибростенда
- стратегий управления: по среднему, по максимуму
- амплитуд нагружения, скоростей и направлений сканирования частоты

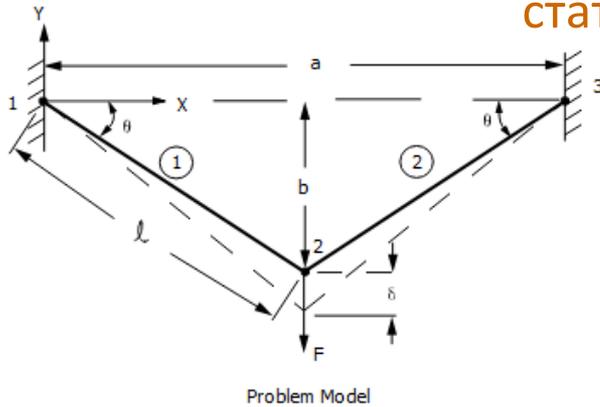
3. Напряжённо-деформированное состояние стержневых систем

Верификация программы



ANSYS APDL verification manual 4

СТАТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА



Material Properties	Geometric Properties	Loading
$E = 30 \times 10^6$ psi	$I = 15$ ft $A = 0.5$ in ² $\Theta = 30^\circ$	$F = 5000$ lb

Results Comparison

	Target	Mechanical APDL	Ratio
Stress, psi	10,000.	10,000.	1.000
Deflection, in	-0.120	-0.120	1.000

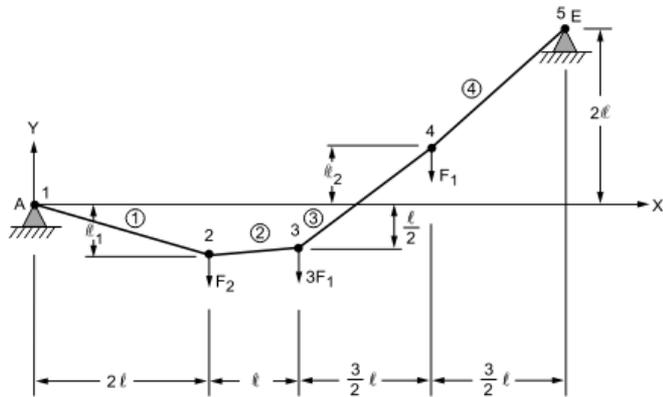


Напружанне в стержне 10173 psi (ошибка 1,7%)

Статический прогиб центральной массы 0,122 дюйма (ошибка 1,7%)

ANSYS APDL verification manual 31

СТАТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА



Problem Model

Material Properties	Geometric Properties	Loading
$E = 20 \times 10^6 \text{ ksi}$	Area of cable = 0.1 ft^2 $l = 10 \text{ ft}$ $l_1 = 5.56 \text{ ft}$ $l_2 = 5.83 \text{ ft}$	$F_1 = 4 \text{ kips}$ $F_2 = 6 \text{ kips}$

Results Comparison

	Target[1]	Mechanical APDL	Ratio
$A_x, \text{ Kips}$	-18.000	-17.997	1.000
$A_y, \text{ Kips}$	5.0000	5.0009	1.000
$T, \text{ Kips}$	24.762	24.755[2]	1.000

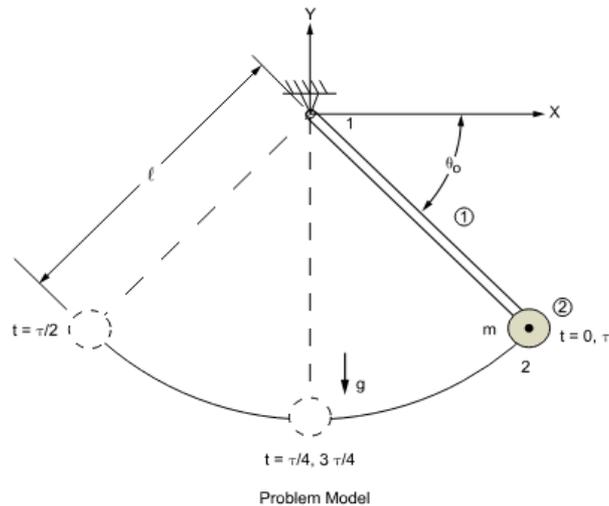


Макс. натяжение 24278 lbs (ошибка 2%)

Реакция первого узла: (17648; 4907) lbs (ошибка 1,8%)

ANSYS APDL verification manual 91

Figure 91.1: Pendulum Swing Problem Sketch



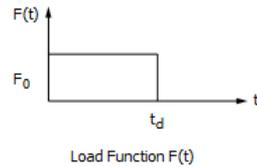
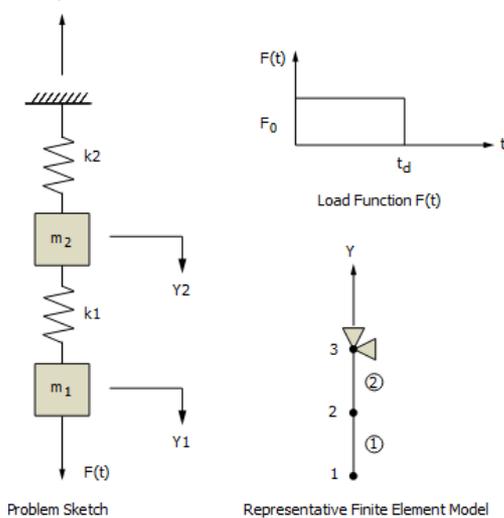
Material Properties	Geometric Properties	Loading
$E = 30 \times 10^6$ psi $m = 0.5$ lb-sec ² /in	$l = 100$ in $\Theta_0 = 53.135$ $A = 0.1$ in ²	$g = 386$ in/sec ²

	Target	Mechanical APDL	Ratio
Deflection _x , in(t=period/4)	-60.000	-59.3738	0.990
Deflection _y , in(t=period/4)	-20.000	-20.0040	1.000
Deflection _x , in(t=period/2)	-120.00	-119.9106	0.999
Deflection _y , in(t=period/2)	0.0000	-0.0662	0.000



Отклонение на половине периода колебаний:
 (-120; -0,00413) дюйма (ошибка 0,4%)

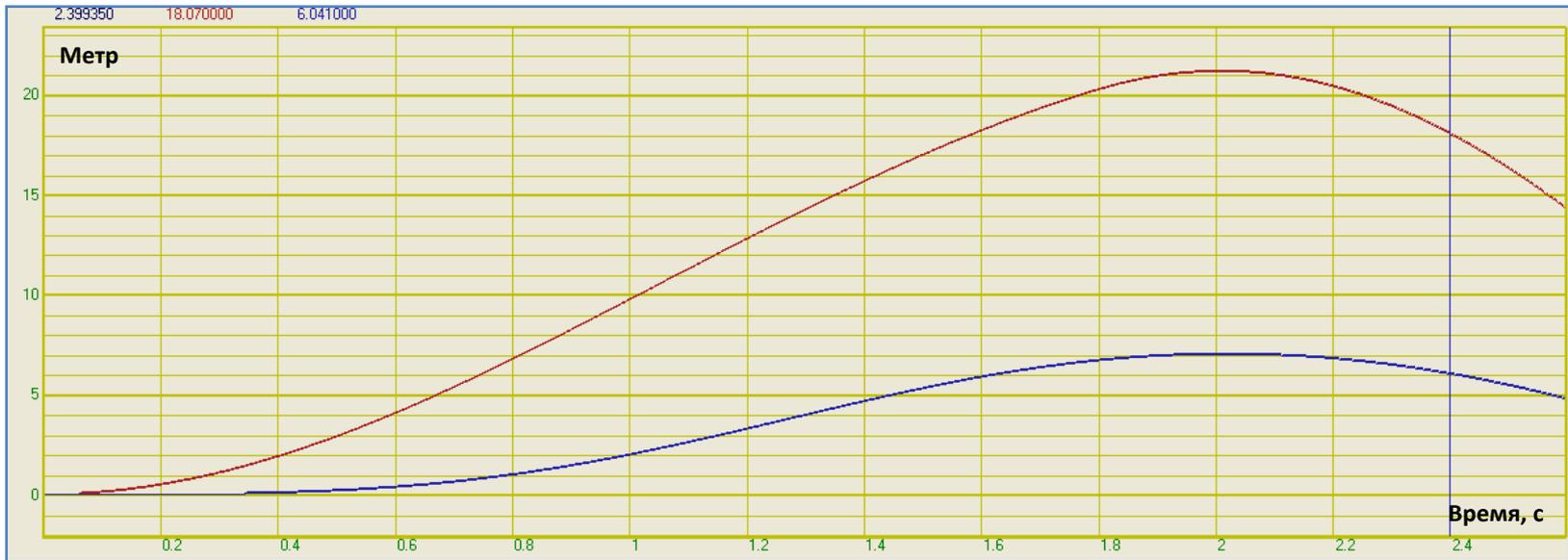
ANSYS APDL verification manual 182



Material Properties	Loading
$k_1 = 6 \text{ N/m}$	$F_0 = 50 \text{ N}$ $t_d = 1.8 \text{ sec}$
$k_2 = 16 \text{ N/m}$	
$m_1 = 2 \text{ Kg}$	
$m_2 = 2 \text{ Kg}$	

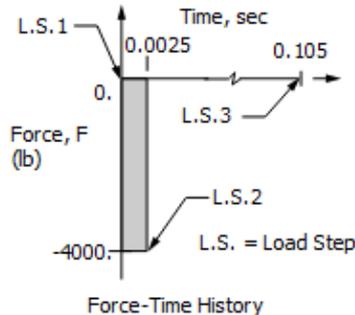
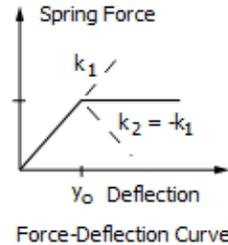
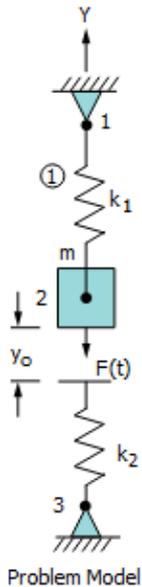
Results Comparison

	Target	Mechanical APDL	Ratio
$Y_1, \text{ m (@ } t = 1.3\text{s)}$	14.48	14.40	0.995
$Y_2, \text{ m (@ } t = 1.3\text{s)}$	3.99	3.95	0.990
$Y_1, \text{ m (@ } t = 2.4\text{s)}$	18.32	18.40	1.004
$Y_2, \text{ m (@ } t = 2.4\text{s)}$	6.14	6.16	1.004



Отклонение m_1 и m_2 (1,3 с): 14,3 и 3,98 м (ошибка 1,2%)
 Отклонение m_1 и m_2 (2,4 с): 18,05 и 6,04 м (ошибка 1,5%)

ANSYS APDL verification manual 79



Material Properties	Geometric Properties
$m = 0.5 \text{ lb-sec}^2/\text{in}$ $k_1 = 200 \text{ lb/in}$	$y_0 = 0.75 \text{ in}$

Results Comparison

Time = 0.09 sec	Target	Mechanical APDL	Ratio
Y_{max} in	-1.0417	-1.04047	0.999

Table 79.1: Comparison of Mechanical APDL Linear and Bilinear Spring Results

Time, sec	0.040	0.070	0.085	0.105
y , in (linear)[1]	-0.68122	-0.97494	-0.99604	-0.88666
y , in (bilinear)	-0.68122	-0.98672	-1.0383	-1.0020



Макс. отклонение 0,9999 дюйма (ошибка 4,2%)
 Время макс. отклонения: 0,08027 с (ошибка 12%)

Нелинейная пружина

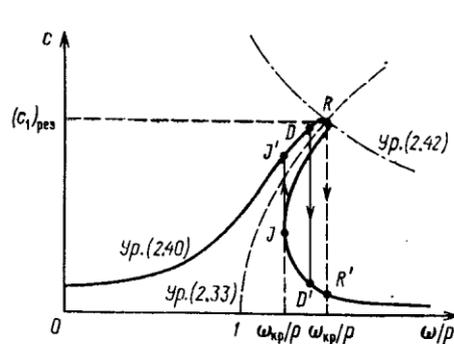


Рис. 2.14

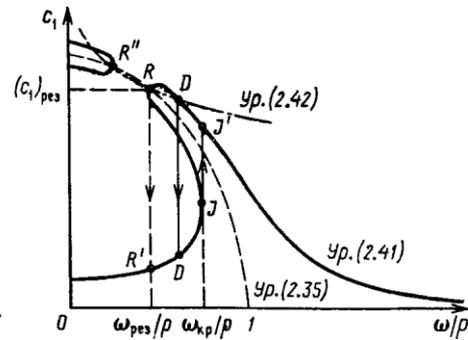
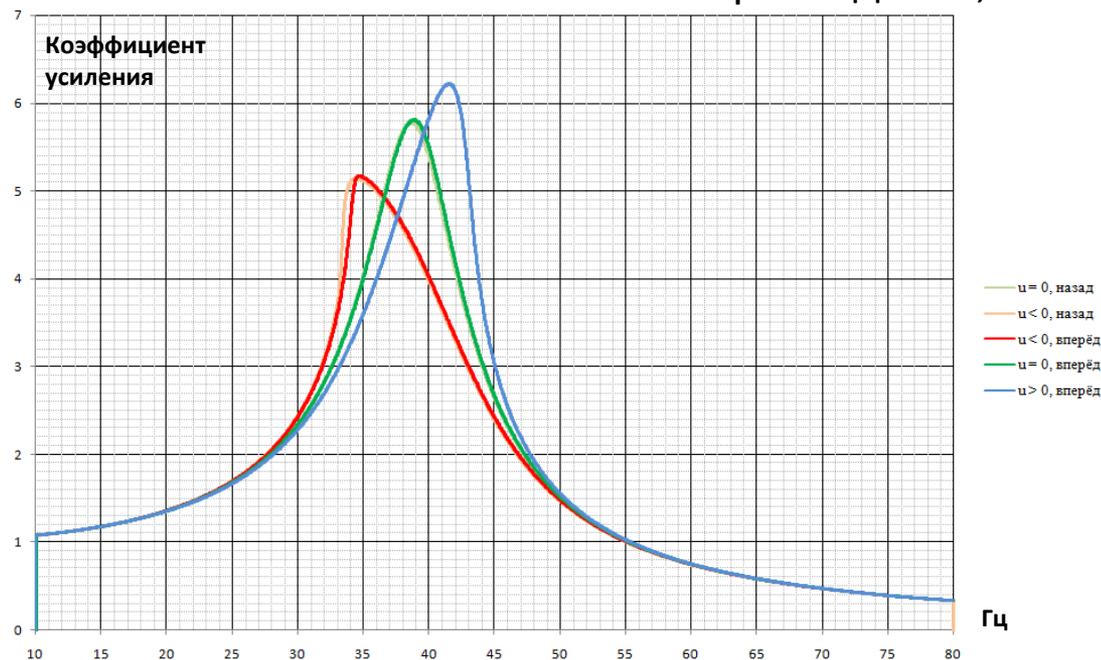


Рис. 2.15

Частотная характеристика пружин с возрастающей и уменьшающейся жёсткостью (Тимошенко С.П. «Колебания в инженерном деле», с 163)

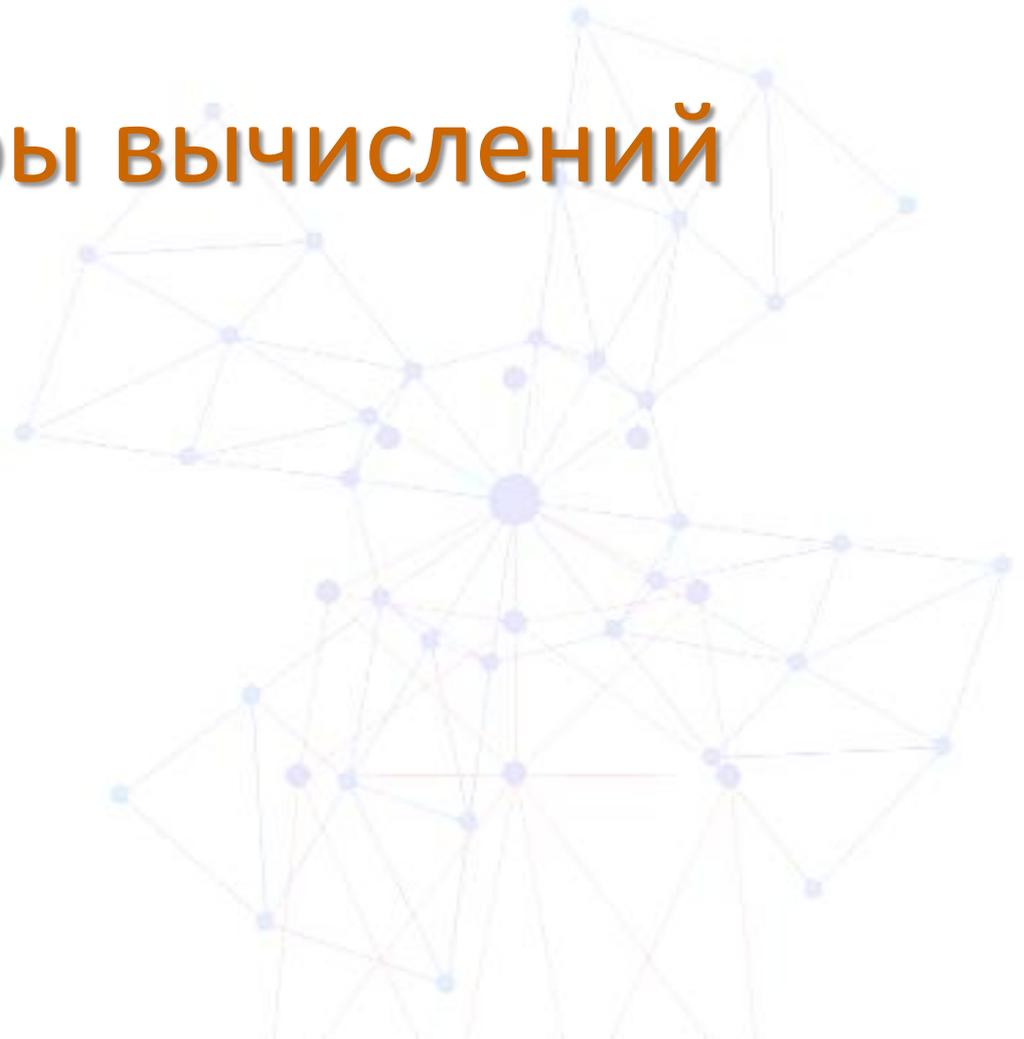


АЧХ нелинейной пружины с различным знаком нелинейности «u» и различным направлением сканирования частоты

Выводы по верификации

- Результаты расчётов простых механических систем в программе Млын и в программе Ansys отличаются в среднем на 5%
- Данная разница может быть обусловлена учётом динамических эффектов (незначительные колебания масс) в задачах статики, что избыточно, а также применением схемы интегрирования, отличной от применяемой в программе Ansys

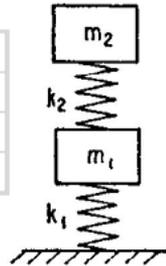
Примеры вычислений



Определение собственной частоты системы (1)

Дано:

m1=	1200	кг
m2=	360	кг
k1=	6.60E+08	Н/м
k2=	2.60E+07	Н/м



Результат аналитического решения:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{k_1 + k_2}{m_1} + \frac{k_2}{m_2} \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \pm \sqrt{\left[\frac{k_1 + k_2}{m_1} + \frac{k_2}{m_2} \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \right]^2 - \frac{4k_1k_2}{m_1m_2}} \right]}$$

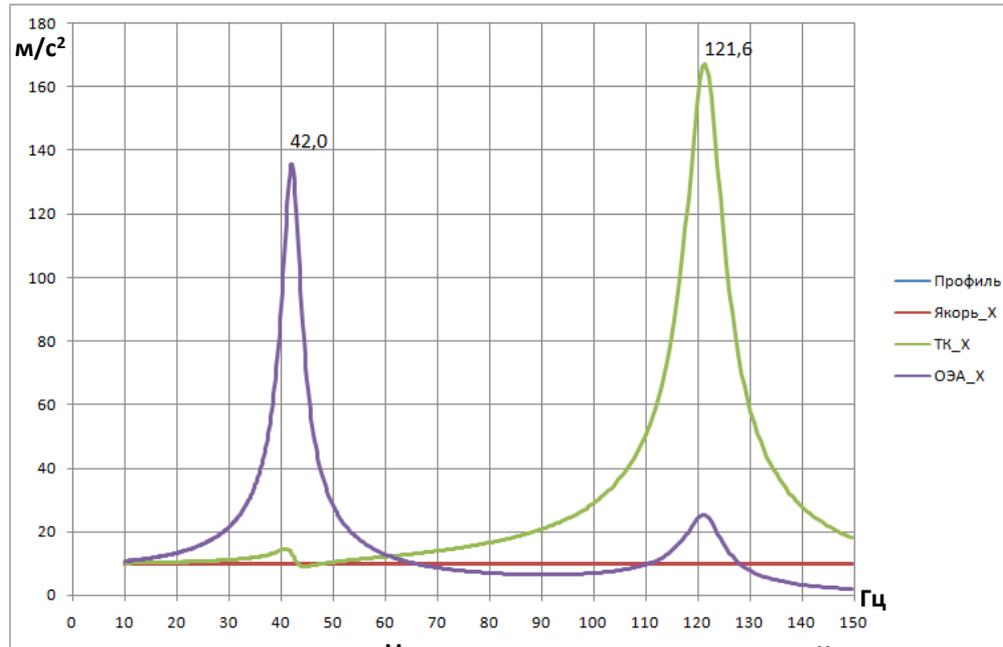
Найти:

Собственные частоты системы

f1=	120.662	Гц
f2=	41.839	Гц

(Без учёта демпфирования)

Результат решения в программе Млын:



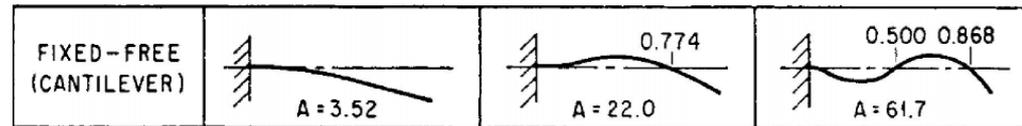
Амплитудный отклик модели с учётом демпфирования 5 %

Определение собственной частоты системы (2)

Дано:

Плоская система из масс и пружин,
подобная на стержень

Результат аналитического решения:



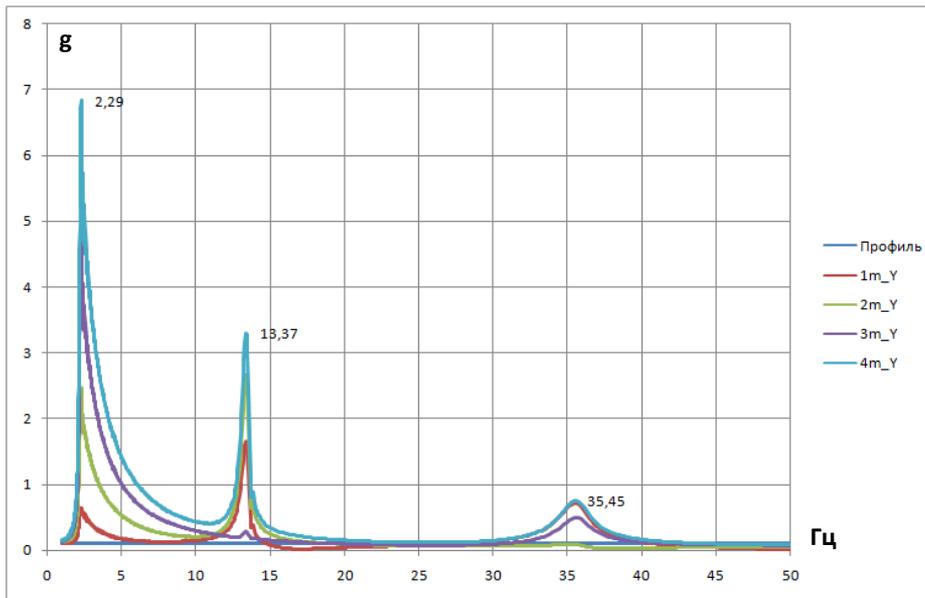
(Без учёта демпфирования)

f1=	2.3 Гц
f2=	14.5 Гц
f3=	40.6 Гц

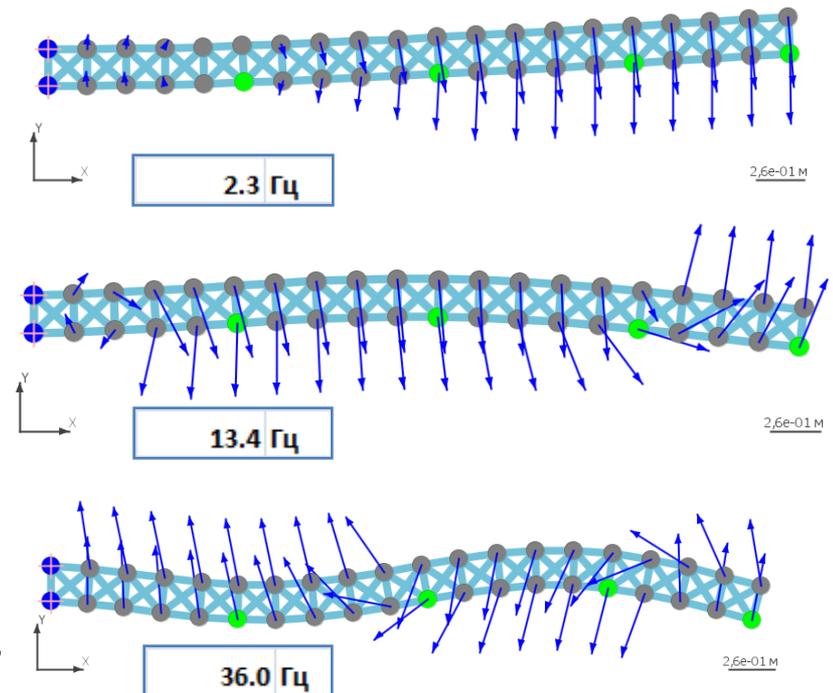
Найти:

Собственные частоты системы

Результат решения в программе Млын:



Амплитудный отклик модели с учётом демпфирования,
добавленного для стабильности решения



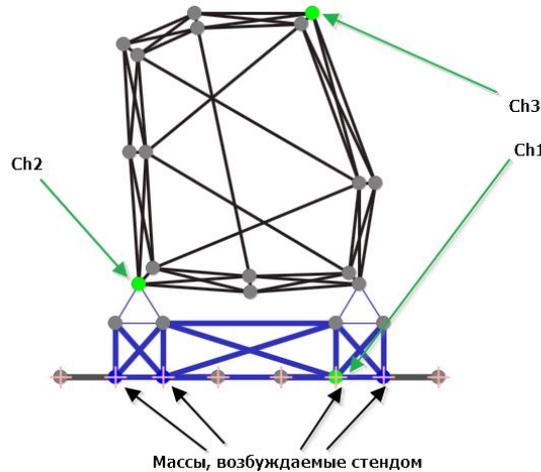
Моделирование вибрационных испытаний

Дано:

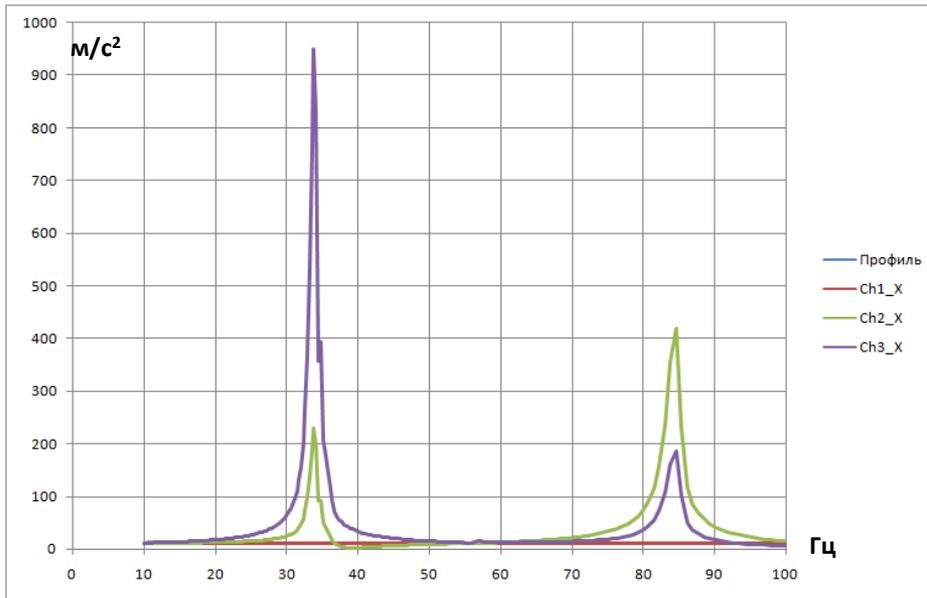
Плоская система из масс и пружин, имитирующая конструкцию на вибростенде

Смоделировать:

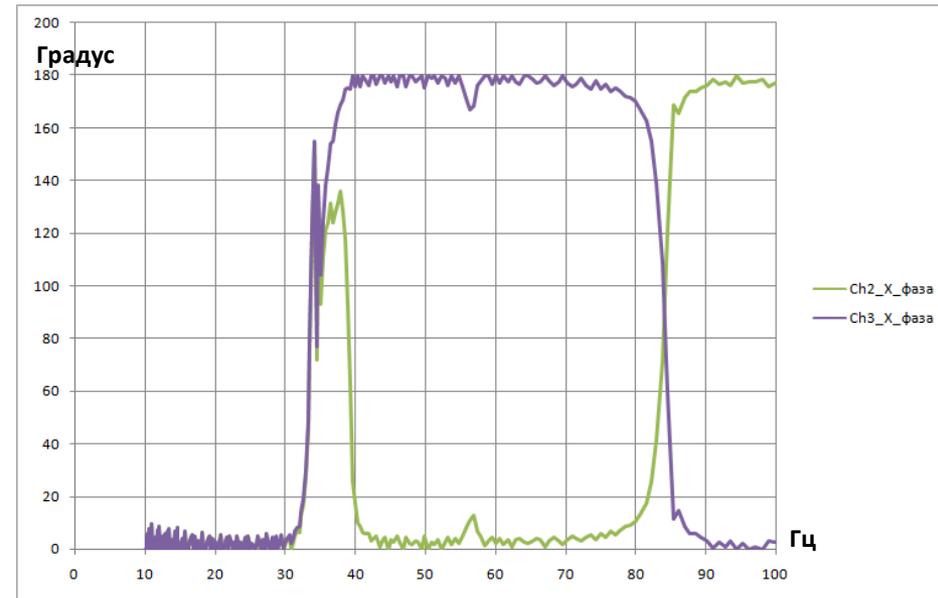
Процесс определения АФЧХ конструкции с помощью вибростенда



Результат решения в программе Млын:



Амплитудный отклик модели



Фазовый отклик модели

Воздействие: диапазон частот 10 – 100 Гц, скорость скан. 2 окт/мин, амплитуда 1 g 16/24

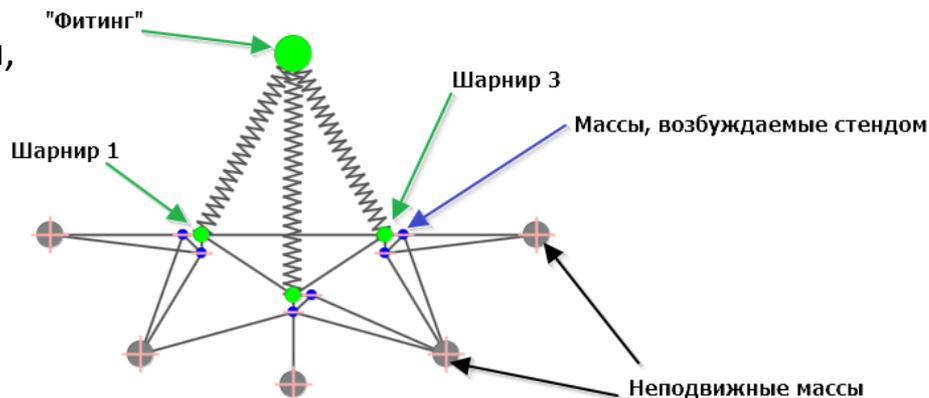
Моделирование системы обратной связи вибростенда

Дано:

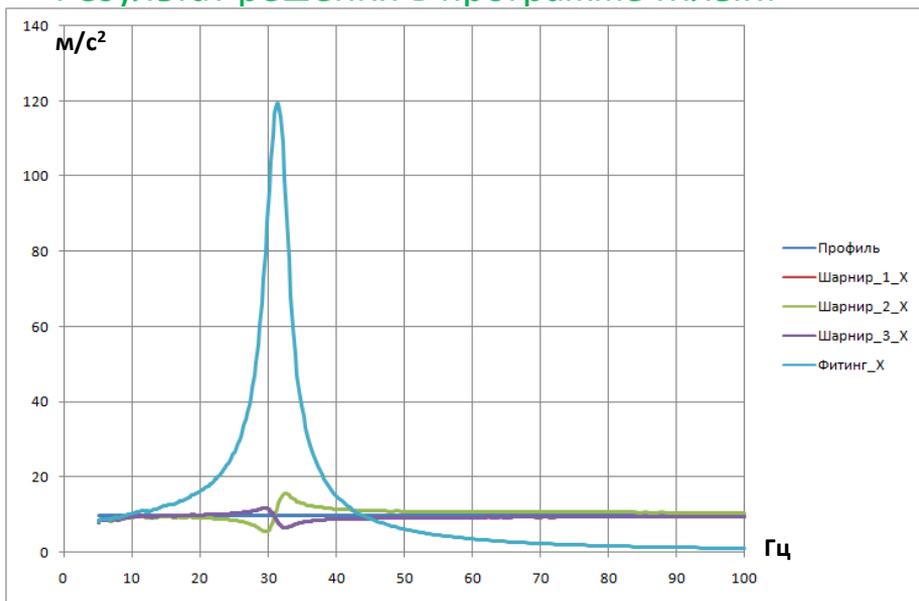
Плоская система из масс и пружин, имитирующая конструкцию на вибростенде

Смоделировать:

Различные режимы управления вибростендом

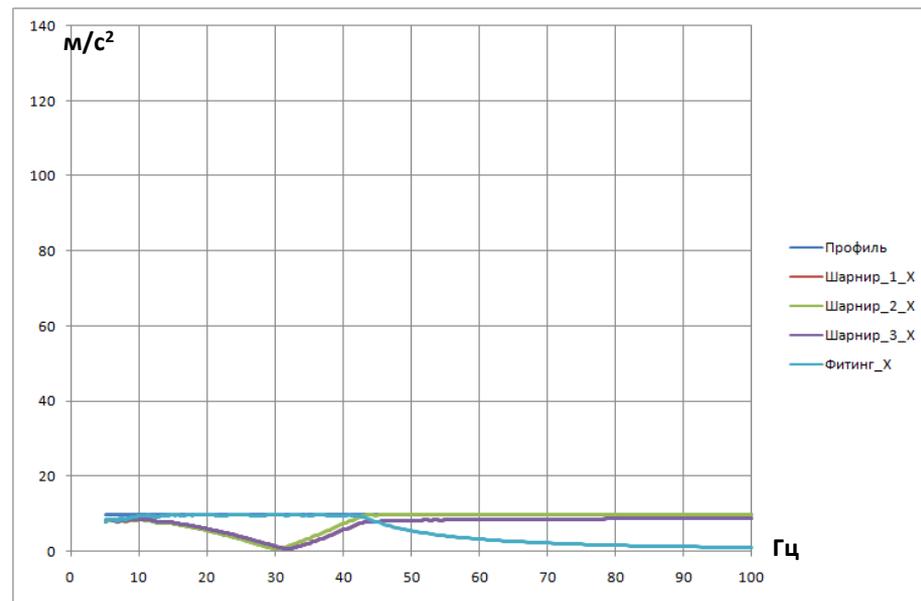


Результат решения в программе Млын:



Задающие каналы: шарниры 1 – 3

Управление: по среднему



Задающие каналы: шарниры 1 – 3, фитинг

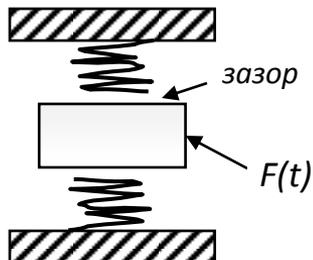
Управление: по максимуму

Воздействие: диапазон частот 5 – 100 Гц, скорость скан. 2 окт/мин, амплитуда 1 g 17/24

Наличие зазора в системе с 1-ой степенью свободы

Дано:

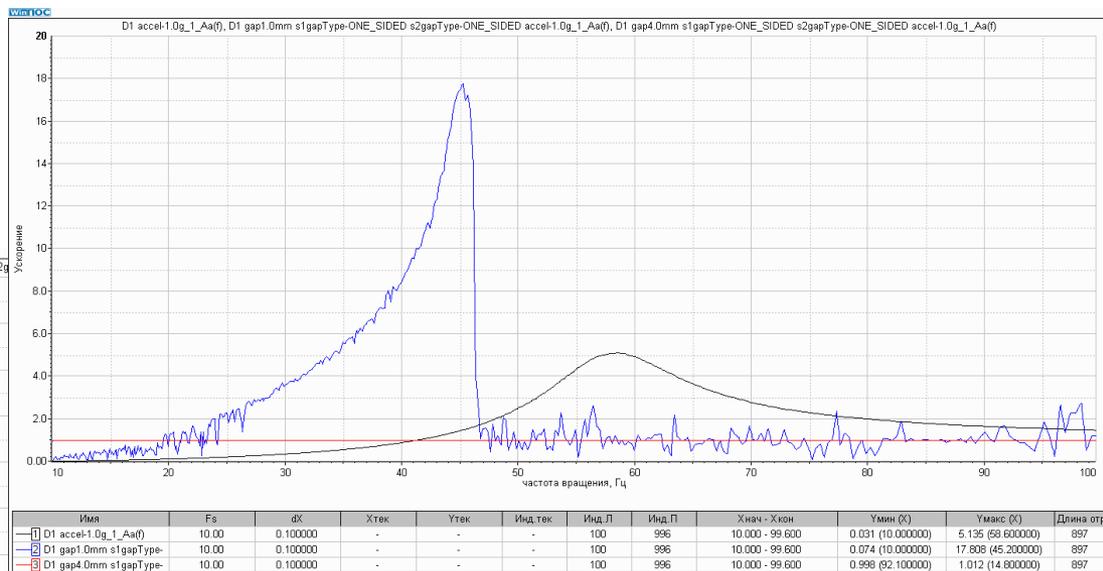
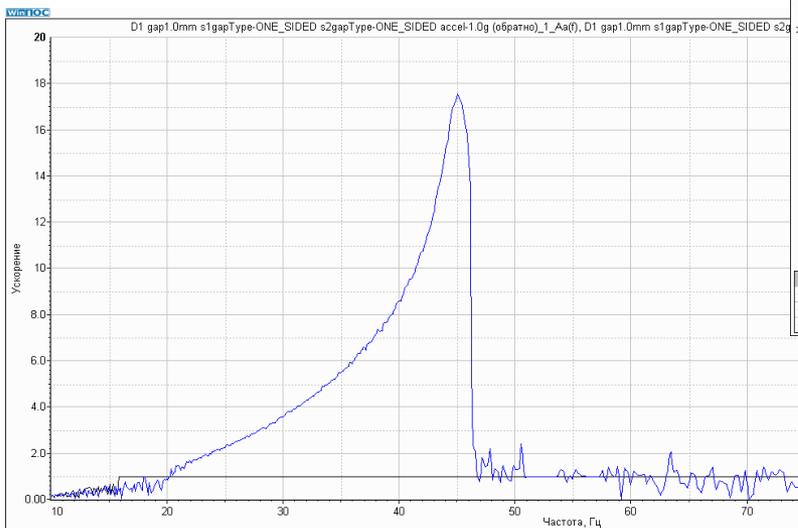
Одномерная система с частотой 58 Гц при
отсутствии зазора



Рассчитать:

Влияние зазора различной величины

Результат решения в программе Млын:



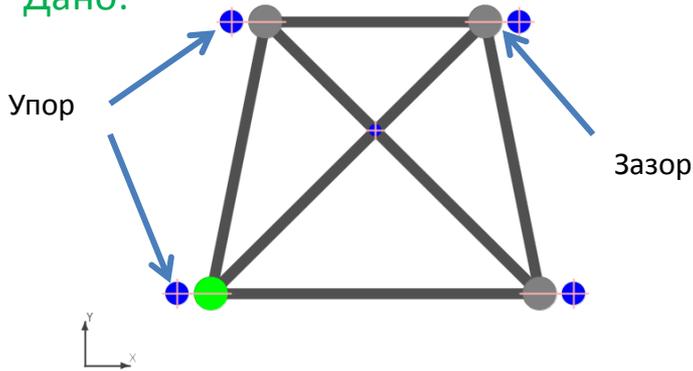
АЧХ систем с зазорами 0 мм, 1 мм, 4 мм, определённое
в прямом направлении сканирования частоты

Имя	dX	X _{тек}	У _{тек}	Инд.тек.	Инд.П	Инд.П	Х _{нач} - X _{кон}	У _{мин} (G)	У _{макс} (G)	Длина отр.
1 1 мм, обратное сканирование	0.100000	-	-	-	100	998	10.000 - 99.600	0.121 (12.300000)	1.015 (15.800000)	899
2 1 мм	0.100000	-	-	-	100	996	10.000 - 99.600	0.038 (70.100000)	17.591 (45.000000)	897

АЧХ системы с зазорами 1 мм, определённое
в прямом (синяя линия) и обратном (красная) направлении сканирования частоты

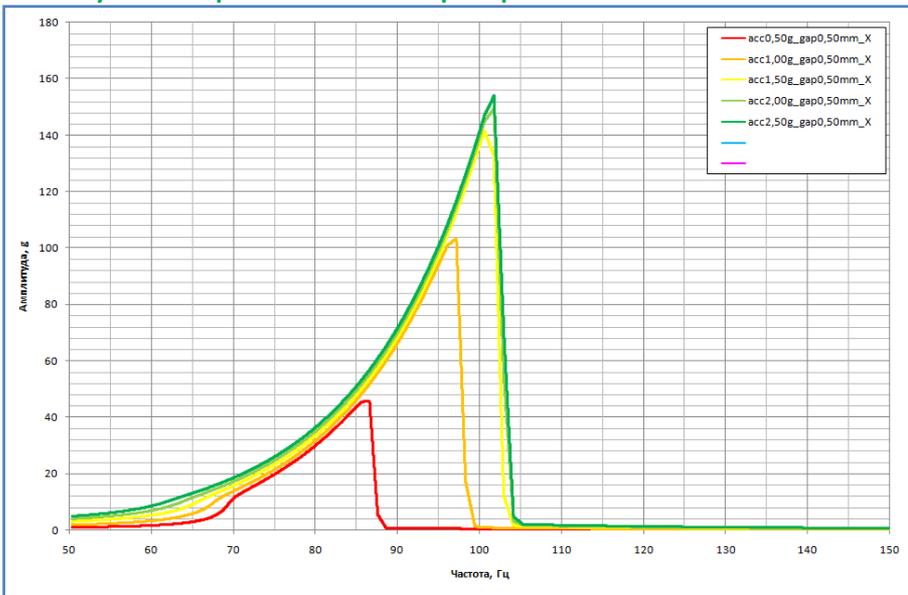
Развитие резонанса при наличии упора

Дано:



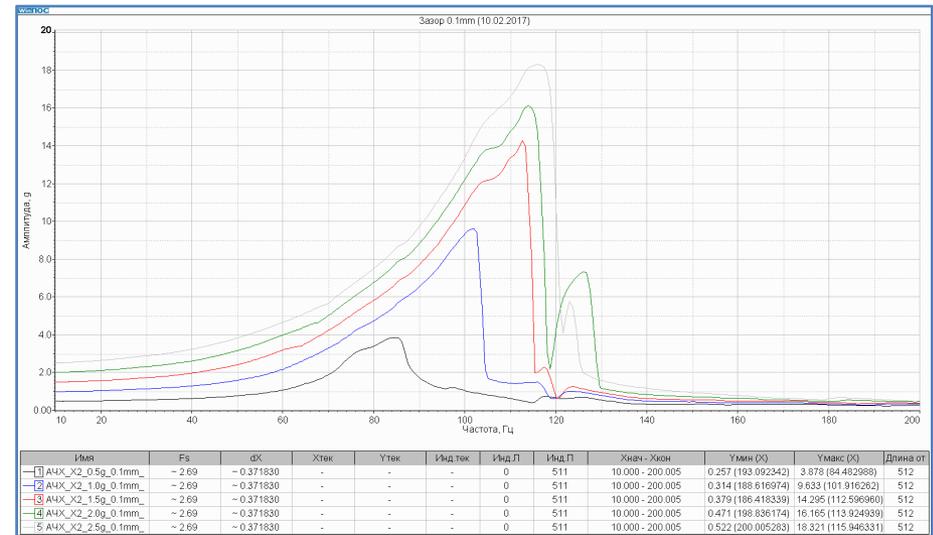
Модель реальной механической системы с наличием в ней упоров (движение только по горизонтальной оси)

Результат решения в программе Млын:



Расчётная тенденция при различных амплитудах воздействия

Результат эксперимента:



Экспериментальная тенденция при различных амплитудах воздействия

Амплитуды воздействия:
0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 г

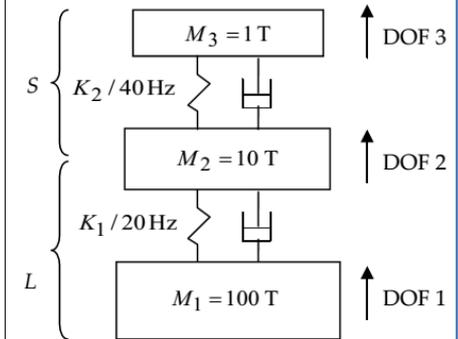
Величина зазора постоянная

Суть первичного «ночинга» на примере системы из 3-х масс

Дано:

Условие задачи:
(пример взят из руководства
ECSS-E-HB-32-26A)

- M_1 order of magnitude of the launcher mass excluding the mass at the spacecraft interface
- M_2 order of magnitude of the launcher mass at the spacecraft interface + the spacecraft residual mass
- M_3 order of magnitude of the effective mass of the spacecraft's first mode
- K_1 stiffness of the free-free system at 20 Hz with infinite K_2 , ($K_1 = 1.56 \times 10^8$ N/m)
- K_2 stiffness for the first spacecraft mode at 40 Hz, ($K_2 = 6.32 \times 10^7$ N/m)



Рассчитать:

АЧХ для массы₂ и массы₃

Результат решения в программе Млын:

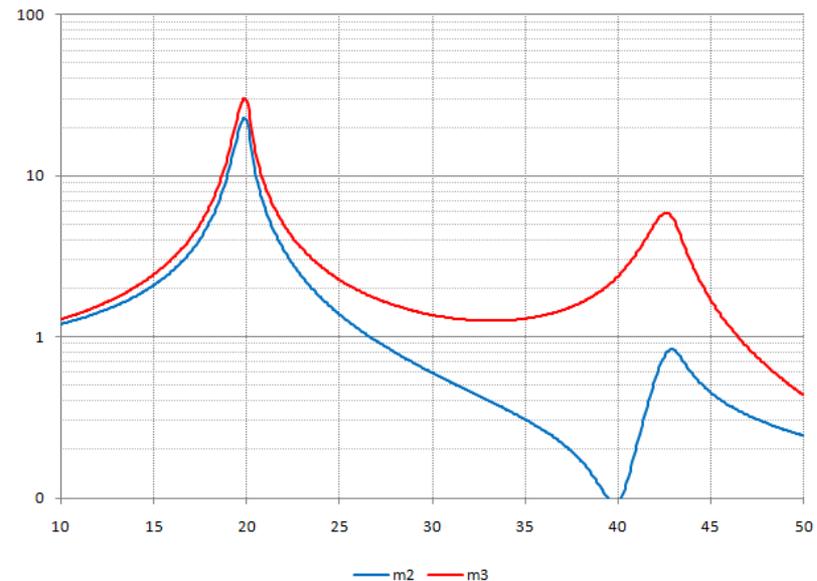
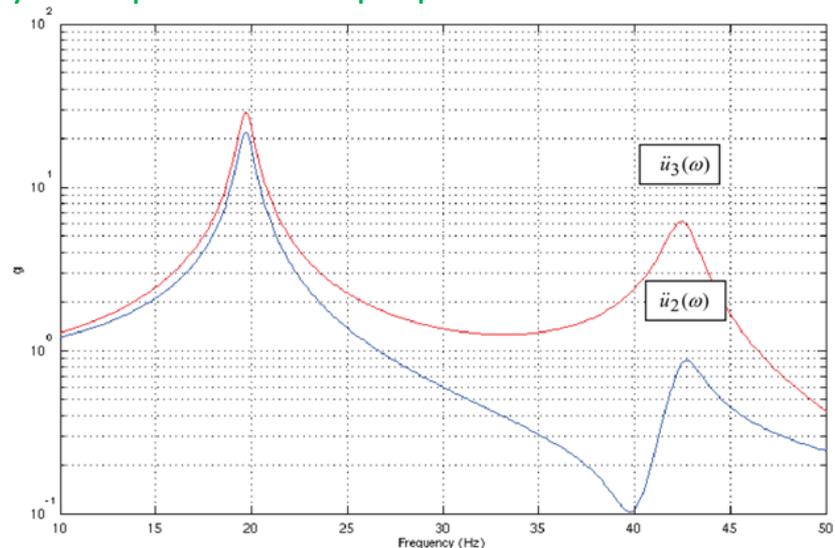


Figure 5-37: Coupled responses of the simple model

Сравнение результатов расчёта, взятого из руководства и полученного в **Млын 2D**

Выводы



Выводы

- В программе возможен численный расчёт поведения во временной области плоских систем из масс и пружин
- Для расчёта реальной конструкции необходимо представить её в виде совокупности масс и пружин, имеющих величины, отражающие эффективные модальные массы и первые собственные частоты конструкции или её составных частей
- Точность количественного расчёта является вполне удовлетворительной, что подтверждено верификацией. Результаты расчётов системы при наличии в ней нелинейности (зазор) согласуются с результатами эксперимента
- Возможно моделирование вибрационных испытаний с определёнными амплитудой воздействия, диапазоном частот, скоростью сканирования, положением задающего датчика и режимом управления
- В программу возможно внесение доработок
- К недостаткам используемой модели сосредоточенных параметров можно отнести сложность в определении степени дискретизации конструкции и системы связей в ней.

Литература

- Кривцов А.М. Метод частиц и его использование в механике деформируемого твёрдого тела / Кривцов А.М., Кривцова Н.В. // Дальневосточный математический журнал ДВО РАН. – 2002. – Т. 3, №2. – С. 254–276.
- Соустин Б.П. Виброиспытания космических аппаратов / Б.П. Соустин, Н.А. Тестоедов, А.Г. Рудомёткин, А.В. Алькин. – Новосибирск: Наука, 2000. – 175 с.
- Оле Дэссинг, Брюль и Кьер Испытания конструкций. Ч.2. Анализ мод колебаний и моделирование – 1989.

Млын 2D

Праграма для мадэлявання паводзінаў у часе
простых механічных сістэм

