

Документация к программе «GenCalc»
Расчет обобщенных характеристик тонов собственных колебаний
по результатам модальных испытаний

Версия программы: v1.0.1

Совместимая версия LMS TestLab: 12A

Лакиза Павел
Телефон: (983) 306-46-25
Почтовый адрес: qinterfly@gmail.com

Аннотация

Программа предназначена для расчета обобщенных характеристик тонов собственных колебаний по результатам модальных испытаний, проведенных с использованием программного комплекса LMS Test.Lab. Для предварительного анализа записанных амплитудно-частотных характеристик программа отображает действительную и мнимую составляющие рассматриваемого сигнала, амплитудно-фазовую частотную характеристику и параметр монофазности. Затем, посредством графического интерфейса, осуществляется выбор резонансной частоты собственных колебаний, расчетных границ уровней и параметров интерполяции. По результатам расчета строятся зависимости декремента, обобщенных масс, жесткостей и демпфирования от расчетного уровня.

Авторы

Лакиза Павел Анатольевич, Бернс Владимир Андреевич, Жуков Егор Павлович

Данные о регистрации

Свидетельство 2021662965. Расчет обобщенных характеристик тонов собственных колебаний по результатам модальных испытаний «GenCalc»: программа для ЭВМ / П. А. Лакиза, В. А. Бернс, Е.П. Жуков (RU); правообладатель «Новосибирский государственный технический университет»; заявл. 02.08.2021; опубл. 10.08.2021.

Содержание

1	Описание программных возможностей	4
2	Описание расчетной методики	6
3	Пользовательская инструкция	10
3.1	Особенности работы	10
3.2	Задание исходных данных для расчета	10
3.3	Просмотр результатов расчета	11

1. Описание программных возможностей

С целью обеспечения возможности эффективного расчета обобщенных характеристик по результатам модальных испытаний, была разработана программная реализация «GenCalc», позволяющая посредством графического интерфейса (рис. 1.1) гибко менять параметры расчета и исследовать зависимости получаемых характеристик по каждому из способов одновременно. Более того, для оценки качества выделения тона колебаний в программе заложена возможность построения частотного годографа (рис. 1.3) и параметра монофазности (рис. 1.2) колебательной системы.

Необходимо отметить, что разработанная программная реализация обеспечивает прямое взаимодействие с результатами модальных испытаний, которые были получены с использованием комплекса Simcenter Testlab.

В рамках предлагаемого подхода, для расчетного диапазона необходимо задать минимальный и максимальный уровень амплитуды, число уровней, а также число точек для интерполяции сигнала отклика на каждом уровне. Кроме того, необходимо выбрать частоту амплитудного и фазового резонанса.

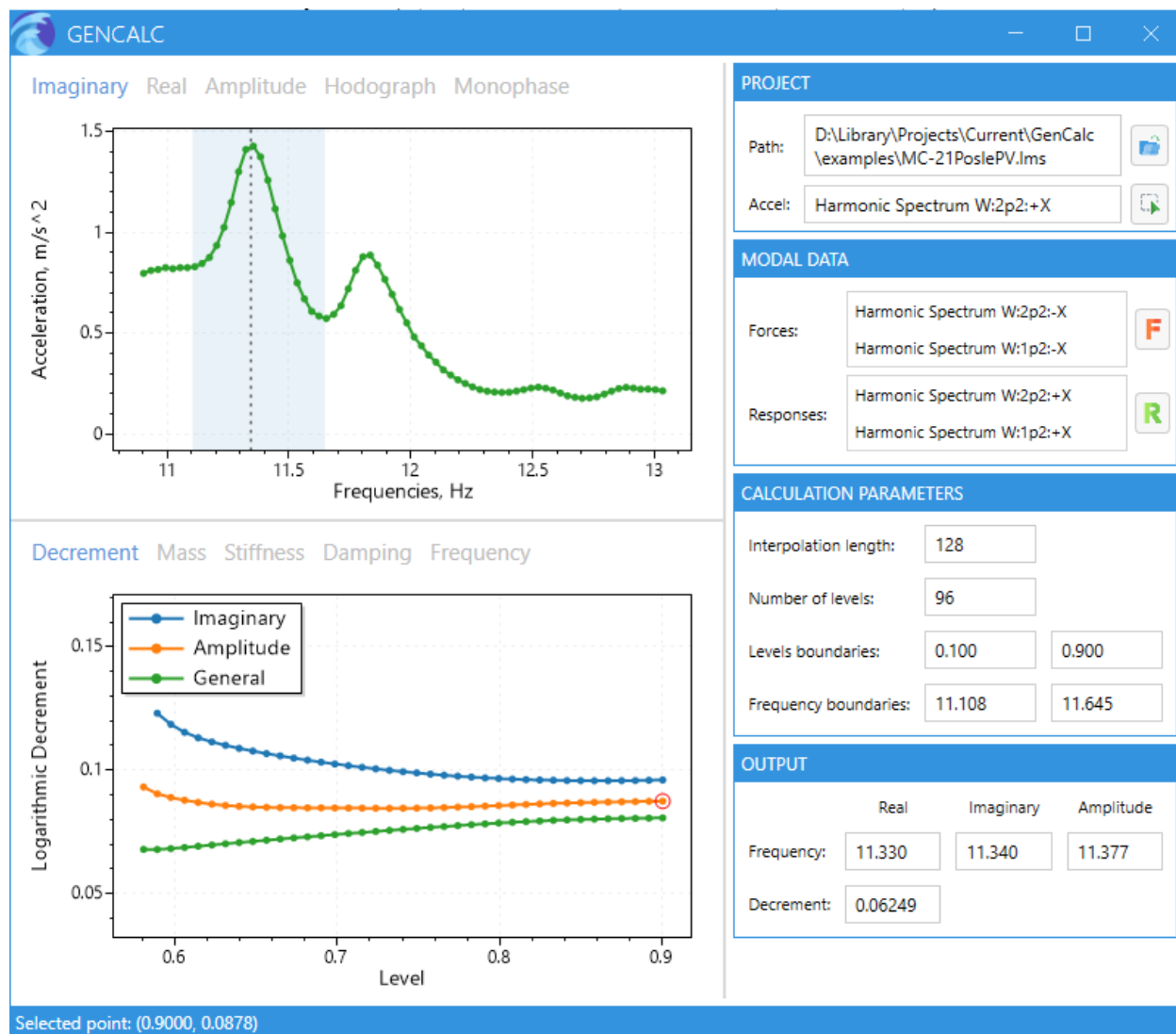


Рис. 1.1: Графический интерфейс программы

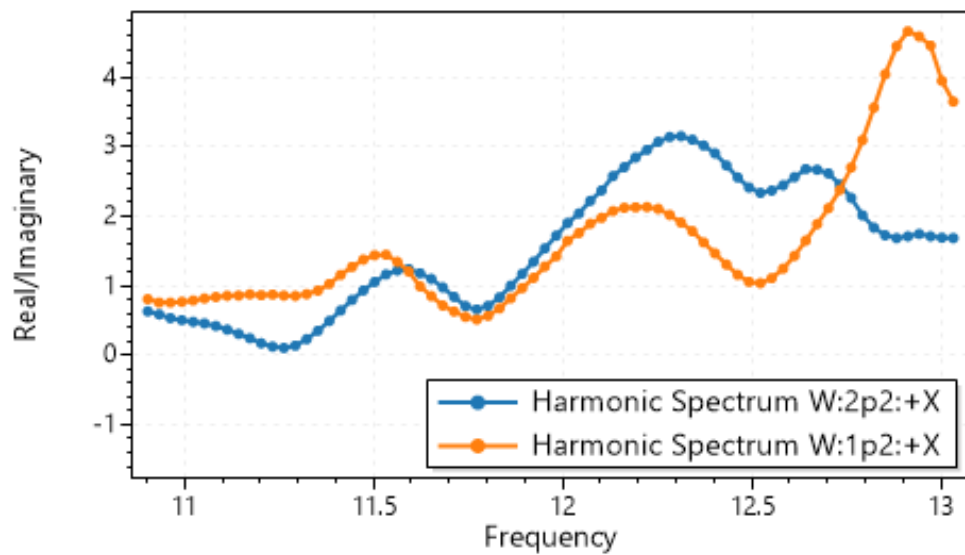


Рис. 1.2: Параметр монофазности по двум каналам возбуждения при колебаниях изделия по тону АГИКр2

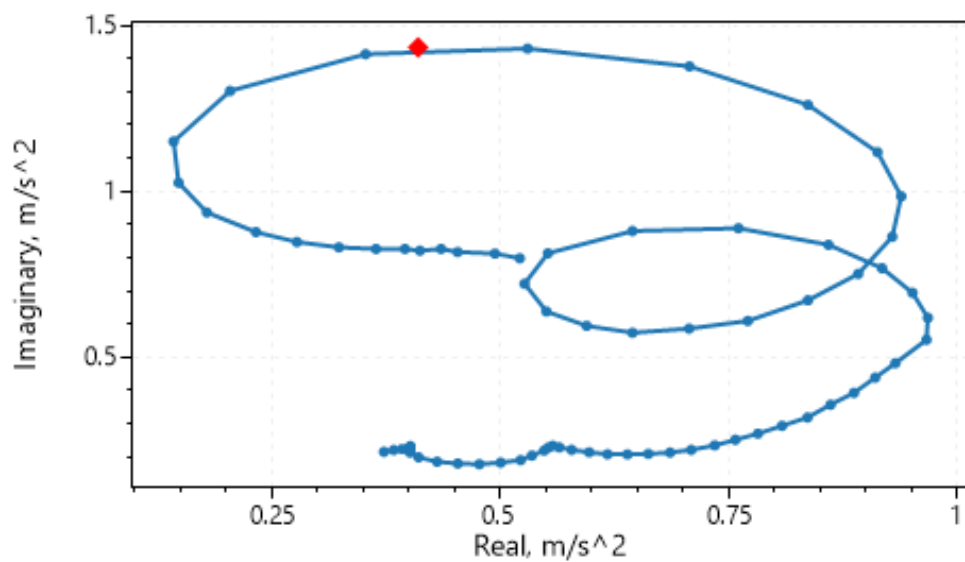


Рис. 1.3: Частотный годограф в точке отклика изделия при колебаниях по тону АГИКр2

2. Описание расчетной методики

Программный функционал позволяет определять логарифмической декремент колебаний системы по каждому тону, используя четыре подхода:

1. По ширине резонансного пика мнимой составляющей сигнала отклика.
2. По ширине резонансного пика амплитуды колебаний.
3. По наклону реальной составляющей сигнала отклика.
4. Посредством точного решения (2.2) системы нелинейных уравнений третьего порядка (2.1) относительно обобщенных характеристик:

$$\begin{aligned}
 & a^3 \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^8 - 3a^2 c \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^6 + a \sum_{k=1}^M [y_k^4 \omega_k^4 (3c^2 + h^2) - Q_k^2 y_k^2 \omega_k^4] + \\
 & + c \sum_{k=1}^M Q_k^2 y_k^2 \omega_k^2 - c^3 \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^2 - ch^2 \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^2 = 0, \\
 & a^3 \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^8 - 3a^2 c \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^6 + a \sum_{k=1}^M [y_k^4 \omega_k^4 (3c^2 + h^2) - Q_k^2 y_k^2 \omega_k^4] + \\
 & + c \sum_{k=1}^M Q_k^2 y_k^2 - c^3 \sum_{k=1}^M y_k^4 - ch^2 \sum_{k=1}^M y_k^4 = 0, \\
 & a^2 h \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^4 - 2ach \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^2 - h \sum_{k=1}^M Q_k^2 y_k^2 + c^2 h \sum_{k=1}^M y_k^4 + h^3 \sum_{k=1}^M y_k^4 = 0.
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Эту систему уравнений удастся решить точно:

$$\begin{aligned}
 a &= b^{1/2}, \\
 c &= -\frac{bd_1 + d_3}{d_2 b^{1/2}}, \\
 h &= \left[\left(\sum_{k=1}^M Q_k^2 y_k^2 - c^2 \sum_{k=1}^M y_k^4 - a^2 \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^4 + 2ac \sum_{k=1}^M y_k^4 \omega_k^2 \right) / \sum_{k=1}^M y_k^4 \right]^{1/2}, \\
 f_1 &= \sum_{i,j=1}^M y_i^4 y_j^4 \omega_j^4 (\omega_j^4 - \omega_i^4), \quad d_1 = \sum_{i,j=1}^M y_i^4 y_j^4 \omega_i^4 (\omega_i^4 - \omega_j^4), \\
 f_2 &= \sum_{i,j=1}^M y_i^4 y_j^4 \omega_j^2 (\omega_j^2 - \omega_i^2), \quad d_2 = 2 \sum_{i,j=1}^M y_i^4 y_j^4 \omega_i^2 (\omega_i^2 - \omega_j^2), \\
 d_3 &= \sum_{i,j=1}^M y_i^2 y_j^2 \omega_j^2 (y_i^2 Q_j^2 - y_j^2 Q_i^2), \quad f_3 = \sum_{i,j=1}^M y_i^2 y_j^2 \omega_i^2 (y_i^2 Q_j^2 - y_j^2 Q_i^2), \\
 b &= \frac{f_2 d_3 - f_3 d_2}{f_1 d_2 - f_2 d_1}.
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

В случае последнего подхода будем дополнительно определять обобщенное

демпфирование, обобщенные жесткость и массу, и представлять их в виде графической зависимости от уровня амплитуд.

Для выбранной точки отклика конструкции, которая, как правило, располагается вблизи точки возбуждения, выберем некоторый диапазон значений в окрестности резонансной частоты для которого будет проводиться расчет по каждому из подходов. Заметим, что логарифмический декремент изменяется по мере изменения амплитуды воздействия, поэтому, с целью определения характера этого изменения и его предельных значений, предлагается строить графические зависимости определяемых характеристик от амплитуды отклика.

Рассмотрим каждый из расчетных способов в отдельности. Для отыскания логарифмического декремента колебаний δ_I по ширине резонансного пика мнимой составляющей (№1) воспользуемся следующей формулой:

$$\delta_I = \pi \Delta \bar{f} \sqrt{\frac{\text{Im } \bar{a}}{1 - \text{Im } \bar{a}}}, \quad (2.3)$$

где $\text{Im } \bar{a} = \frac{\text{Im } a}{\text{Im } a_{\max}}$ – относительное значение мнимой составляющей сигнала, $\Delta \bar{f} = \frac{\Delta f}{f_{\text{im}}}$, $\Delta f = f_2 - f_1$ – разность характерных частот амплитудной частотной характеристики (АЧХ). Значения f_1 и f_2 равны абсциссам где ординаты АЧХ достигают (в долях от максимальной амплитуды) характерное значение уровня.

Логарифмический декремент колебаний δ_{II} по ширине резонансного пика амплитуды колебаний (№2) рассчитывается следующим образом:

$$\delta_{II} = \pi \Delta \bar{f} \frac{\bar{A}}{\sqrt{1 - \bar{A}^2}}, \quad (2.4)$$

где $\bar{A} = \frac{A}{A_{\max}}$ – относительная характерная амплитуда уровня, $A = \sqrt{(\text{Re } a)^2 + (\text{Im } a)^2}$.

Расчет δ_{III} по наклону реальной составляющей (№3) производится по следующей формуле:

$$\delta_{III} = \pi \Delta \bar{f}, \quad (2.5)$$

где значения f_1 и f_2 равны абсциссам тех точек, где ординаты АЧХ достигают экстремальных значений. Для определения этих значений предлагается использовать первую производную интерполированной действительной составляющей.

Для определения обобщенных характеристик конструкции из решения системы нелинейных уравнений (2.1) необходимо произвести расчет обобщенной силы Q . Для этого воспользуемся выражением:

$$Q_i = \frac{\sum_{k=1}^p \left| F_i^{(k)} \right| \cdot \text{Im } a_i^{(k)}}{\text{Im } a_i^{\text{ref}}}, \quad i = 1 \dots n, \quad (2.6)$$

где n – число отсчетов сигнала, $|F_i^{(k)}|$ – амплитуда воздействия в k -ой точке, $\text{Im } a_i^{(k)}$ – мнимая составляющая отклика сигнала k -ой точке, $\text{Im } a_i^{ref}$ – мнимая составляющая отклика сигнала в опорной точке.

Отметим, что расчеты по каждому из способов (2.2), (2.3) – (2.5) являются независимыми, поэтому осуществляются параллельно. Такой подход позволяет существенно ускорить производительность вычислений при высокой дискретизации сигнала отклика по уровню амплитуды.

По результатам вычислений было замечено, что изменение длины интерполяции на каждом расчетном уровне вне зависимости от расчетного подхода слабо влияет на результирующие значения обобщенных характеристик. Также отметим, что собственная частота колебаний, определенная по обобщенным характеристикам в рамках четвертого способа, претерпевает малые изменения по мере роста относительного значения расчетного уровня (рис. 2.1). Зависимости обобщенной массы, жесткости и демпфирования для этого расчетного случая приведены на рисунках 2.2 – 2.4.

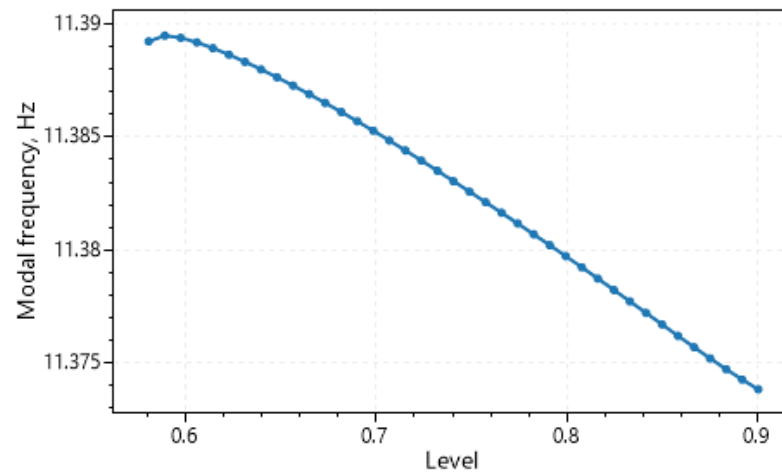


Рис. 2.1: Собственная частота колебаний конструкции по тону АГИКр2, определенная по обобщенным характеристикам

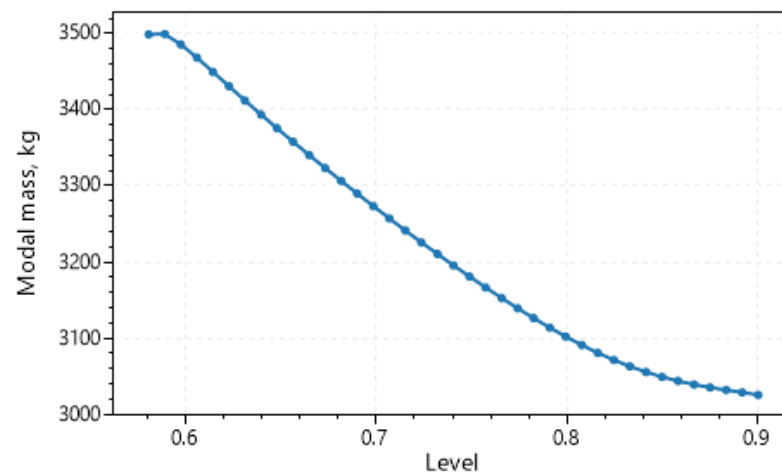


Рис. 2.2: Обобщенная масса конструкции, соответствующая тону АГИКр2

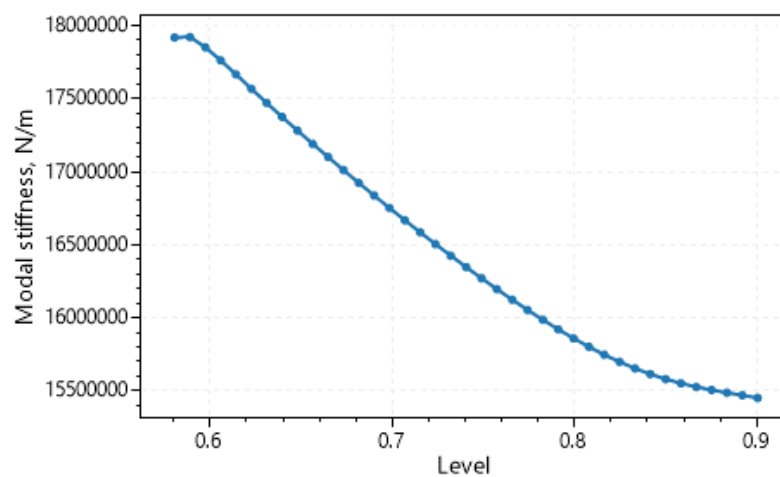


Рис. 2.3: Обобщенная жесткость конструкции, соответствующая тону АГИКр2

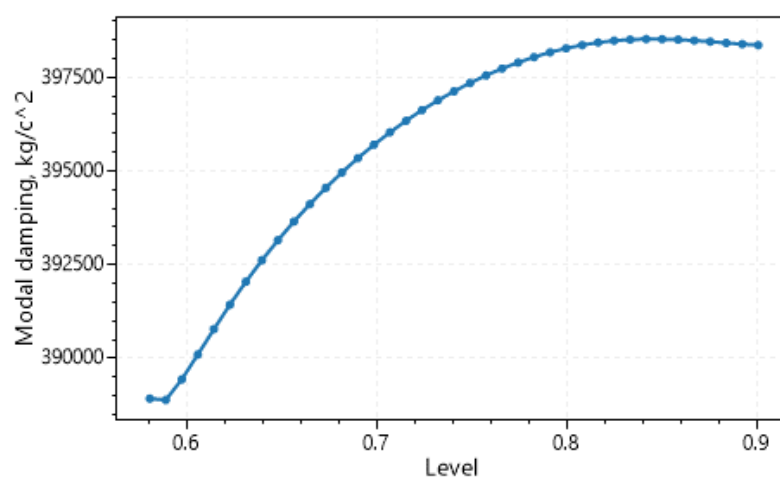


Рис. 2.4: Обобщенное демпфирование конструкции, соответствующее тону АГИКр2



3. Пользовательская инструкция

3.1 Особенности работы

Поскольку выбор данных для построения и расчета осуществляется средствами TestLab Automation, перед включением программы необходимо убедиться в наличии действующей лицензии LMS TestLab. Для интересующего проекта необходимо убедиться, что анимация активной формы колебаний является отключенной.

3.2 Задание исходных данных для расчета

1. В разделе «Project»:

- Выбрать проект, содержащий необходимые сигналы для анализа, посредством диалогового окна, которое возникает при нажатии кнопки . В случае, если LMS TestLab уже запущен, открытие выбранного проекта произойдет в нем.
- В разделе навигации проекта TestLab выбрать сигнал амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) акселерометра. Подтвердить результат выбора нажатием кнопки . При необходимости выполнить сброс выбора нажатием правой кнопки мыши на поле, содержащее имя сигнала, с выбором опции «Remove» в возникшем контекстном меню.

2. Определить расчетный частотный диапазон. Это осуществляется посредством перетягивания границ визуальной заштрихованной области для любой из компонент АЧХ: мнимой (Imaginary), действительной (Real) и амплитуды (Amplitude). В случае необходимости, численные значения левой и правой границ частотного диапазона могут быть скорректированы в поле «Frequency Boundaries» раздела «Calculation Parameters».

3. Задать значение резонансной частоты для каждой из компонент АЧХ: действительной, мнимой и амплитуды. Это возможно посредством перетаскивания прерывистой линии во вкладках с соответствующими названиями. Выбранные резонансные частоты могут быть скорректированы в поле «Frequency» раздела «Output».

4. В разделе «Calculation Parameters»:

- Определить длину интерполяции сегмента, содержащего резонансный пик, «Interpolation Length».
- Задать число расчетных уровней «Number of levels».
- Выбрать границы расчетных уровней «Levels boundaries». В случае, если для одного или ряда расчетных уровней по обе стороны от резонансного пика существует лишь одна точка, то такие измерения пропускаются.

5. В том случае, если необходимо определить модальные характеристики исследуемой конструкции: обобщенную массу, жесткость и демпфирования, выбрать сигналы возбуждения **F** и отклика **R** в одних точках и по одному направлению. Сброс пользовательского выбора осуществляется посредством нажатия правой кнопки мыши на соответствующие поля и выбором пункта «Remove All» в возникающем

контекстном меню. Для оценки параметра монофазности загруженных откликов, выбрать вкладку «Monophase».

3.3 Просмотр результатов расчета

Рассчитанное по наклону реальной составляющей значение декремента (2.5) приведено в поле «Decrement» раздела «Output». Значения декрементов (2.3), (2.4) приведены на графике, размещенном на вкладке «Decrement». В случае, если были дополнительно загружены сигналы откликов и возбуждений, то вкладки «Mass», «Stiffness», «Damping» и «Frequency» наполнятся данными графиков модальных характеристик.

В программе представлены обширные возможности масштабирования и форматирования графиков, которые описаны в пункте «Help» контекстного меню, которое открывается при нажатии правой кнопки мыши на график. При клике левой кнопки мыши на одну из точек полученных графиков, ее координаты отображаются в полосе состояния программы.