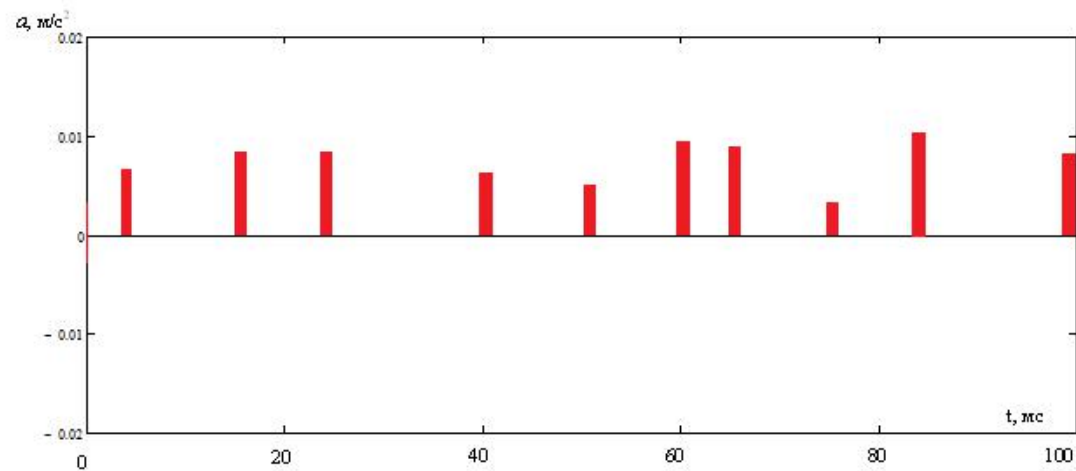
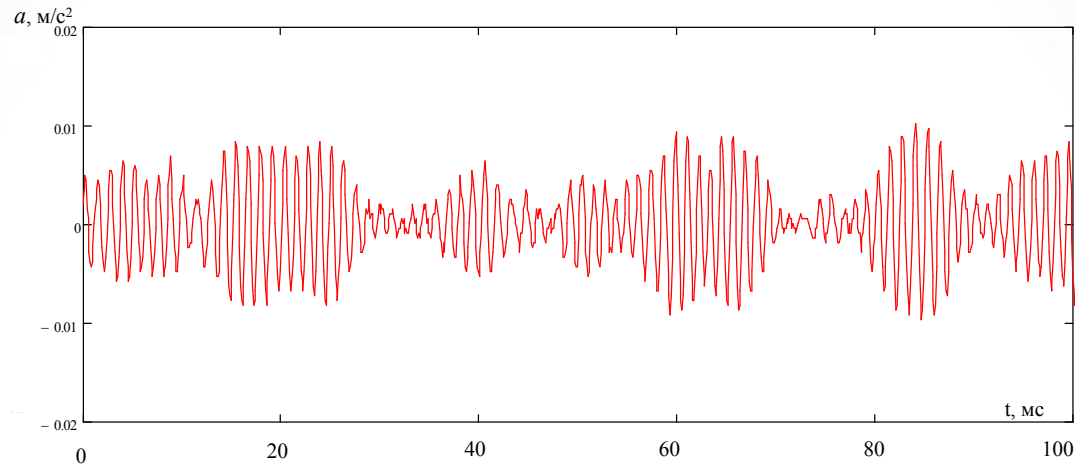


ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВИБРОИСПЫТАНИЙ

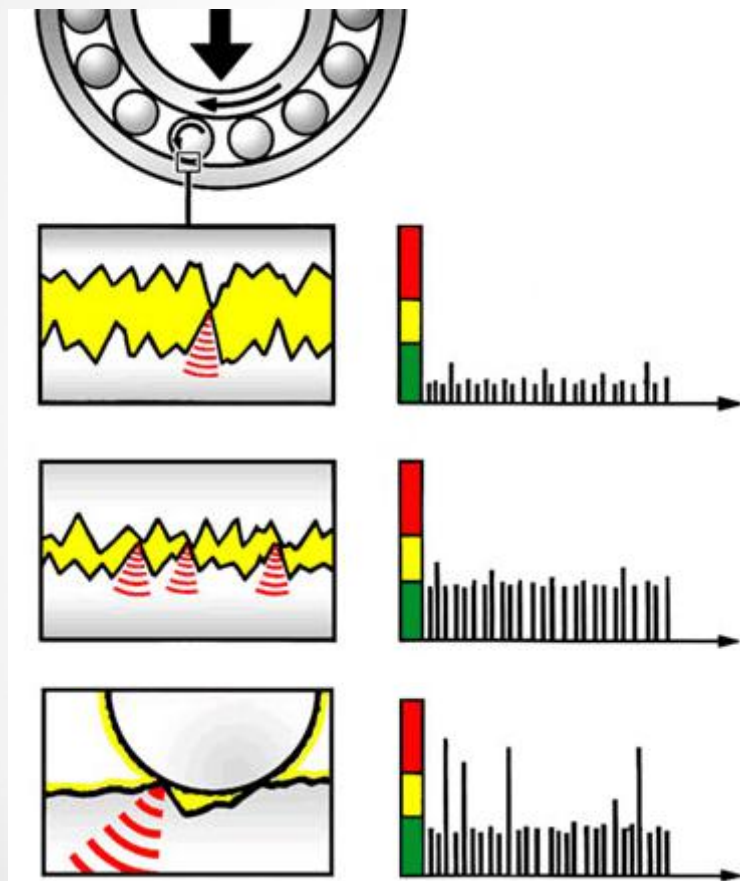
студ. 2-33м Швед А.В.

Науч. рук.: к.т.н., доц.Огурцов Ф.Б.

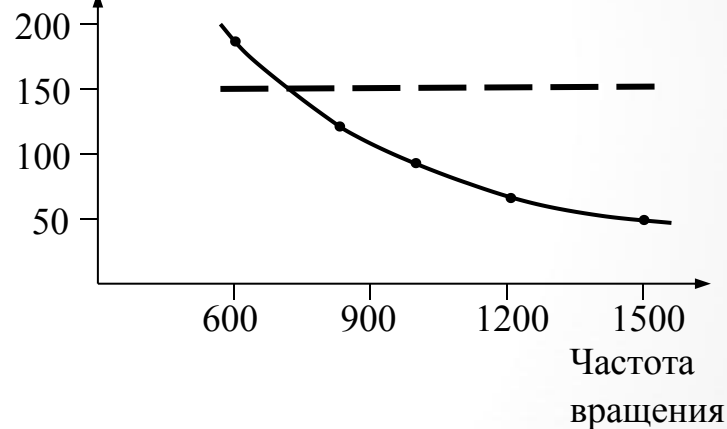
Основы метода ударных импульсов



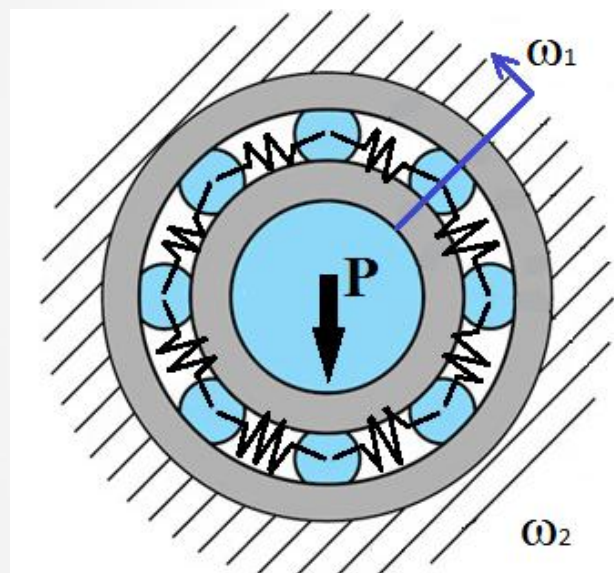
Теория возникновения ударных импульсов



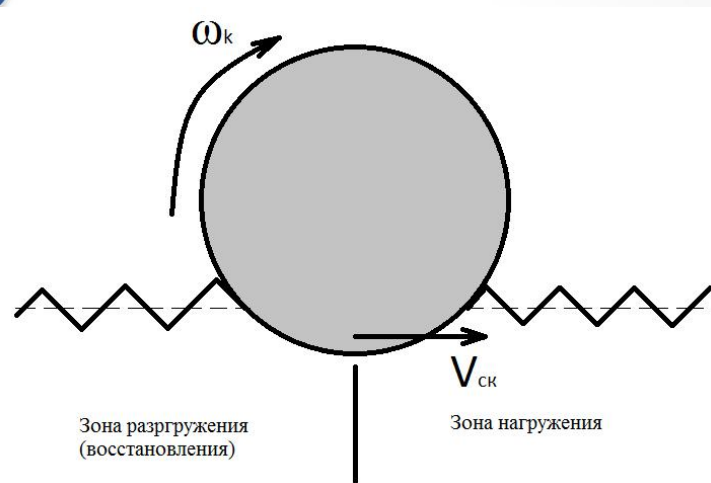
Количество импульсов
за оборот



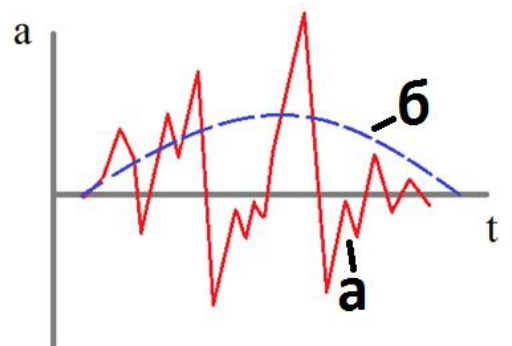
Гипотеза возникновения ударных импульсов



Модель системы с упругими связями.



Взаимодействие тела качения с микронеровностями

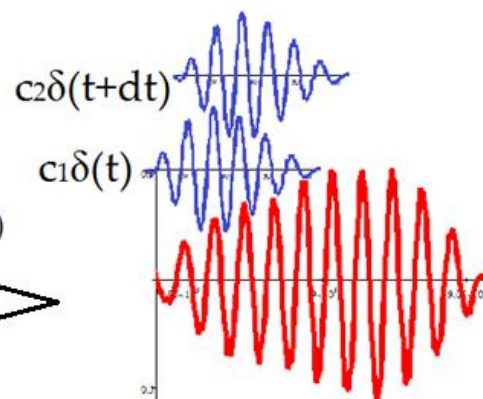
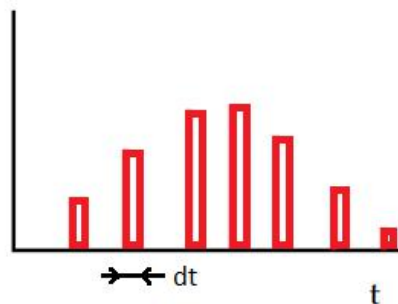
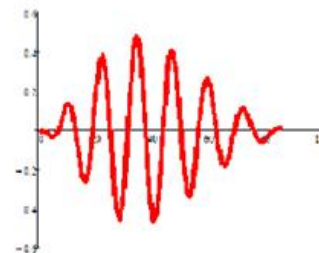
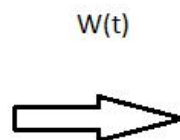


Предположительный характер импульса

Общая методика оценки ВХОДНОГО СИГНАЛА

$$Y(t) = X(0) \cdot h(t) + \int_0^t X(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau \quad (1)$$

$Y(t)$ – отклик системы,
 $h(t)$ – переходная функция,
 $X(t)$ – входной сигнал



Дискретное описание входного воздействия

Цели и задачи

Цель работы:

- Разработка методики нахождения параметров входного ударного воздействия на систему на основе анализа виброотклика системы

Задачи:

1. Накопление экспериментальных данных для подшипников различных типов и технических состояний
2. Получение аналитической модели системы измерительного тракта и расчет теоретической импульсной характеристики
3. Аппроксимация виброотклика системы и восстановление входного ударного воздействия

Экспериментальный стенд



Экспериментальный стенд

Экспериментальные данные

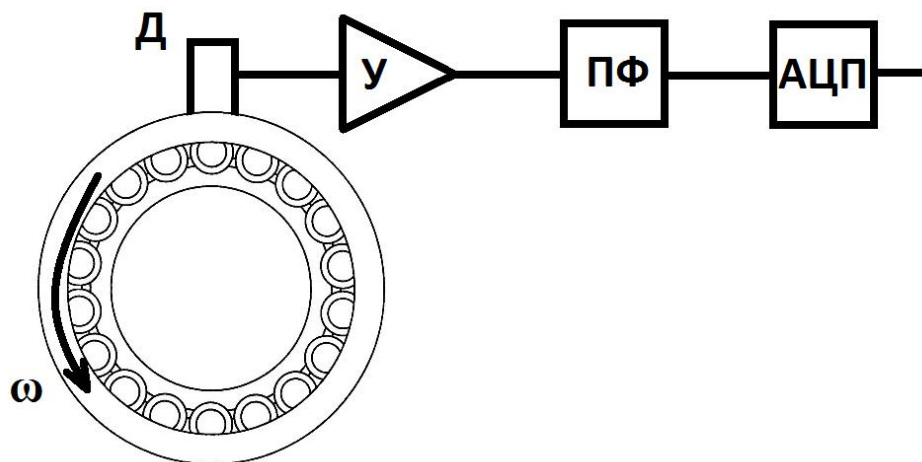
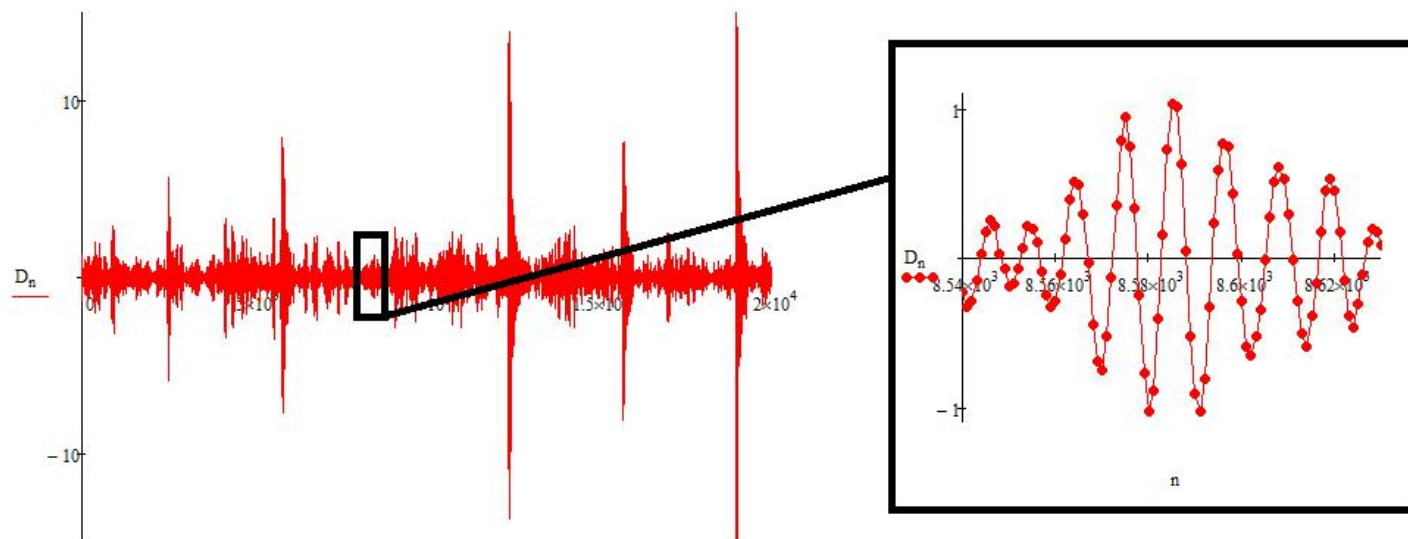
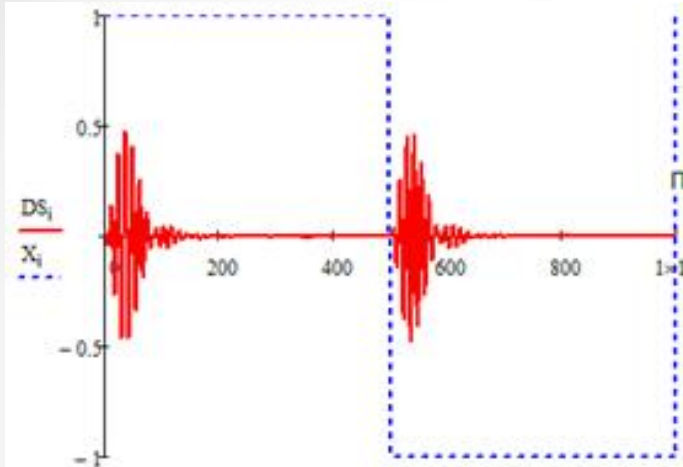


Схема измерений

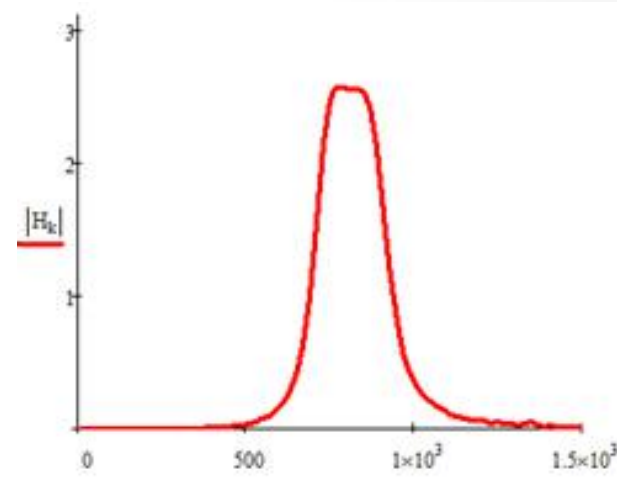


Дамп вибрации подшипник 203(несмазанный)

Алгоритм идентификации измерительного тракта



1. Проведение эксперимента с тестовым сигналом

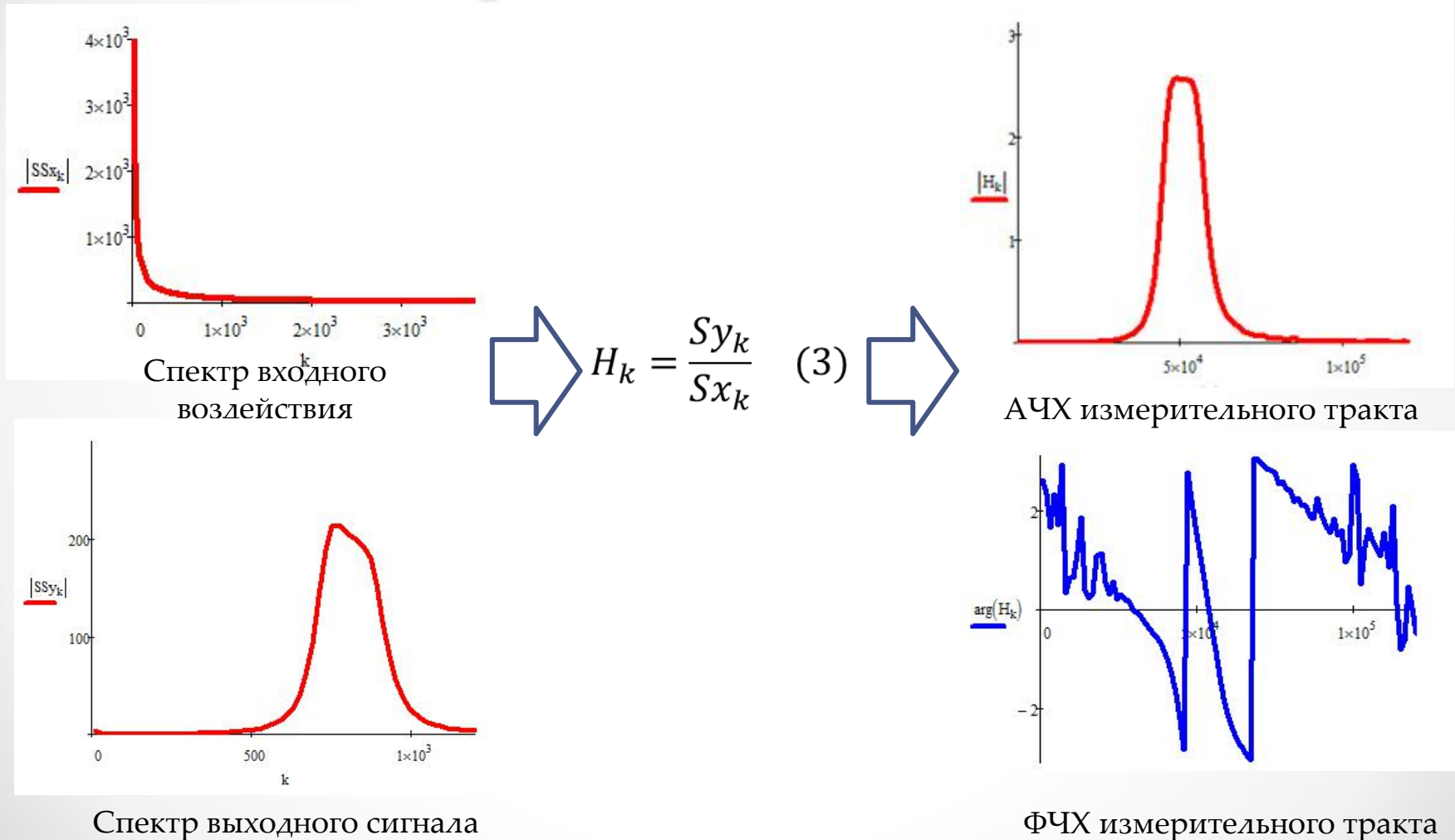


2. Получение АФЧХ

$$H(\omega) = \frac{\sum_{k=0}^6 a_k(j\omega)^k}{\sum_{i=0}^6 b_i(j\omega)^i} \quad (2)$$

3. Аппроксимация моделью

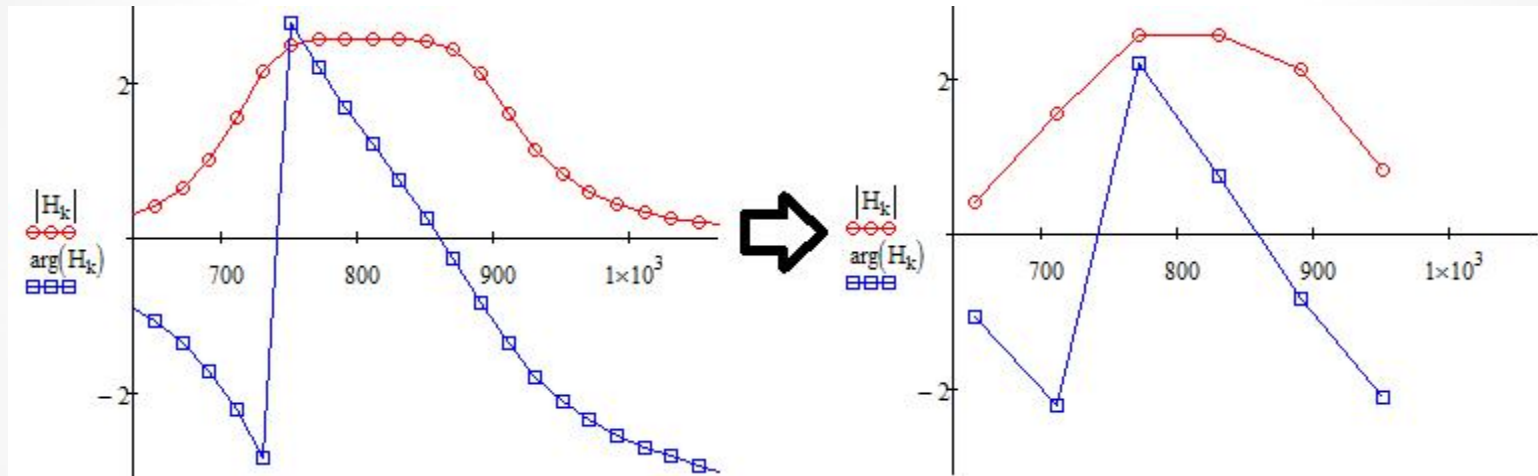
Получение частотных характеристик измерительного тракта



Определение коэффициентов модели

Модель в развернутом виде

$$H(w) = \frac{c_0 \cdot j \cdot w + c_1 \cdot (j \cdot w)^2 + c_2 \cdot (j \cdot w)^3 + c_3 \cdot (j \cdot w)^4 + c_4 \cdot (j \cdot w)^5 + c_5 \cdot (j \cdot w)^6}{1 + c_6 \cdot j \cdot w + c_7 \cdot (j \cdot w)^2 + c_8 \cdot (j \cdot w)^3 + c_9 \cdot (j \cdot w)^4 + c_{10} \cdot (j \cdot w)^5 + c_{11} \cdot (j \cdot w)^6}$$



Выбор точек коллокации

Решаемая система уравнений

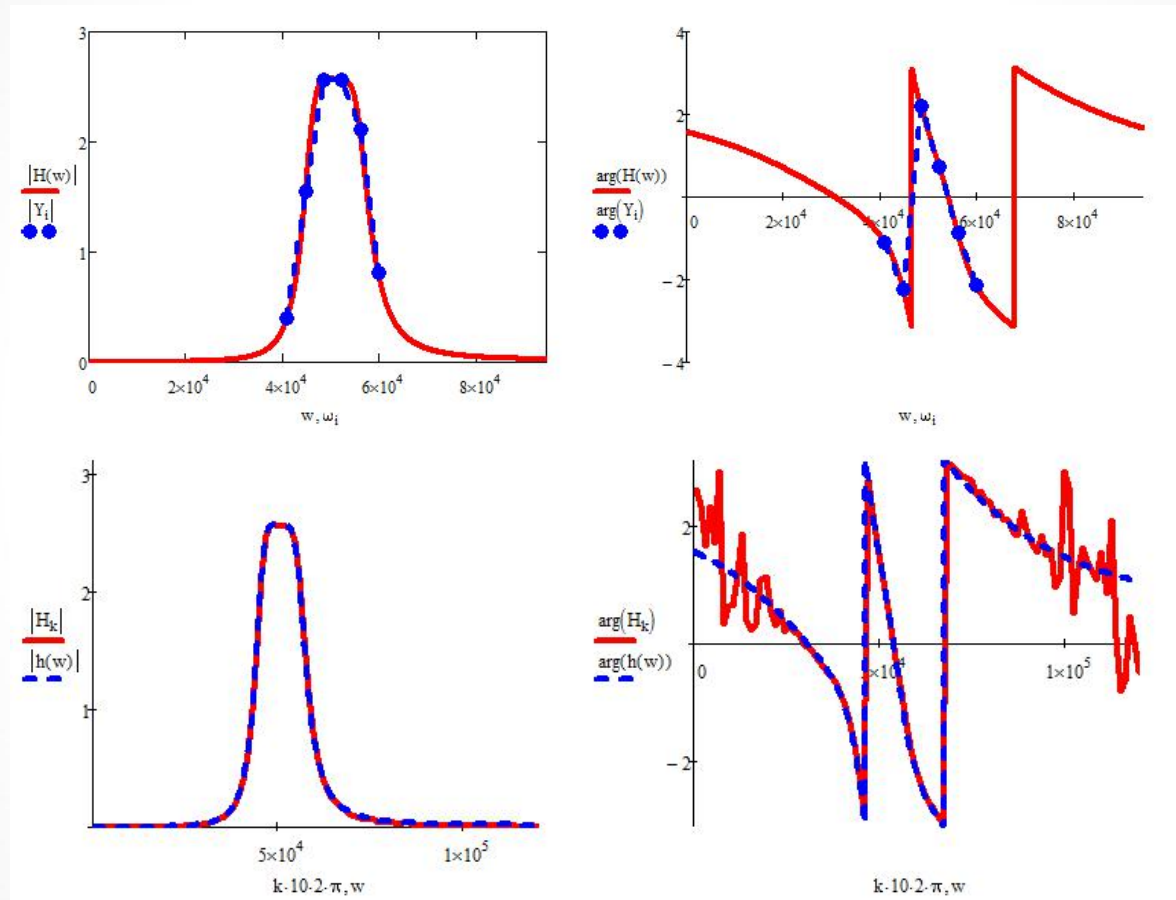
$$\begin{cases} \operatorname{Re}(h(w_i)) = \operatorname{Re}(H(w_i)) \\ \operatorname{Im}(h(w_i)) = \operatorname{Im}(H(w_i)) \end{cases}$$

$$i = 0..5$$

Значения
коэффициентов $c =$
модели

$$\begin{pmatrix} 1.290476 \cdot 10^{-7} \\ -2.911322 \cdot 10^{-12} \\ -4.368069 \cdot 10^{-17} \\ 5.988464 \cdot 10^{-21} \\ -5.856382 \cdot 10^{-26} \\ 8.693723 \cdot 10^{-31} \\ 0.000009 \\ 1.219754 \cdot 10^{-9} \\ 7.535155 \cdot 10^{-15} \\ 4.482664 \cdot 10^{-19} \\ 1.455119 \cdot 10^{-24} \\ 6.029075 \cdot 10^{-29} \end{pmatrix}$$

Аналитическая модель



Результаты подбора коэффициентов

Расчет импульсной характеристики

- Дифференциальное уравнение измерительного тракта:

$$\sum_{i=0}^6 b_i Y^{(i)} = \sum_{k=0}^6 a_k X^{(k)}$$

- Решение в виде

$$y(t) = (A_0 \cos(\lambda_1 t) + A_1 \sin(\lambda_1 t))e^{-\gamma_1 t} + (A_2 \cos(\lambda_2 t) + A_4 \sin(\lambda_2 t))e^{-\gamma_2 t} + (A_4 \cos(\lambda_3 t) + A_5 \sin(\lambda_3 t))e^{-\gamma_3 t}$$

Где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ -мнимые и $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ - действительные части комплексно сопряженных корней характеристического уравнения:

А коэффициенты $A_0, \dots, A_5$ находятся из начальных условий.

Импульсная характеристика

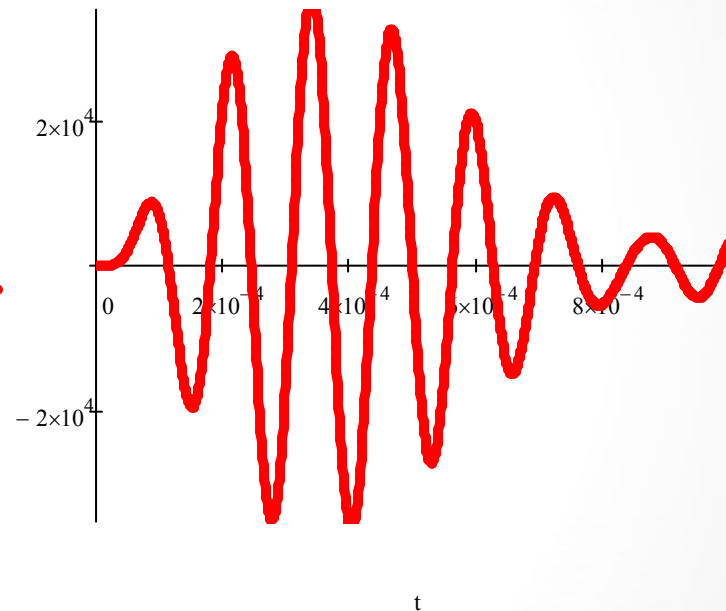
Корни характеристического уравнения

$$P = \begin{pmatrix} -6.019 \cdot 10^3 \mp 4.999i \cdot 10^4 \\ -3.247 \cdot 10^3 \mp 5.572i \cdot 10^4 \\ -2.801 \cdot 10^3 \mp 4.574i \cdot 10^4 \end{pmatrix}$$

Весовые коэффициенты

$$A = \begin{pmatrix} 24455.5 \\ -92930.7 \\ 18015.5 \\ 39518.1 \\ -42471.0 \\ 55321.1 \end{pmatrix}$$

$y(t)$



Импульсная характеристика
измерительного тракта

Оценка параметров ударного воздействия

Аппроксимирующая функция

$$\hat{Y}_n = \sum_{i=0}^{N_c=N_a} X_i \cdot h_{n-i}$$

Функция невязки

$$R(\{c_i\}) = \sum_{n=0}^{N_a} (Y_n - \hat{Y}_n)^2 = \sum_{n=0}^{N_a} \left(Y_n - \sum_{i=0}^{N_c=N_a} c_i \cdot h_{n-i} \right)^2 \rightarrow \min$$

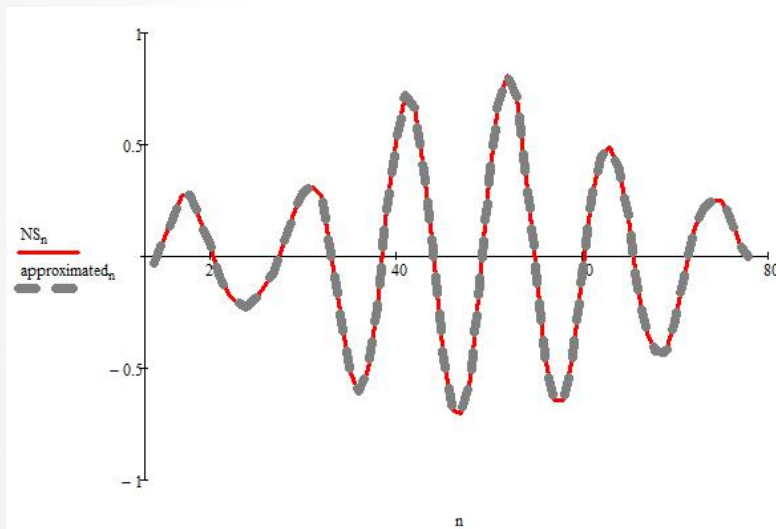
Система алгебраических уравнений

$$\frac{\partial R}{\partial c_k} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dR}{dc_1} = \sum_{n=0}^{N_a} \left(Y_n - \sum_{i=0}^{N_c=N_a} c_i \cdot h_{n-i} \right) \cdot h_{n-1} = 0 \\ \frac{dR}{dc_2} = \sum_{n=0}^{N_a} \left(Y_n - \sum_{i=0}^{N_c=N_a} c_n \cdot h_{n-i} \right) \cdot h_{n-2} = 0 \\ \dots \\ \frac{dR}{dc_k} = \sum_{n=0}^{N_a} \left(Y_i - \sum_{n=0}^{N_c=N_a} c_n \cdot h_{i-n} \right) \cdot h_{i-k} = 0 \\ \dots \\ \frac{dR}{dc_{N_c}} = \sum_{n=0}^{N_a} \left(Y_i - \sum_{n=0}^{N_c=N_a} c_n \cdot h_{i-n} \right) \cdot h_{i-N_c} = 0 \end{array} \right.$$

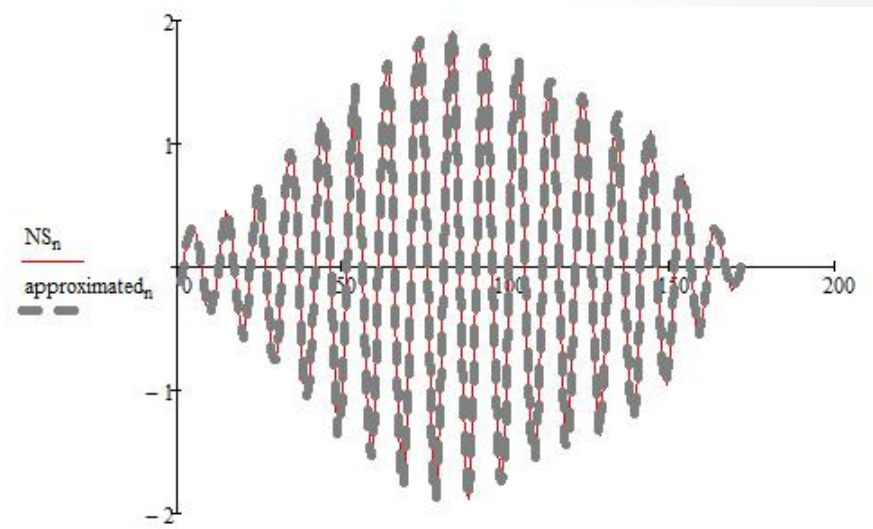
Результаты аппроксимации

Система в матричном виде

$$K \cdot c = Y$$
$$K_{i,k} = \sum_{n=0}^{N_a} (h_{n-i} \cdot h_{n-k}) \quad Y_k = \sum_{n=0}^{N_a} Y_n \cdot h_{n-k}$$



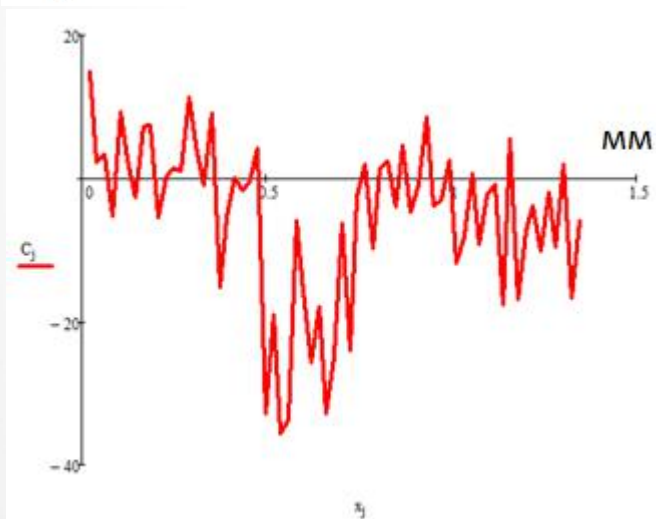
Несмазанный



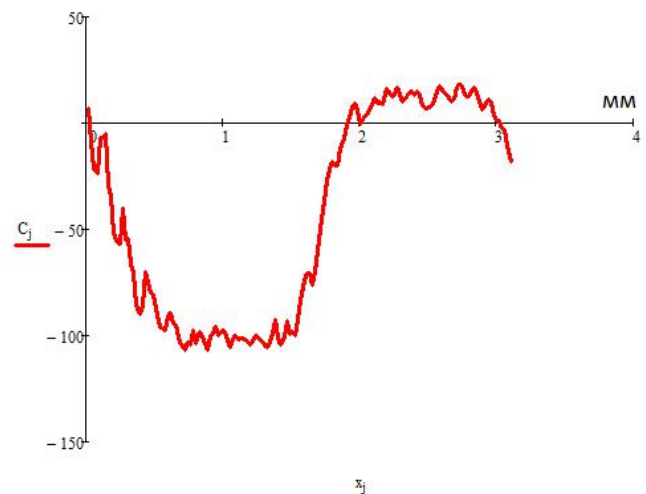
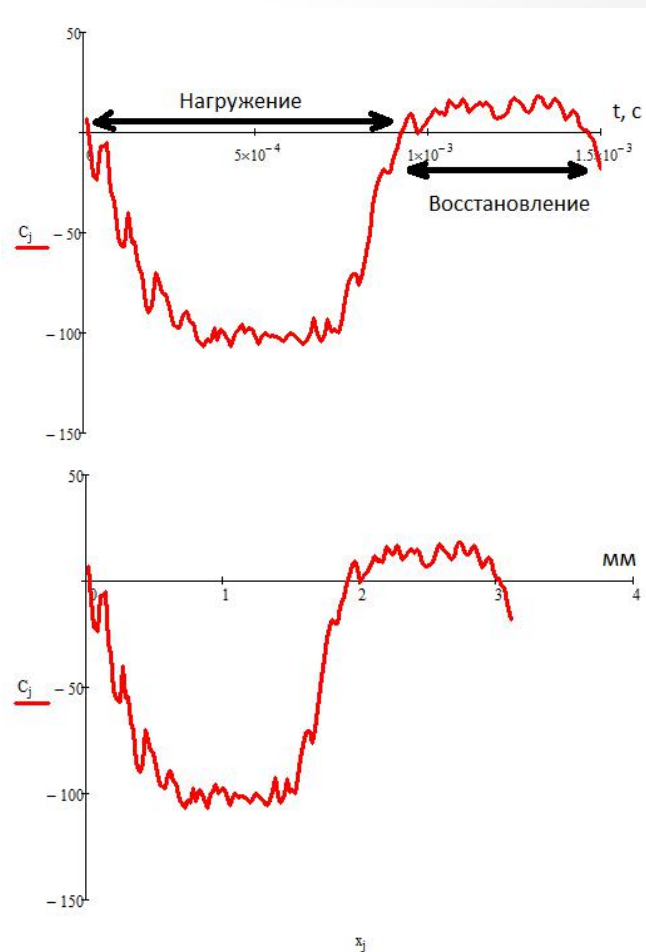
Смазанный

Аппроксимированный отклик системы

Восстановленные воздействия



Несмазанный



Смазанный

Заключение

- Проведены экспериментальные исследования вибрации подшипников качения различной степени износа и качества смазки.
- Идентифицирована модель измерительного тракта.
- Разработана методика оценки длительности и формы ударного воздействия
- Перспектива использования характеристики длительности и формы ударного воздействия в качестве диагностического признака