

Федеральное агентство по образованию РФ
Ивановский государственный энергетический университет
Кафедра теоретической и прикладной механики

Дипломный проект

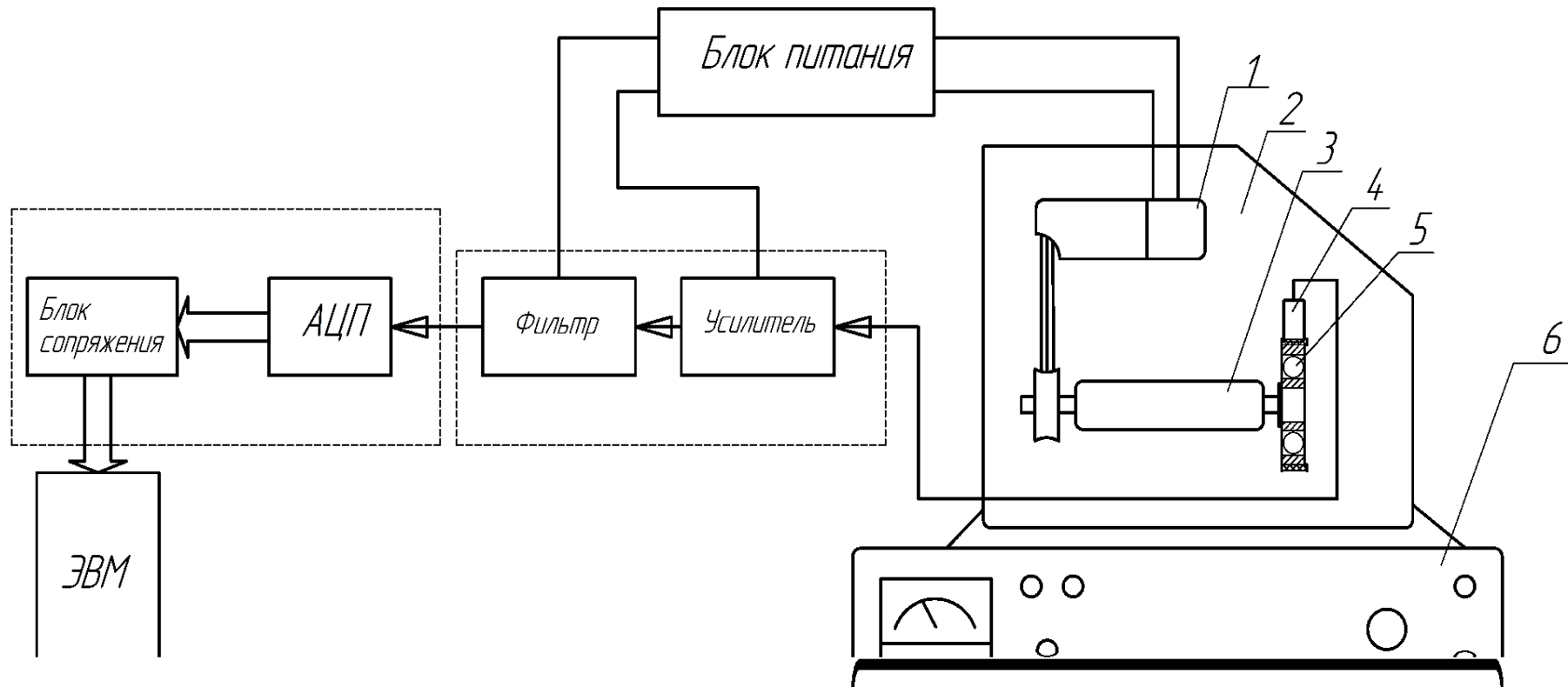
**«Диагностика подшипников качения по результатам анализа
высокочастотной вибрации».**

Проектировал: Новожилов В. А.
Научный руководитель: Огурцов Ф. Б.

Иваново 2009

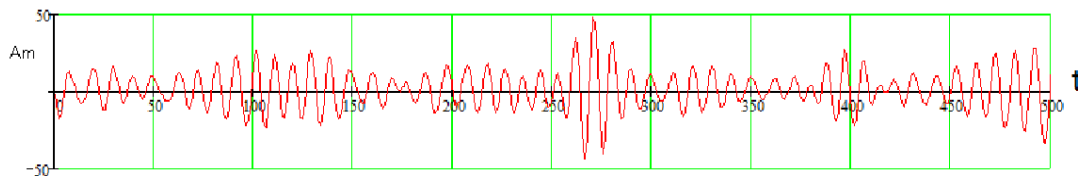
Функциональная схема стенда

- 1. Электродвигатель
- 2. Подвижное основание
- 3. Подшипниковый узел
- 4. Высокочастотный датчик вибрации
- 5. Испытуемый подшипник
- 6. Основание и блок управления

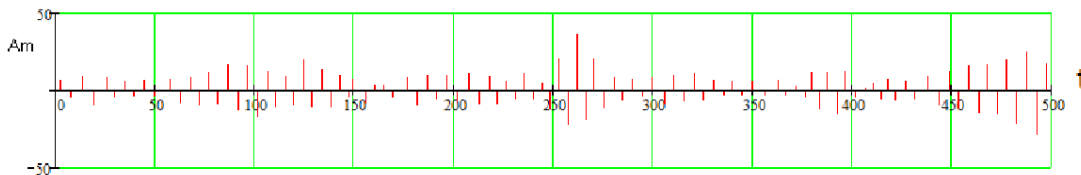


Алгоритм выделения ударных импульсов

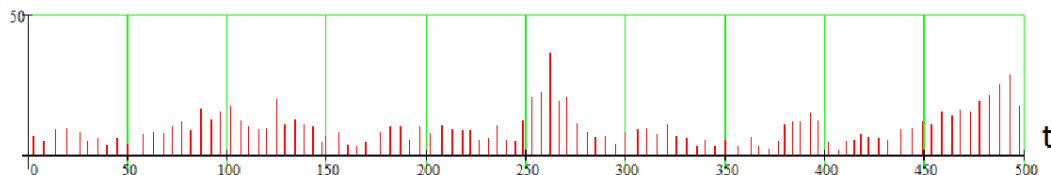
График реального процесса



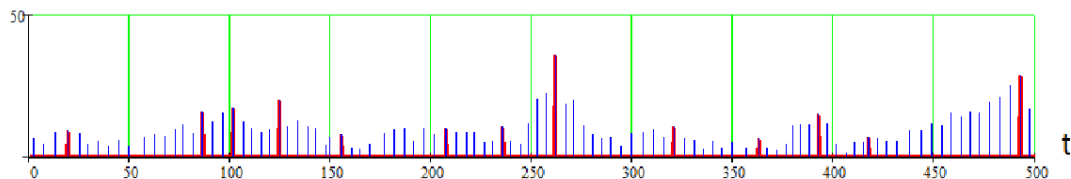
Массив средних значений



Выпрямленный массив средних значений



Массив локальных максимумов



Условие выделения локальных максимумов

$$px := \begin{cases} \text{for } r \in 1..n \\ \left| \begin{array}{l} P_r \leftarrow pp_r \text{ if } pp_r > pp_{r-1} \wedge pp_r > pp_{r+2} \wedge \\ \quad \quad \quad pp_r > pp_{r-2} \wedge pp_r > pp_{r+1} \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right. \\ P \end{cases}$$

Алгоритм математической обработки результатов

Базовая модель плотности распределения вероятности

$$P(t) := a \cdot t^b \cdot e^{c \cdot t^d}$$

Критерий определения параметров модели

$$\sum_{t=1}^n \left(\text{Hist}_t - P(t, a, b, c, d) \right)^2 = \min$$

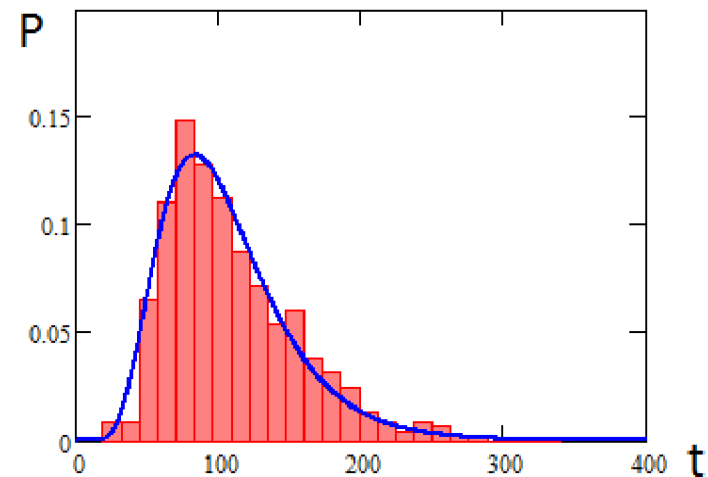
$$\sum_{t=1}^n \left[\left(\text{Hist}_t - P(t, a, b, c, d) \right)^2 \cdot \left(t^b \cdot e^{c \cdot t^d} \right) \right] = 0$$

$$\sum_{t=1}^n \left[\left(\text{Hist}_t - P(t, a, b, c, d) \right)^2 \cdot \left(a \cdot t^b \cdot \ln(t) \cdot e^{c \cdot t^d} \right) \right] = 0$$

$$\sum_{t=1}^n \left[\left(\text{Hist}_t - P(t, a, b, c, d) \right)^2 \cdot \left(a \cdot t^b \cdot t^d \cdot e^{c \cdot t^d} \right) \right] = 0$$

$$\sum_{t=1}^n \left[\left(\text{Hist}_t - P(t, a, b, c, d) \right)^2 \cdot \left(a \cdot t^b \cdot c \cdot t^d \cdot \ln(t) \cdot e^{c \cdot t^d} \right) \right] = 0$$

Пример гистограммы и соответствующего ей графика плотности распределения вероятности



Значения параметров модели

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.004 \times 10^{-9} \\ 21.39 \\ -22.123 \\ 0.279 \end{pmatrix}$$

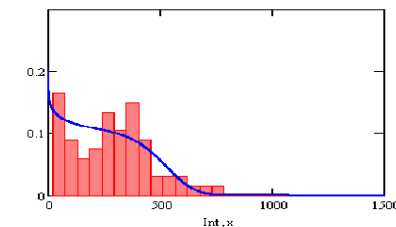
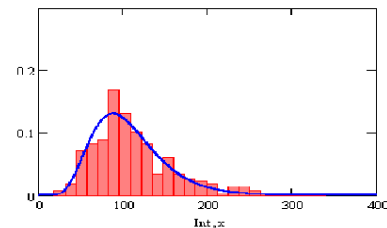
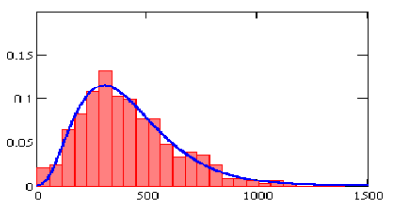
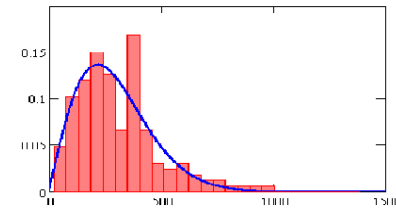
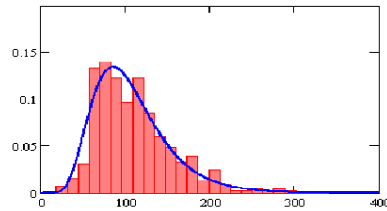
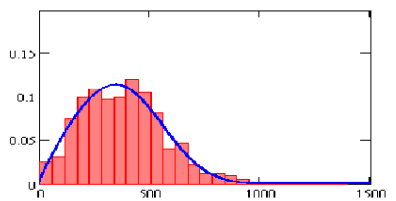
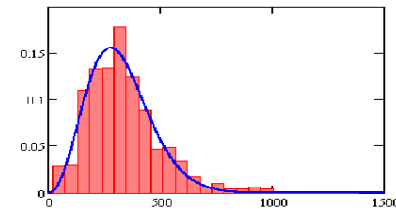
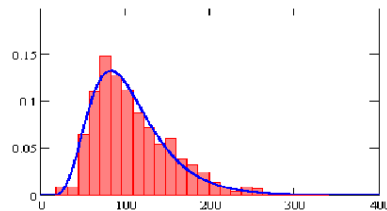
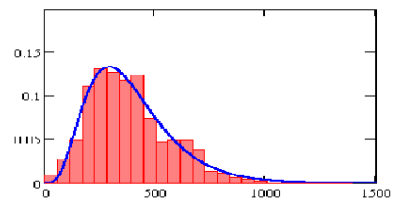
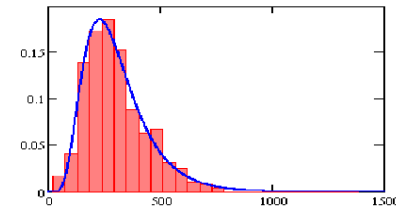
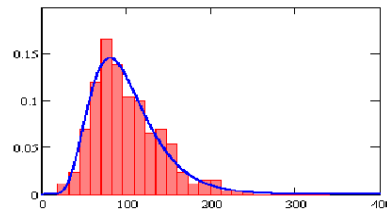
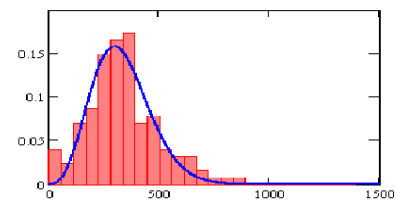
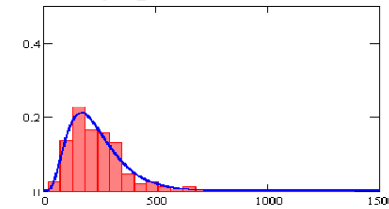
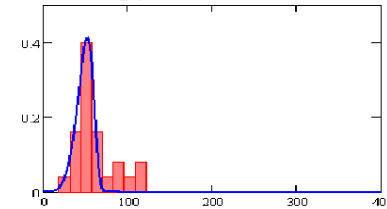
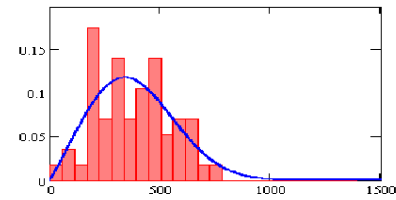
Плотность распределения вероятности времени появления ударных импульсов

Уровни ударных импульсов $0 - 0,5\text{MAX}$

Подшипник с дефектом
на наружном кольце

Подшипник с дефектом
на внутреннем кольце

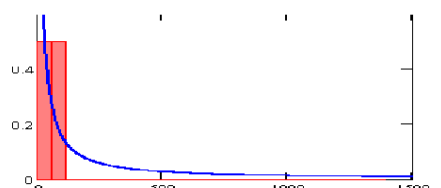
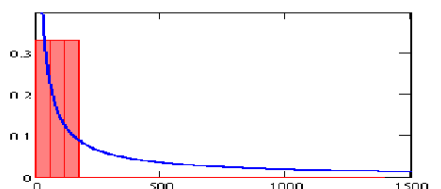
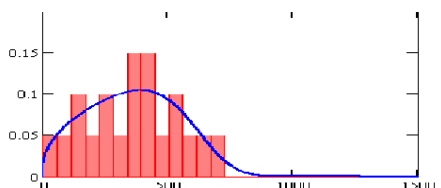
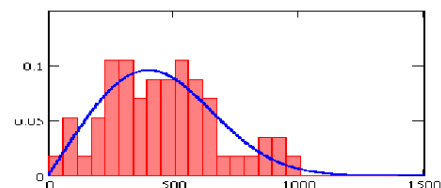
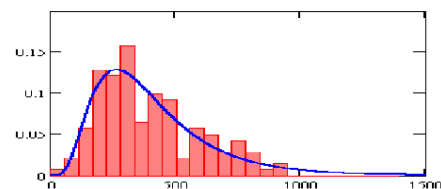
Бездефектный подшипник



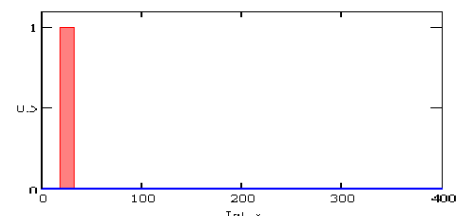
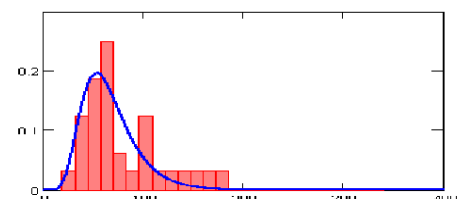
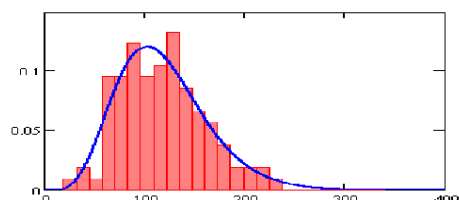
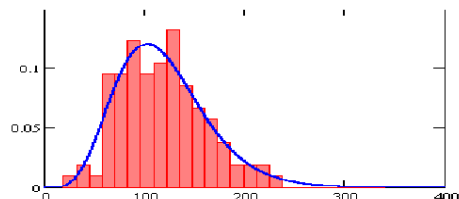
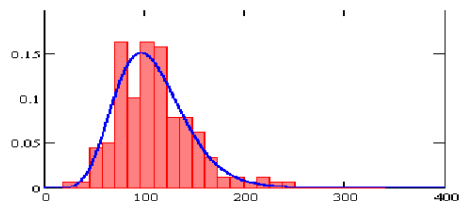
Плотность распределения вероятности времени появления ударных импульсов

Уровни ударных импульсов $0,6MAX - MAX$

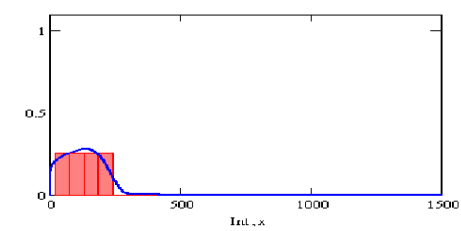
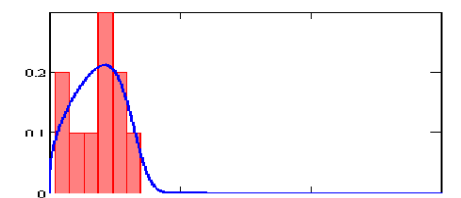
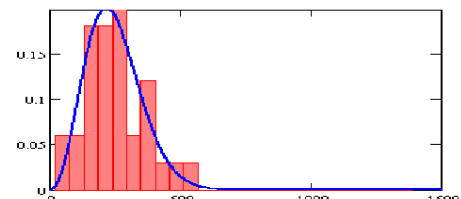
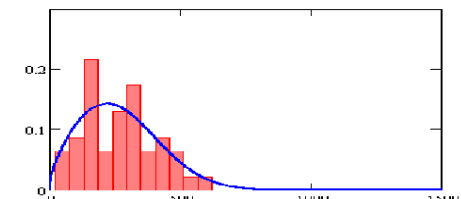
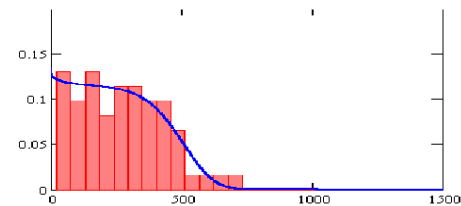
Бездефектный подшипник



Подшипник с дефектом
на наружном кольце



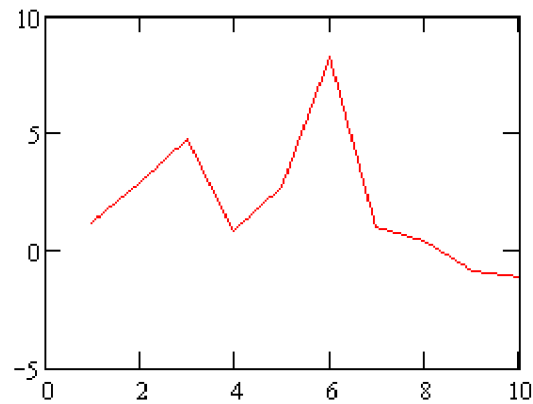
Подшипник с дефектом
на внутреннем кольце



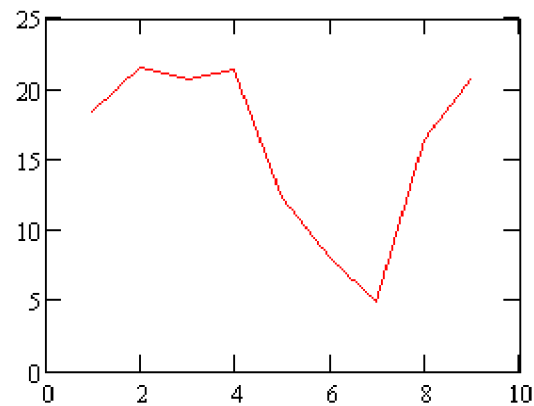
Результаты регрессионного анализа

Зависимости коэффициента b от амплитуды

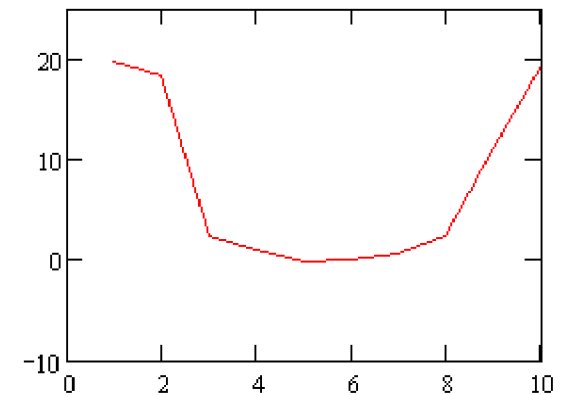
Бездефектный подшипник



Подшипник с дефектом на наружном кольце

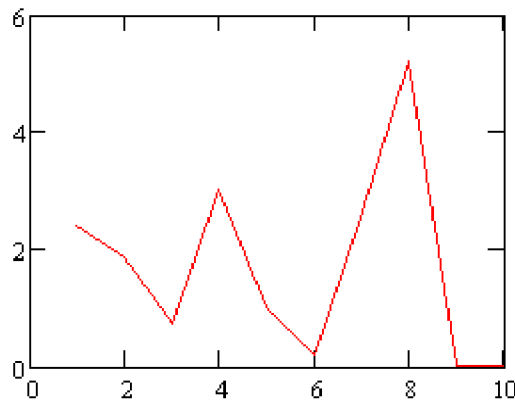


Подшипник с дефектом на внутреннем кольце

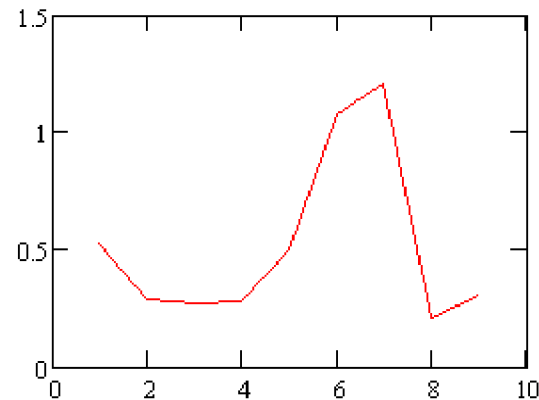


Зависимости коэффициента d от амплитуды

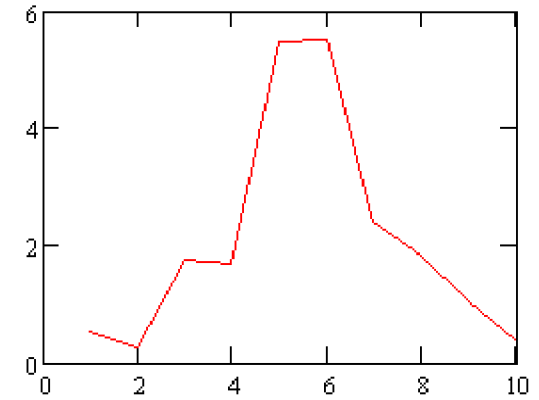
Бездефектный подшипник



Подшипник с дефектом на наружном кольце



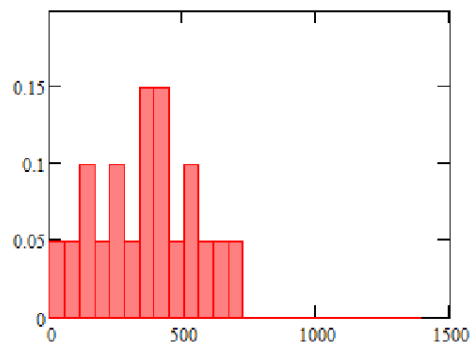
Подшипник с дефектом на внутреннем кольце



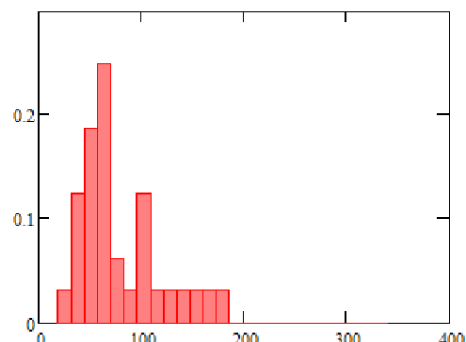
Разработка критерия диагностики

Гистограммы плотности распределения вероятности времени появления ударных импульсов по уровню 0,8÷0,9 от максимума

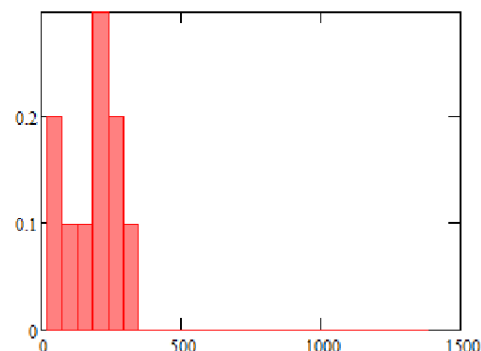
Бездефектный подшипник



Подшипник с дефектом на наружном кольце



Подшипник с дефектом на внутреннем кольце



Критерий согласия Пирсона

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^k \left[\frac{[(P_{\text{экспер}})_i - P_{\text{теор}}]^2}{P_{\text{теор}}} \right]$$

Значения χ^2 – критерия

Бездефектный подшипник

$$\chi^2 = \begin{pmatrix} 111 \\ 422 \\ 522 \\ 319 \\ 123 \\ 39 \\ 7 \\ 0 \end{pmatrix}$$

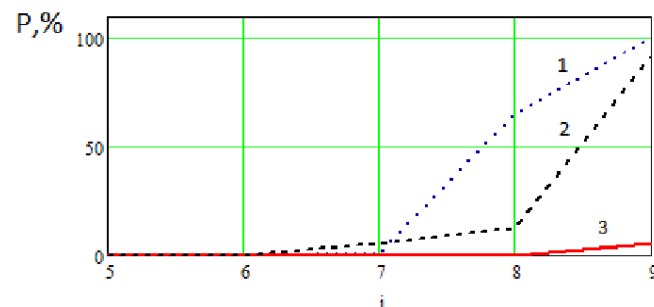
Подшипник с дефектом на наружном кольце

$$\chi^2 = \begin{pmatrix} 241 \\ 423 \\ 433 \\ 245 \\ 159 \\ 88 \\ 56 \\ 19 \end{pmatrix}$$

Подшипник с дефектом на внутреннем кольце

$$\chi^2 = \begin{pmatrix} 737 \\ 521 \\ 148 \\ 53 \\ 48 \\ 35 \\ 23 \\ 4 \end{pmatrix}$$

Графики вероятности непротиворечия



- 1 – бездефектный подшипник
- 2 – дефект на наружном кольце
- 3 – дефект на внутреннем кольце