



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский университет)  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Кафедра МТ-1

Лаборатория «виброакустических исследований»



**Разработка и исследование методов комплексной диагностики технологического оборудования в рамках программы повышения энергоэффективности и конкурентоспособности отечественного машиностроения и недопущения приобретения некачественного оборудования.**

к.т.н., доц. А. А. Молчанов

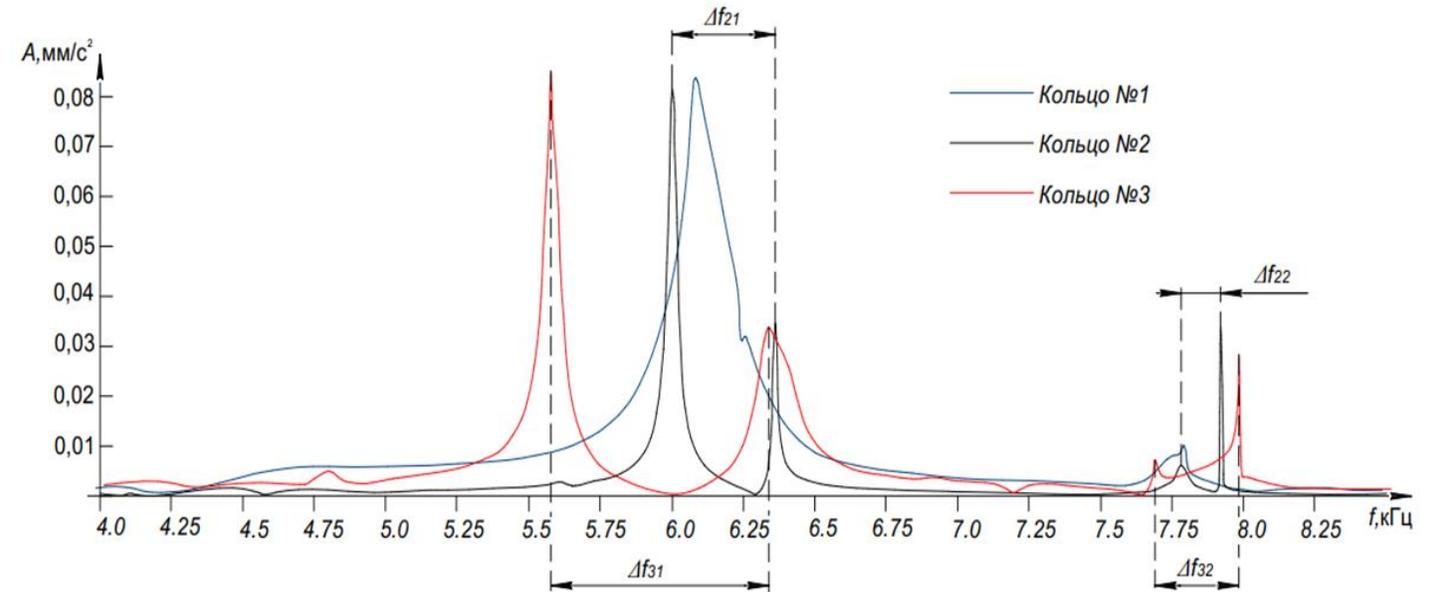
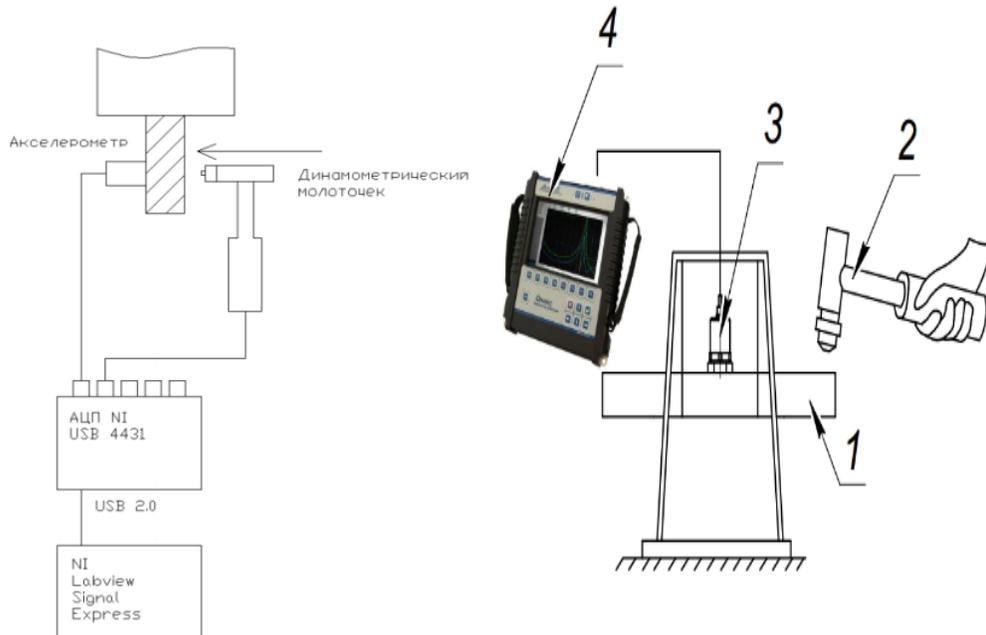
# Исследование методов диагностики состояния узлов и деталей станков



## Исследование динамического отклика Д.С.

Проводились три независимые серии экспериментов с использованием виброанализатора «Оникс»

## Схема проведения эксперимента



Сводный график спектров в диапазоне (4000;8500) Гц для ШУ 3-х типов

## Результаты:

Разность значений собственных частот формы колебаний для ШУ: с дефектом №1  $\Delta f_{21} = 357$  Гц, для второй формы колебаний  $\Delta f_{22} = 147$  Гц. Для кольца с дефектом №2 для первой формы колебаний составила  $\Delta f_{31} = 751$  Гц, для второй формы колебаний  $\Delta f_{32} = 242$  Гц.

## Моделирование ШУ 3-х типов с использованием программной среды SolidWorks

	<i>f1</i>	<i>f2</i>	<i>f3</i>	<i>f4</i>
<i>Кольцо №1</i>	6963,99	6965,43	7973,07	7974,87
<i>Кольцо №2</i>	6558,69	6941,00	7765,51	7896,61
	$\Delta f_{21}=382,31$		$\Delta f_{22}=131,10$	
<i>Кольцо №3</i>	6005,05	6929,89	7530,92	7859,46
	$\Delta f_{31}=924,84$		$\Delta f_{32}=328,54$	

	F1	F2	F3	F4
Кольцо без дефекта	6963,99	6965,43	7973,07	7974,87
Кольцо с трещиной №1	6558,69	6941,00	7765,51	7896,61
Кольцо с трещиной №2	6005,05	6929,89	7530,92	7859,46

Результаты моделирования ШУ  
3-х типов

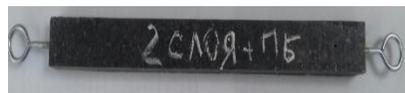
Результаты моделирования нагружения подшипниковых колец

## Модальная диагностика образцов материалов для изготовления узлов металлорежущих станков

Данное исследование представляет собой сравнительный анализ результатов динамических испытаний образцов изготовленных из некоторых альтернативных материалов, используемых для изготовления узлов металлорежущих станков с традиционными материалами.



Образец из чистого МПК



Образец из МПК с двумя слоями базальтового волокна



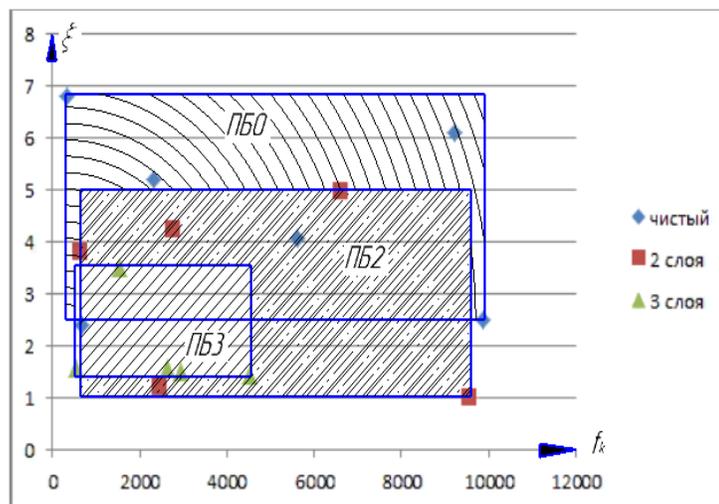
Образец из МПК с тремя слоями базальтового волокна



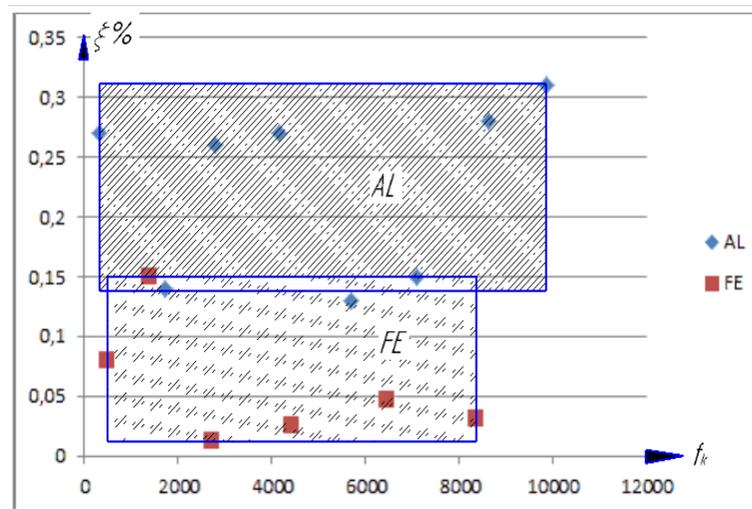
Образец из алюминия



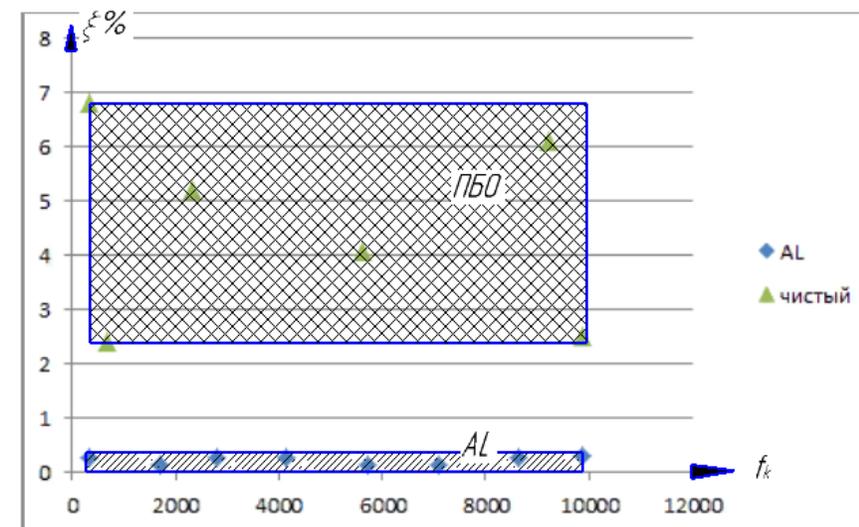
Образец из стали



Области D для образцов из нетрадиционных материалов: ПБ0, ПБ2, ПБ3



Области D для образцов из стандартных материалов: AL, FE

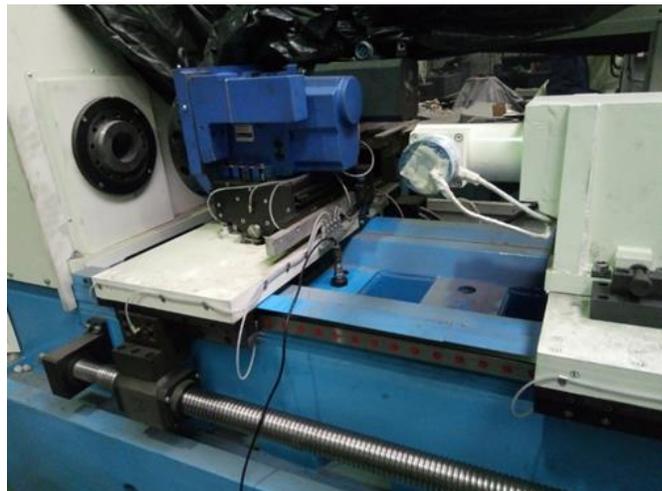


Области D для образцов из материалов: AL, ПБ0

# Модальная диагностика конструкций токарных станков со станинами из композиционных материалов



Общий вид станины



Акселерометр, установленный на станине станка

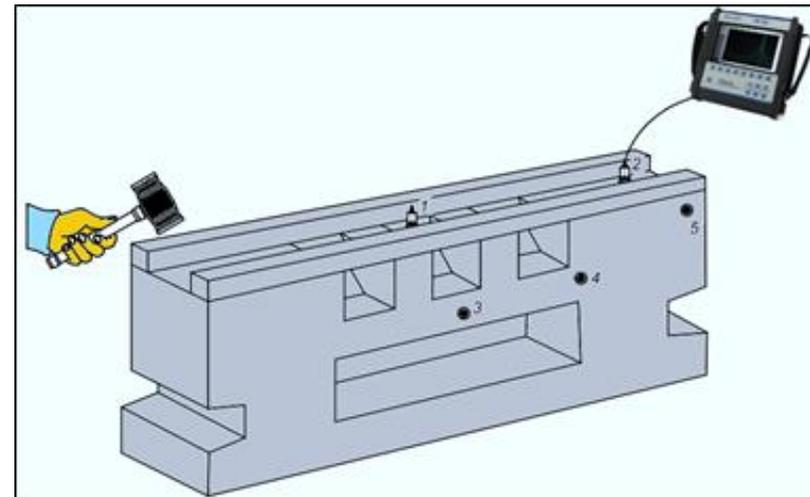
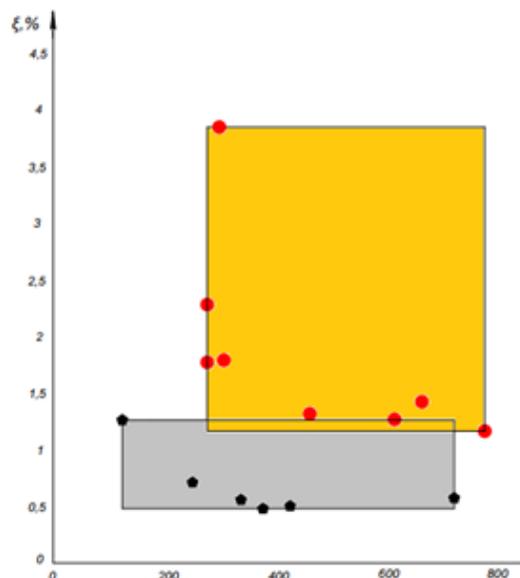


Схема проведения эксперимента



Результаты аппроксимации сигнала, снятого на станине токарного станка в сборе



Области  $D_{f,\xi}$  для чугунной и ферроцементной станин

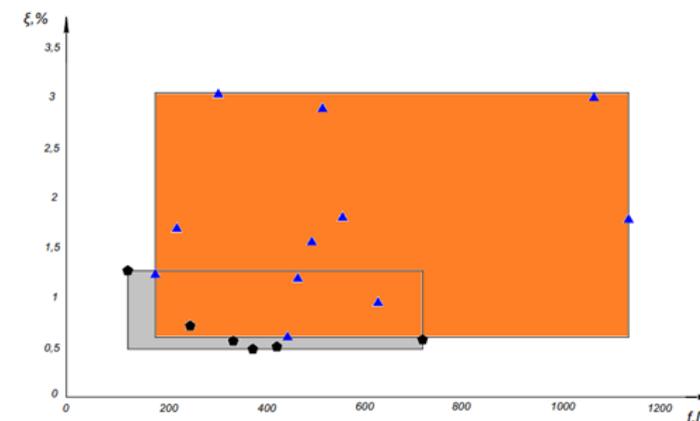


Диаграмма D для чугунной и металлобетонной станин

# Сравнительный анализ методов оценки собственных характеристик инструментальной оснастки

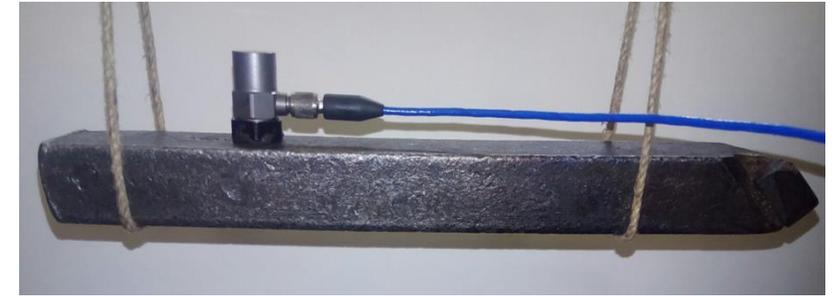
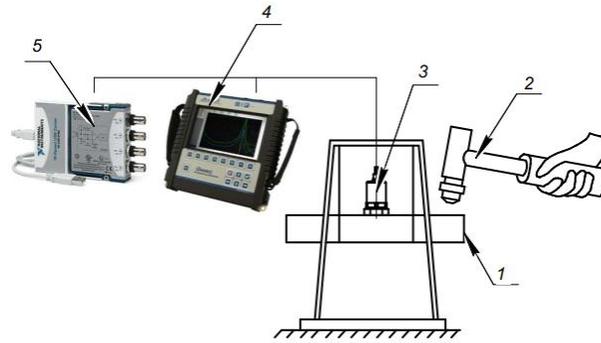
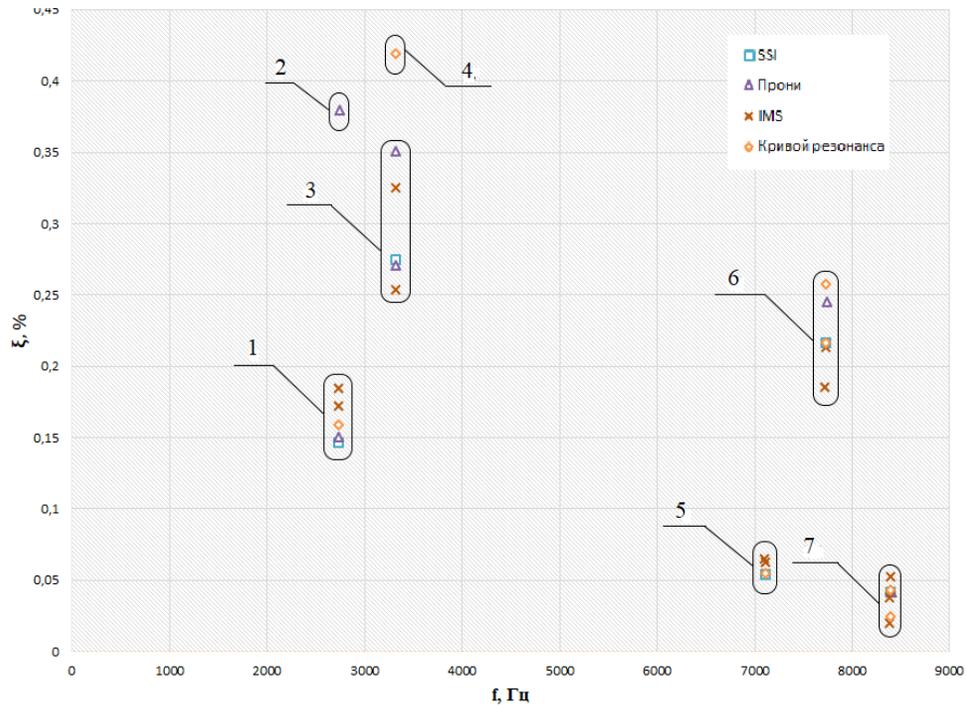
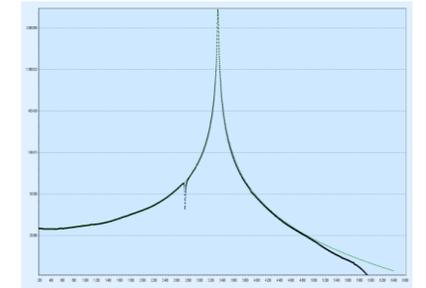
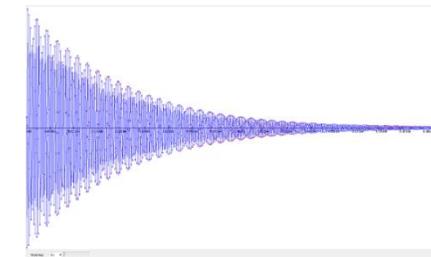
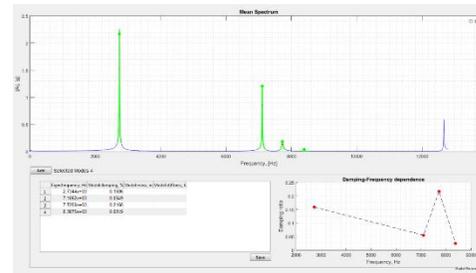
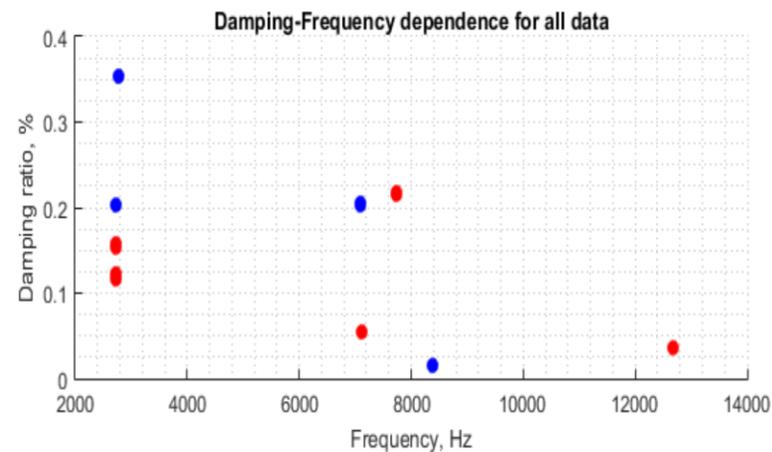


Схема проведения эксперимента



Итоговая диаграмма «частота-демпфирование» для 4-х методов

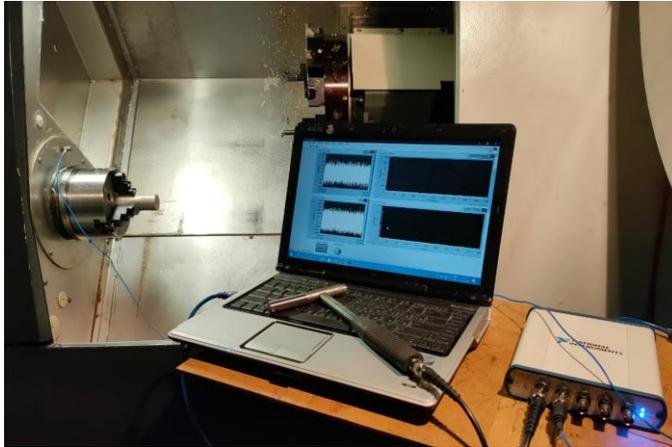
На диаграмме отмечены группы (1-7) оценок демпфирования полученные разными методами на одной из собственных частот. Результаты эксперимента показали: - собственные частоты и коэффициенты демпфирования носят глобальный характер, так как слабо зависят от условий проведения эксперимента; - аппаратные средства не оказали существенного влияния на разброс оценок, определяющее влияние на разброс оказывают следующие факторы: степень проявления моды и метод обработки данных.



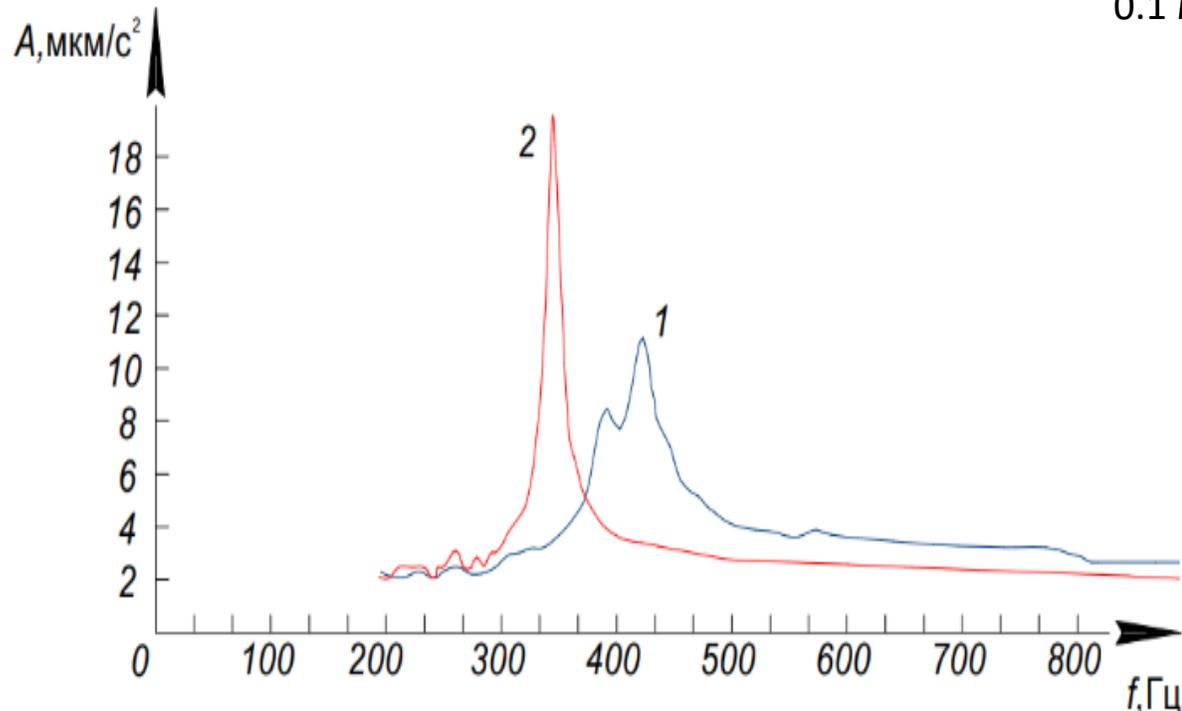
Амплитуда	Частота, Гц	Коэффициент демпфирования, %	Коэффициент демпфирования	Фаза, рад
130.450405002013	3319	0.2712	-56.557	2.3255
113.823438938785	3322.9	0.35084	-73.25	0.41915
1.53349955339762	2745.2	0.37929	-65.421	-3.0929

Параметр \ Мода	1
Собственная частота, Гц	3315.74
Модальный коэф. влияния	23.1622
Модальный коэф. демф.	0.25388

## Диагностика ШУ токарного станка



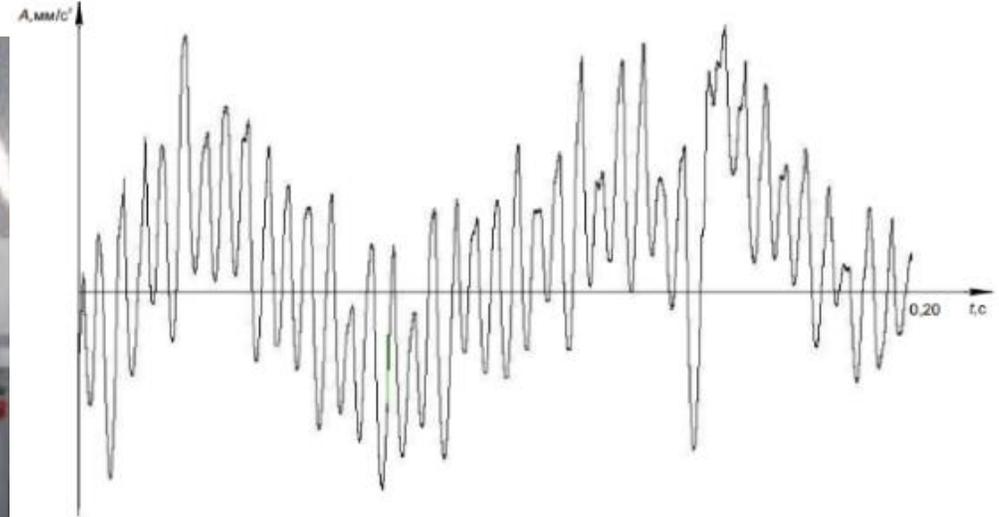
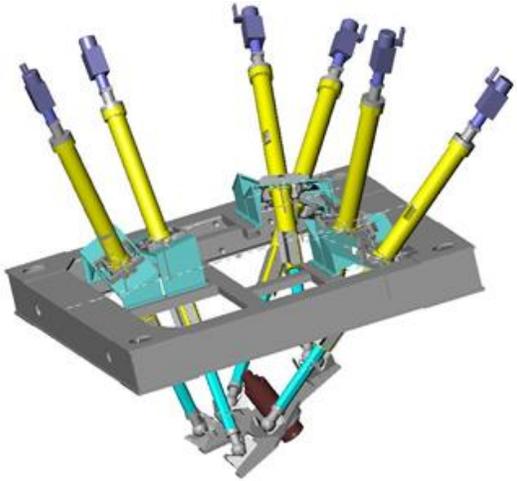
Запись временного сигнала на корпусе шпинделя станка с неустойчивым процессом резания в процессе обработки канавки с подачей 0.1 мм/об



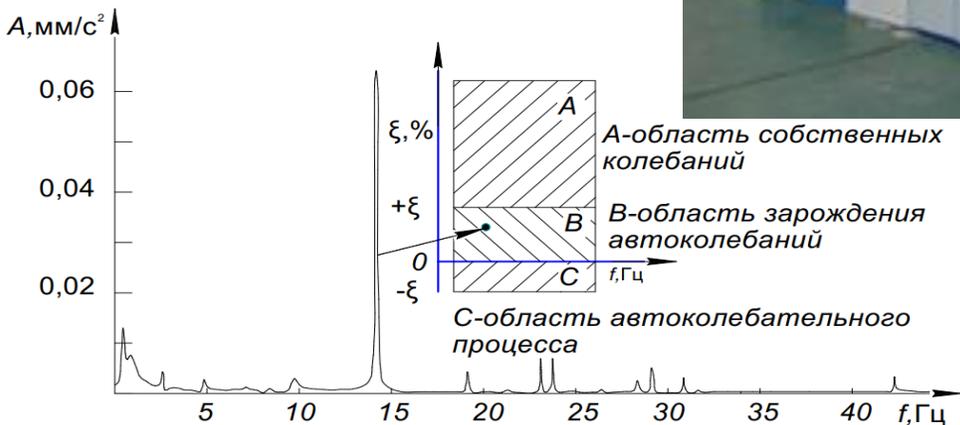
На спектре для станка 1 наблюдается «расщепление пика» (бимодальный пик), с близкими значениями модальных коэффициентов демпфирования. Этот частотный диапазон характерен для шпиндельных узлов, но наличие близких собственных частот достаточно редкий случай, который объясняется серьезной анизотропией жесткости передней опоры – **овальностью**.

# Диагностика ПР. Анализ возможности использования параметрического спектрального анализа для идентификации режима автоколебаний в станках

В качестве примера использования возможностей ПСА для идентификации режима автоколебаний в станках был выбран нестационарный процесс снятый во время натурных исследований станка - гексапода «Гексамех-1»



Колебательный процесс, «снятый» на станке «Гексамех-1»



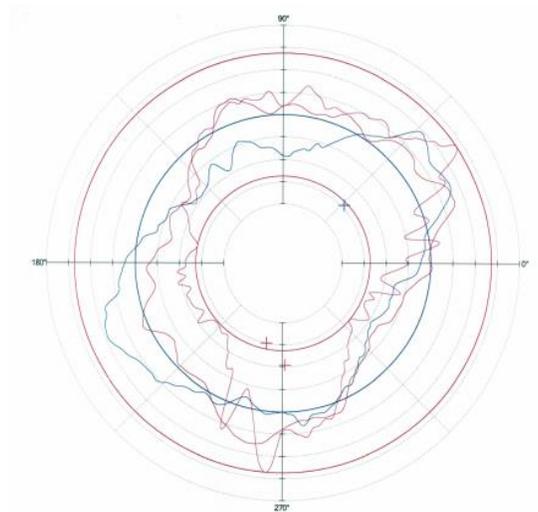
Спектр Прони – Фурье, полученный в результате обработки экспериментального сигнала

Во время обработки наблюдался повышенный шум и вибрация, шероховатость обработанной поверхности повышенная, что говорит о переходе станка в автоколебательный режим работы. Из представленных результатов видно, частота колебаний составляет 14,32 Гц и находится близко к 1-й собственной частоте НС станка (15 Гц). Эта мода имеет коэффициент демпфирования, стремящийся к 0 (0,016), что говорит о переходе системы в автоколебательный режим.

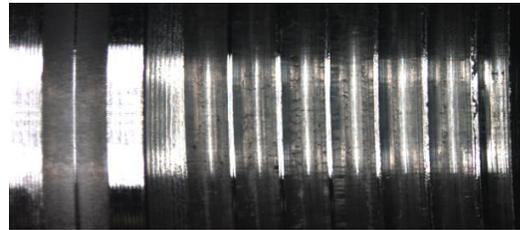
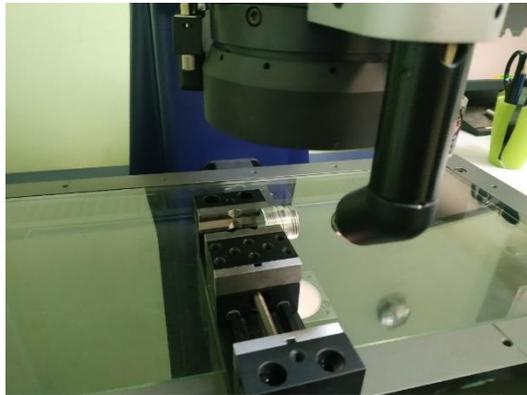
# РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ МОДЕЛИ DOOSAN S280N



Контурограф Contracer CV-4500 Mitutoyo



Семейство круглограмм наружной поверхности резьбы



Фрагмент  
резьбовой  
поверхности втулки



Фрагмент поверхности витка

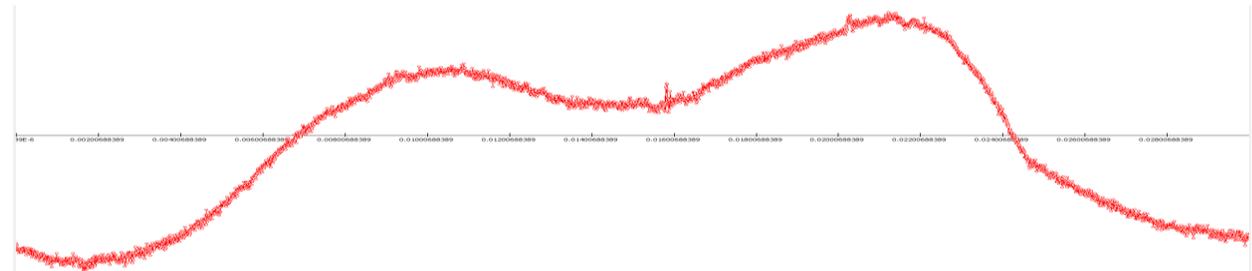
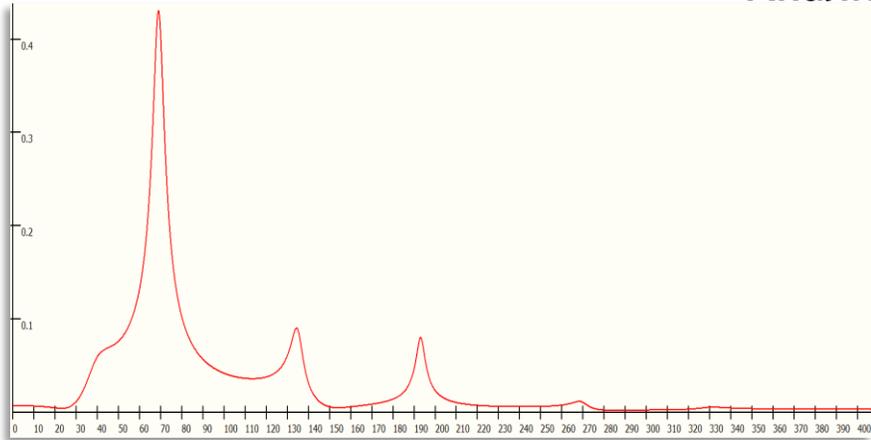
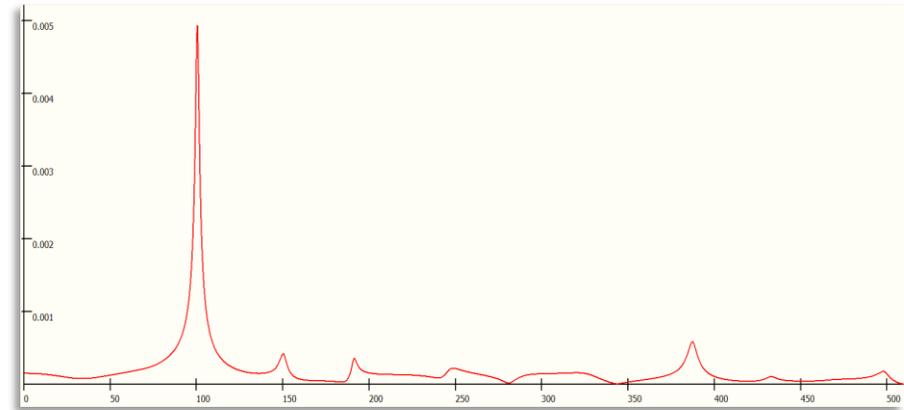


График зависимости радиуса вектора от времени, т.е.  $\Delta r = f(t)$ .

## Анализ результатов испытаний



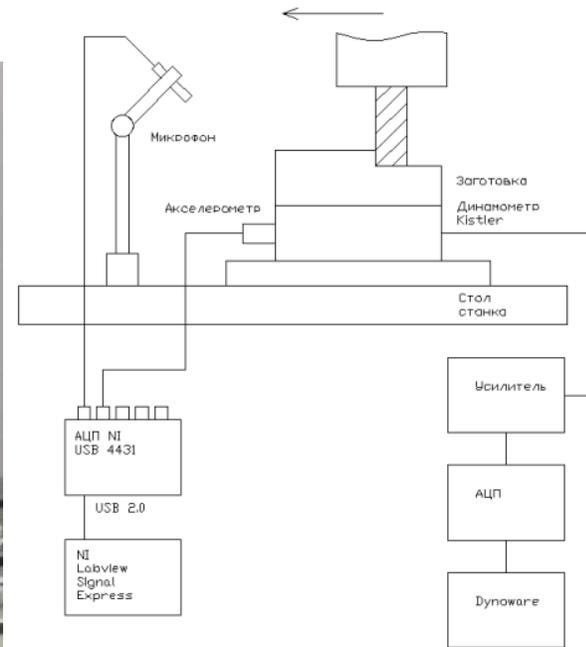
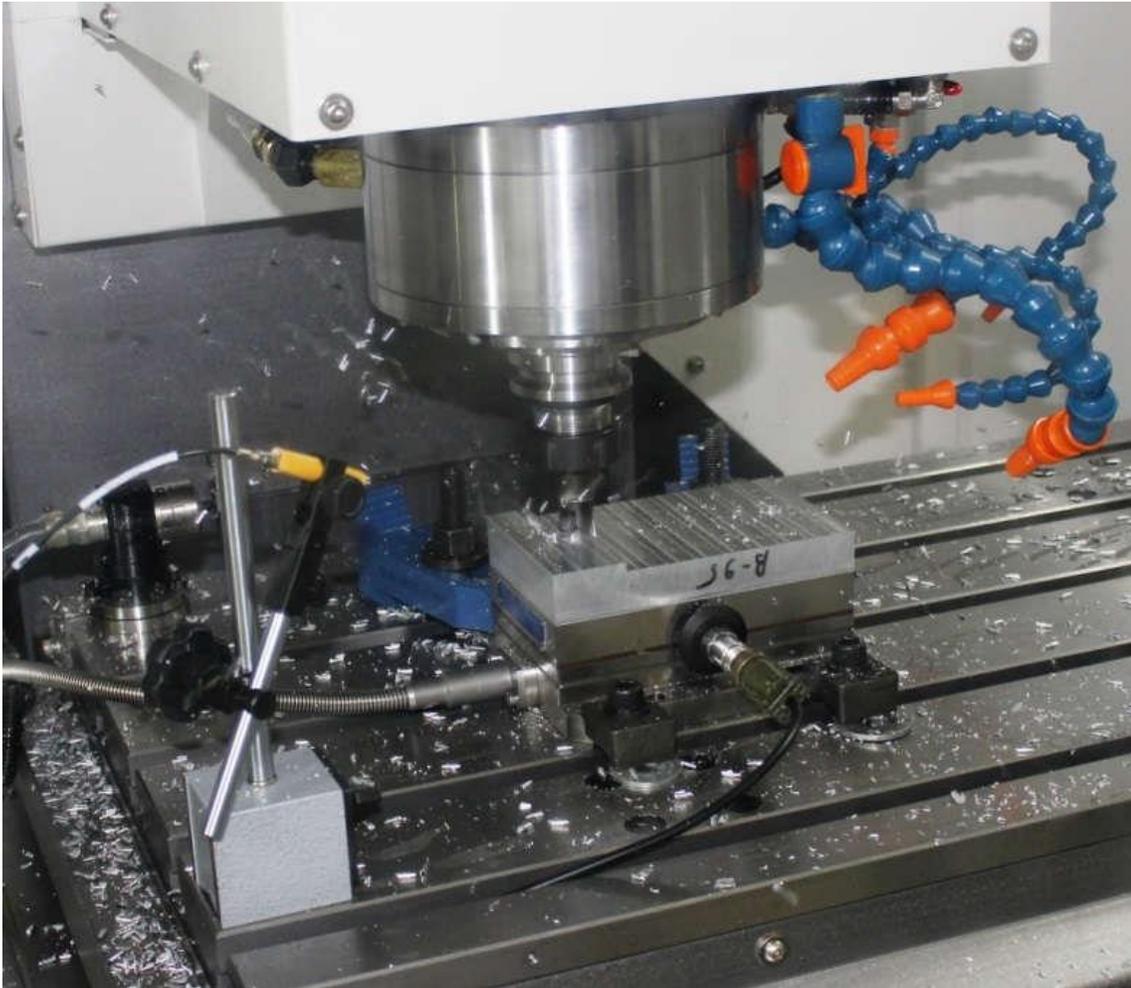
Спектр круглограммы



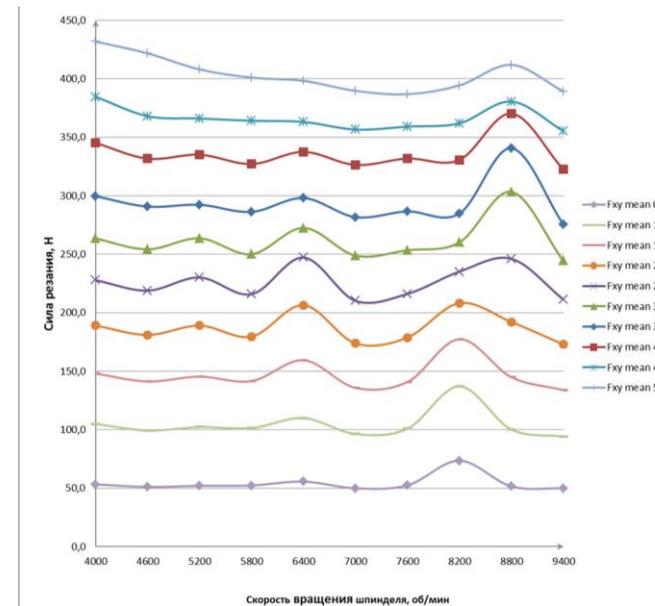
Спектр колебаний холостого хода на частоте вращения 3000 об/мин

1. Некруглость цилиндрической поверхности под резьбу однозначно обусловлена состоянием шпиндельного узла.
2. Повышенный уровень колебаний в станке А в диапазоне до 350 Гц обусловлен наличием следующих дефектов шпиндельного узла:
  - Динамическим дисбалансом шпинделя в следствие разносторонней несоосности патрона и гидроцилиндра;
  - Некруглостью (овальность, трехгранность) отверстия под передний подшипник в корпусе;
  - Статическим дисбалансом патрона.
3. На наличие погрешности отверстия у станка указывает полимодальная форма пиков спектра свободных (собственных) колебаний.

## Измерение сил резания, вибрации и звукового давления

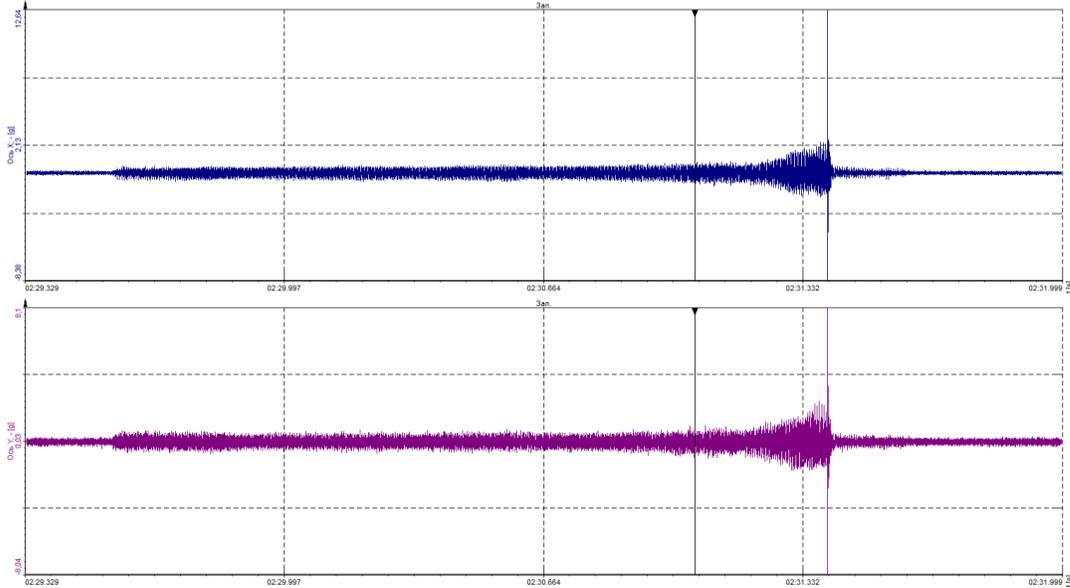


- Быстрое построение диаграммы стабильности для каждого инструмента;
- Оценка демпфирования;
- Анализ собственных частот шпиндельной группы;
- Оптимизация режимов резания и траекторий;
- Расчет деформации тонкостенных деталей;
- Сравнение инструментов и СОЖ.

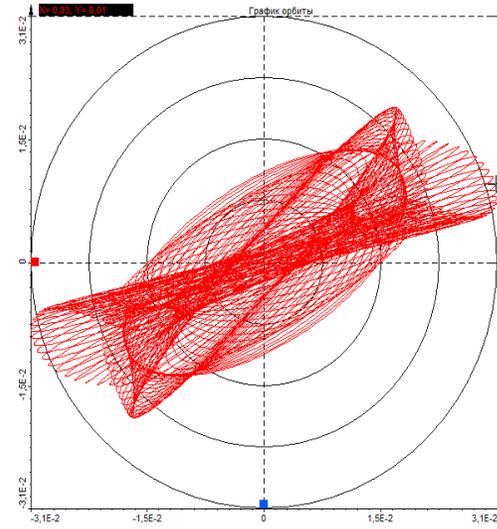


Результаты измерения сил резания

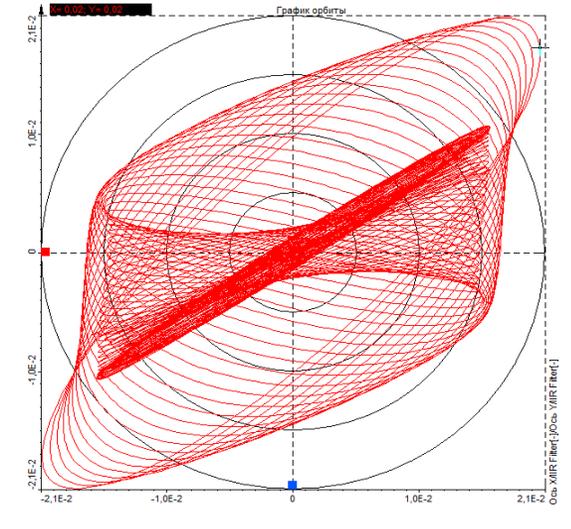
# Анализ возможностей использования орбиты вращения для диагностики ШУ



Процесс фрезерования во временной области



Орбита вибрации вала (усеченная) на режиме фрезерования (врезание)



Орбита вибрации вала (усеченная) на режиме фрезерования (момент выхода из заготовки)

