



VESKi

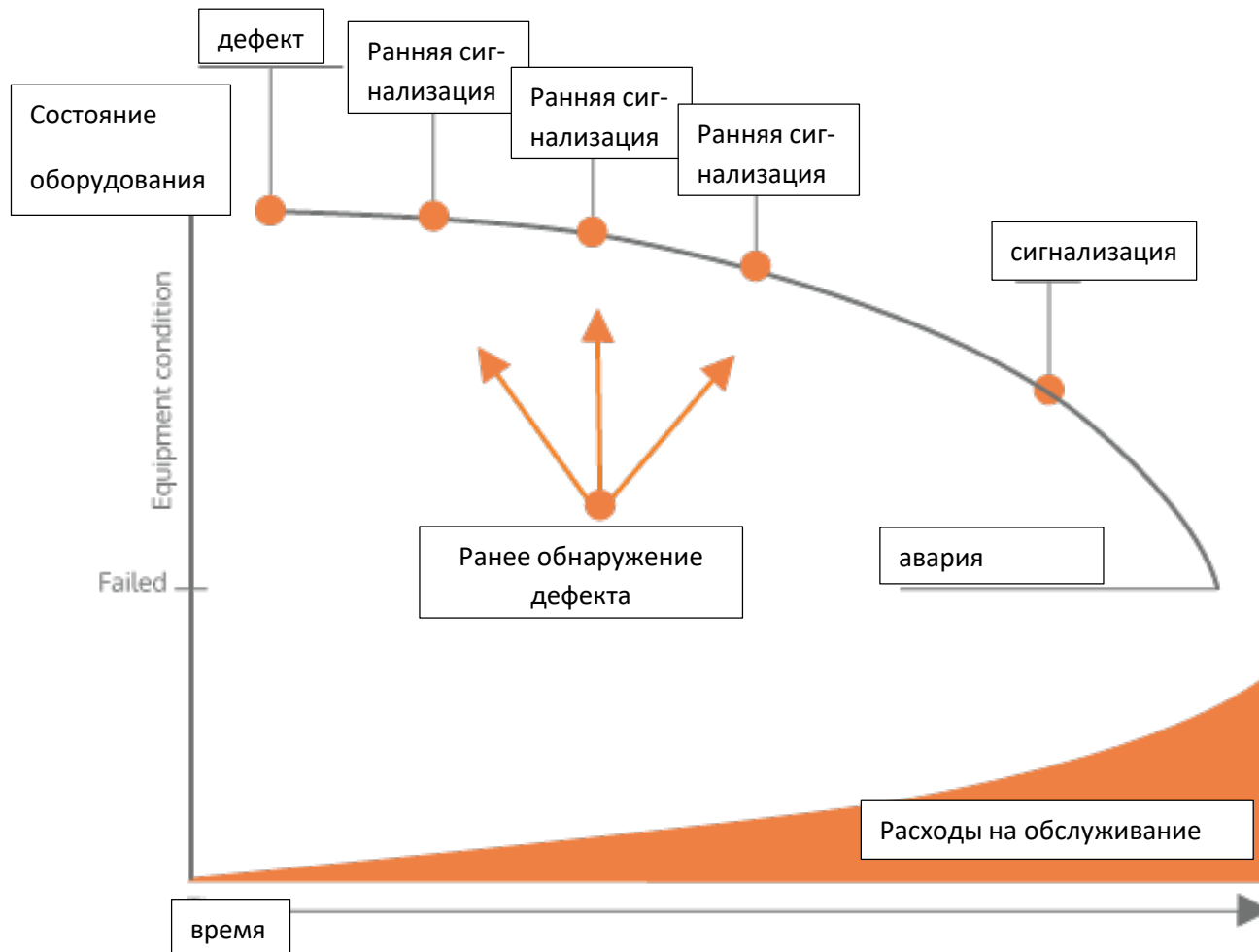
Vibration Expert Systems | Consulting | System Design



Мониторинг технического состояния гидроагрегатов

20.11.2019
Ozren Oreskovic

Цель мониторинга роторных машин?




Стоимость ремонта снижается если дефект будет выявлен на ранней стадии.

Возрастает бесперебойность работы

Предвидеть и предотвратить аварию

Диагностика дефектов

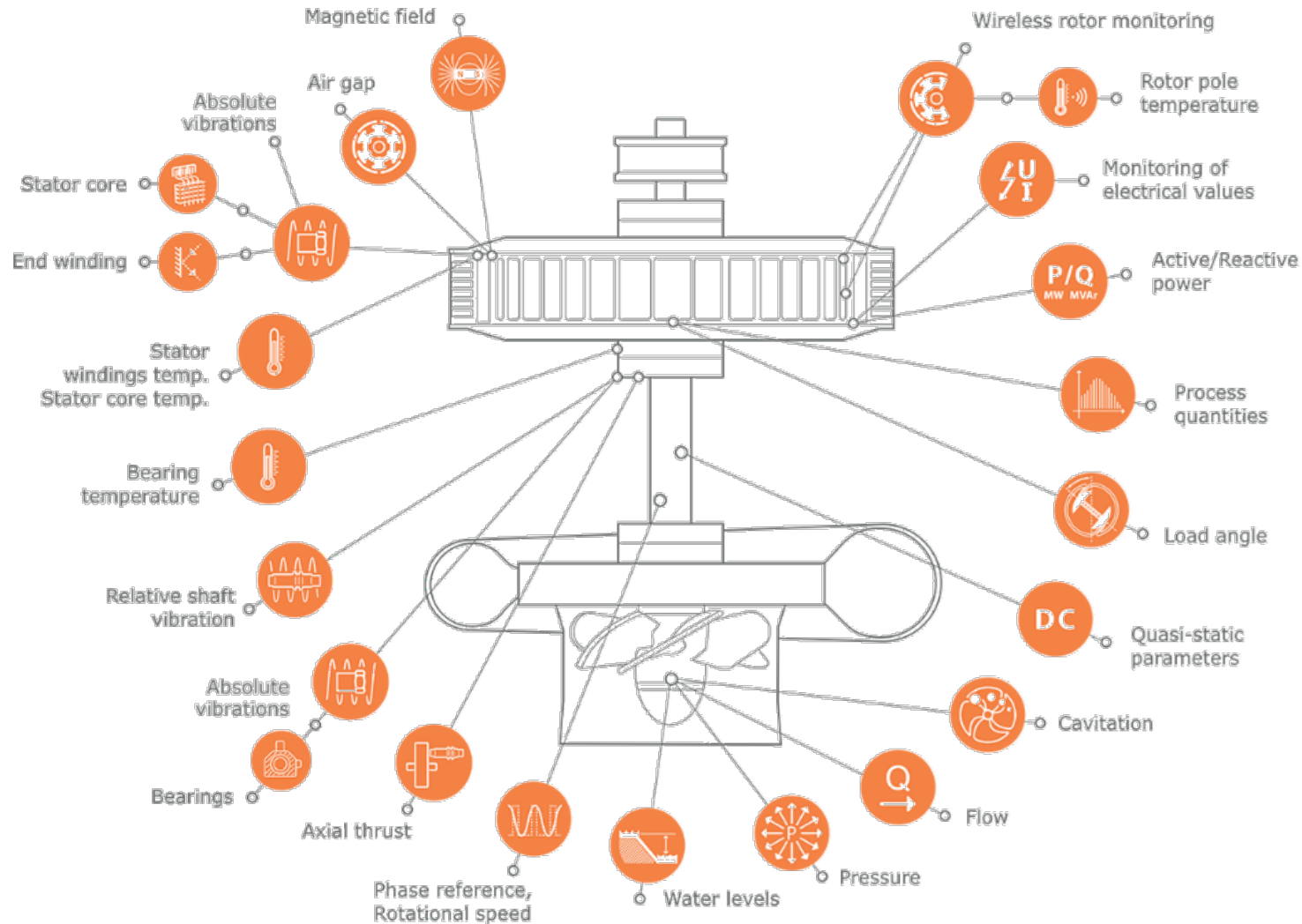
		Measurement														
 Fault detection and Corresponding measurements		Bearing vibrations	Relative shaft vibrations	Bearing temperatures	Turbine cover vibrations	Air gap	Magnetic field	Stator core vibrations	Stator frame vibrations	Generator temperatures	Process quantities	Cavitation	Electrical quantities	Partial discharge	Hydraulic quantities	
Faults	Mechanical Unbalance	1x	1x													
	Electrical unbalance	1x	1x													
	Loose rim	1x	1x													
	Hydraulic unbalance	1x, nx														
	Misalignment	1x, 2x	1x, 2x													
	Eccentricity of stator and rotor		DC													
	Bearing wear															
	Stator windings vibrations							100Hz 200Hz	100Hz 200Hz							
	Insulation wear															
	Rotor shape															
	Overheated stator coils															
	Phase symmetry															
	Bearing stiffness															
	Excitation problems															
	Load angle detection															
	Pressure pulsation															

Процесс анализа неисправности:

- взаимная корреляция векторов сигнала в различных режимах (Разгон, установившийся режим, частичная нагрузка и т.д.)
- Сравнение с референсными данными на рабочих режимах
- Изменение данных
- Анализ дефектов

- точки измерения/ датчики
- 1x – сигнал вибрации на Первой роторной гармонике (частота вращения)
- 2x – сигнал вибрации на Второй роторной гармонике
- DC – статическая компонента сигнала (зазор)

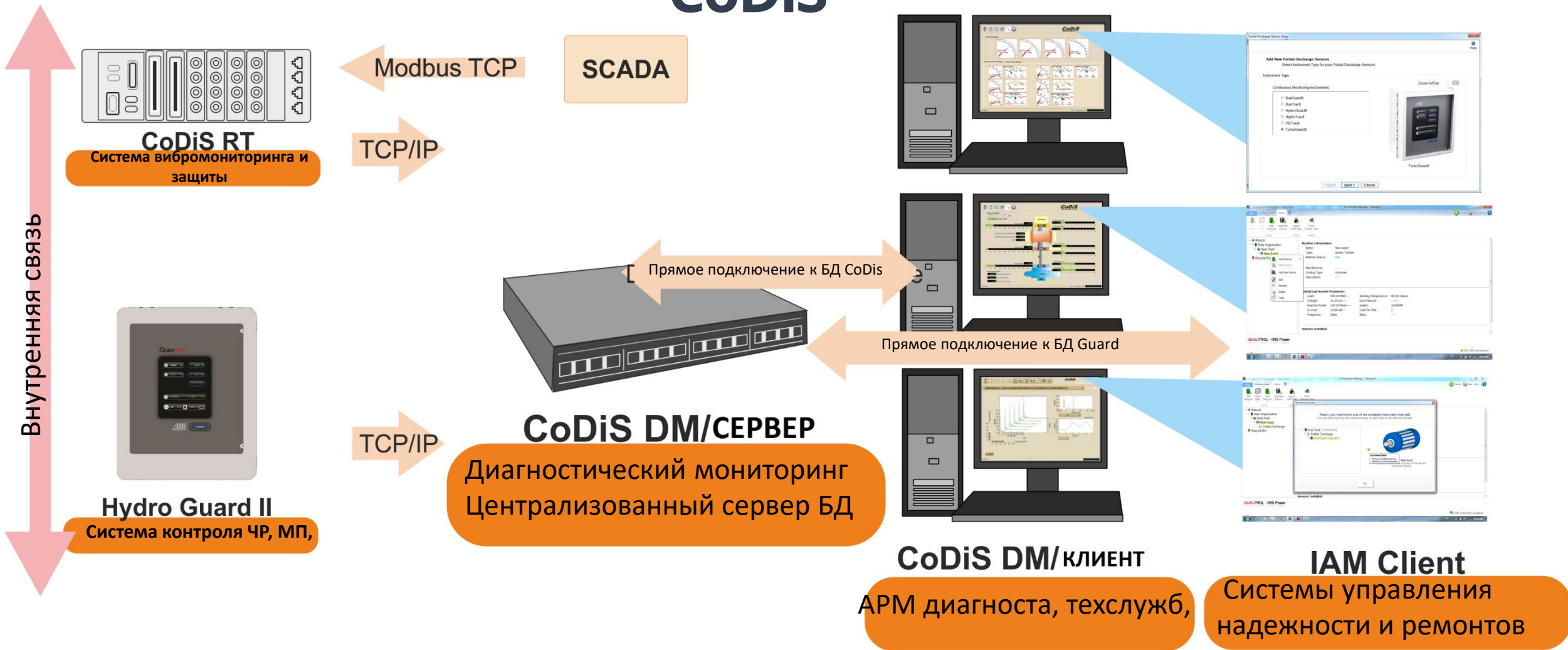
Система CoDis- измерения на гидроагрегате



Данные для диагностики:

- Динамика ротора (относительная и абсолютная вибрация)
- Вибрация статора и лобовых частей
- Воздушный зазор и магнитный поток
- Вибрация крышки турбины
- Данные техпроцесса
- Электрические параметры
- Частичные разряды
- Гидравлические параметры

Система мониторинга и диагностики CoDiS



Типы датчиков, применяемые для различных агрегатов



Применение:
 Перемещение вала в радиальном и осевом направлении
 Перемещение рамы статора
 Фазоинтерметчик/тахометр

H/T/M

Токовихревые датчики



Применение:
 Вибрация подшипников в радиальном и осевом направлении
 Вибрация элементов статора и опорных конструкций
 Крышка турбины

H/T/M

Пьезо-акселерометры



Электрические параметры

Применение :
 Динамические электрические измерения
 Угол электрической нагрузки
 Качество электроэнергии

H/T/M

H= Гидро
T= Турбо
M= Двигатели



Применение:
 Форма ротора/статора
 Зазор ротор-статор

H/M

Датчик воздушного зазора



Применение:
 Магнитный поток ротора

H/T/M

Датчик магнитного потока



Применение:
 Вибрация лобовых частей.

H/T/M

Оптический акселерометр



Применение:
 Кавитация
 Динамические пульсации давления

H

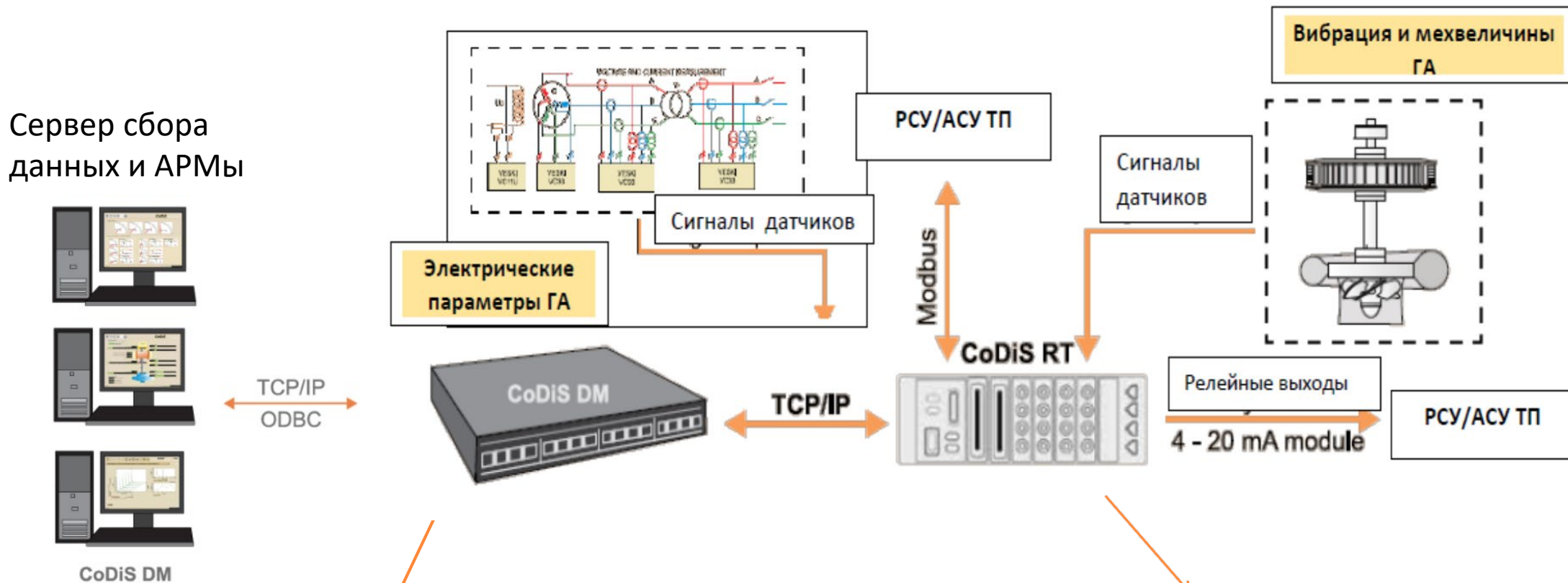
Датчик акустической эмиссии

Также доступны

- Температуры подшипников
- Давление
- Датчик зазора турбины
- Температура ротора

+ PD+Shaft current...

CoDiS – защита в режиме реального времени



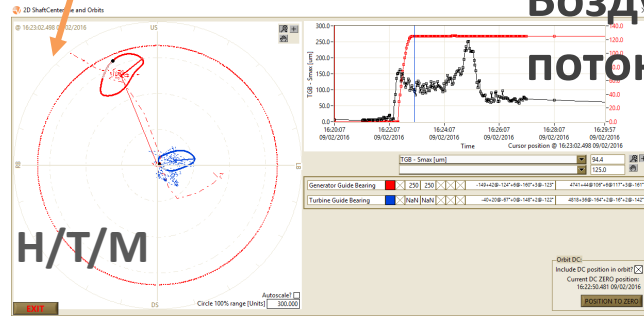
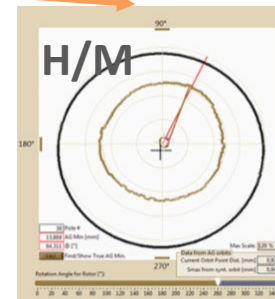
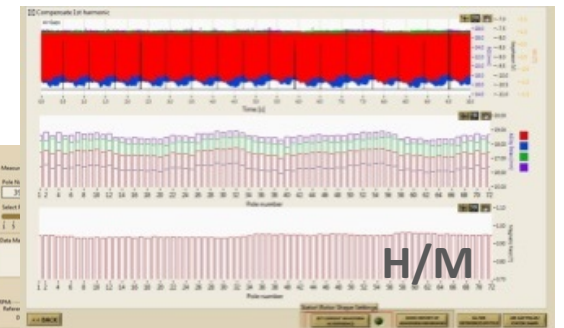
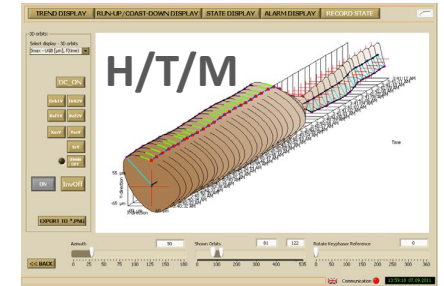
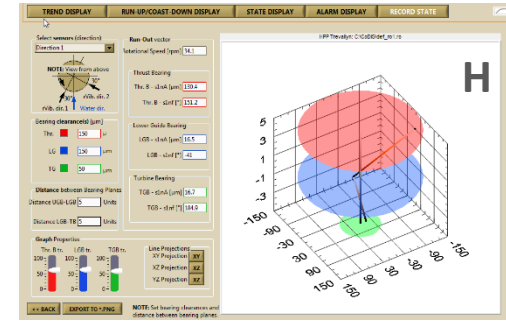
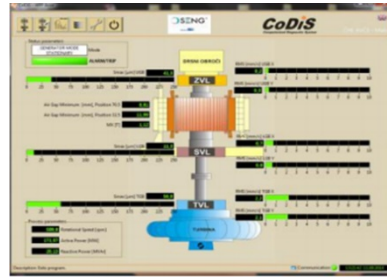
Программное обеспечение диагностики
Хорошо структурированные данные/информация является самым ценным активом

Система Мониторинга и защиты агрегата
Единая платформа с различными модулями



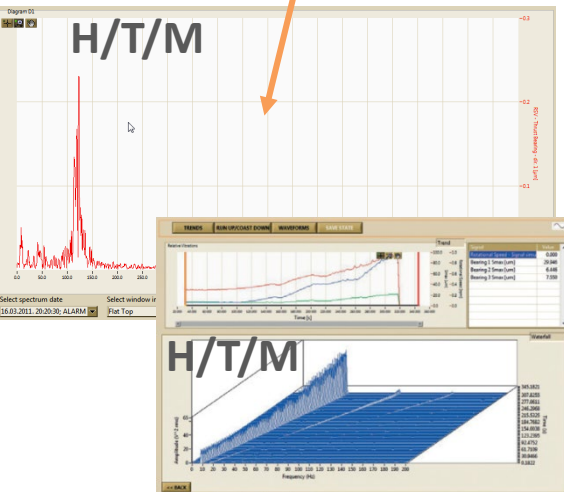
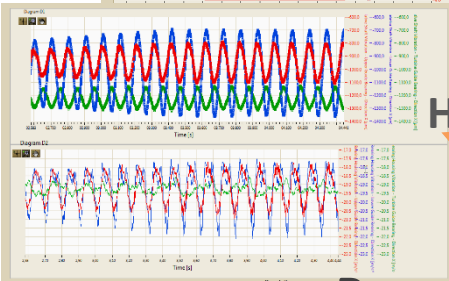
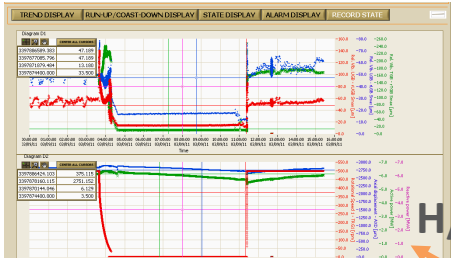
CoDiS диагностическое ПО

H= Гидро
T= Турбо
M= Двигатель

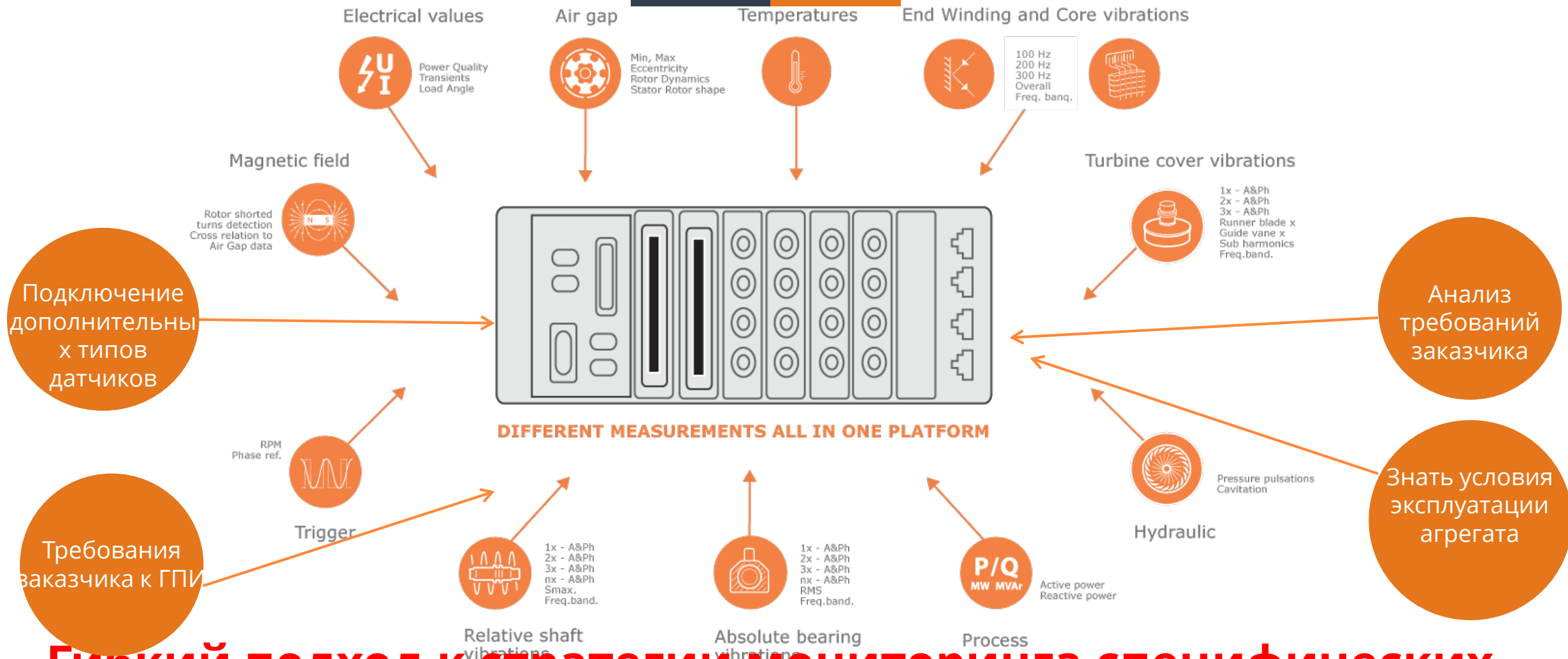


Тренды
Slow-roll'
3D медленное вращение
3D орбиты
Импорт данных техпроцесса
ПО Балансировки в 1 и 2-х плоскостях
Воздушный зазор и магнитный ПОТОК

Сырые данные (Waveforms)
Расчет спектра (FFT and Waterfall)
Vode plot, Nyquist plot,
Орбита и центр вала

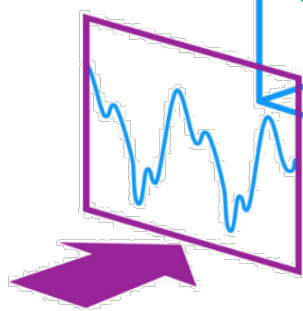
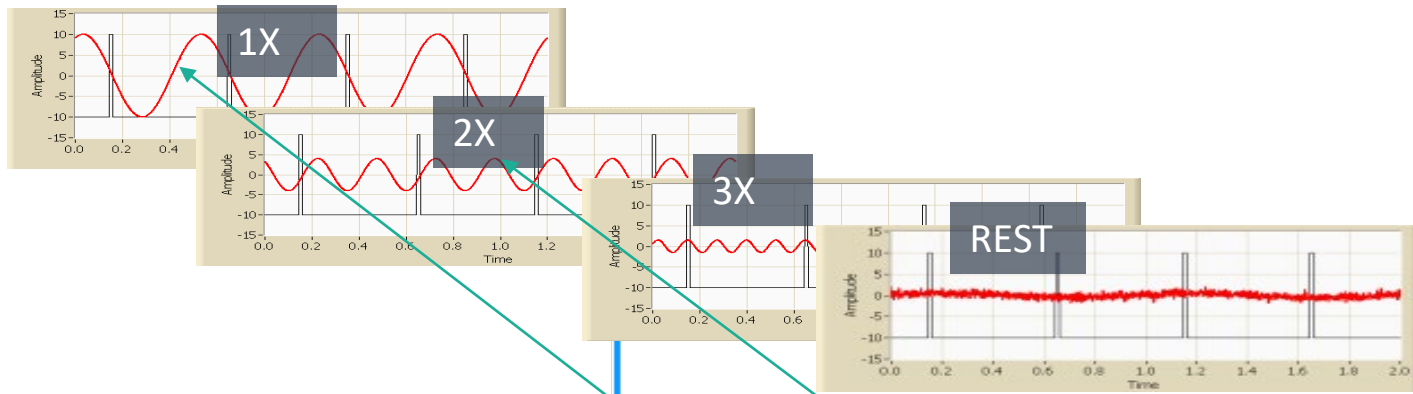


Как собрать «правильные» данные?

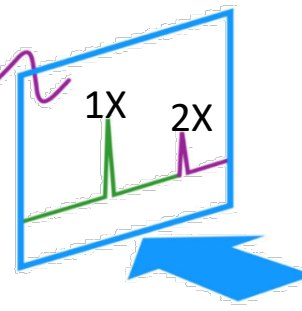


Гибкий подход к стратегии мониторинга специфических проблем агрегата!

«Правильные» данные для анализа

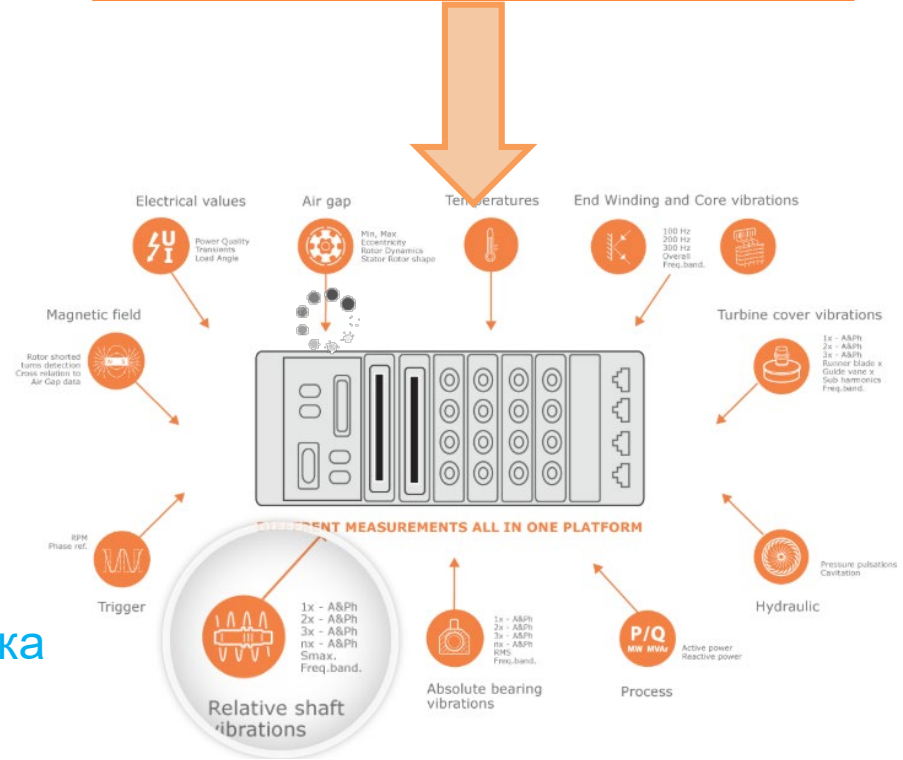


Временная характеристика
(сырая форма сигнала)



Частотная характеристика
(Спектр, FFT)

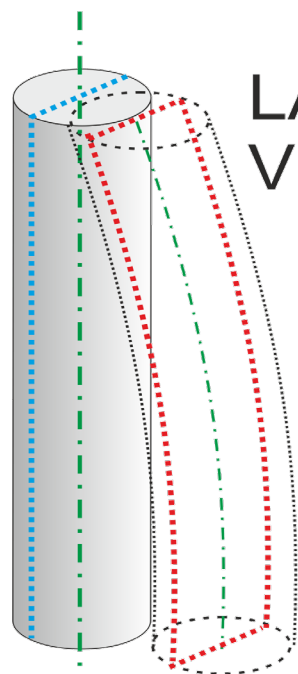
НЕПРЕРЫВНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ СИГНАЛА НА ВЕКТОРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ



Положение вектора вибрации это совокупность показателей, которые имеют важное значение для правильного определения «здоровья» агрегата.

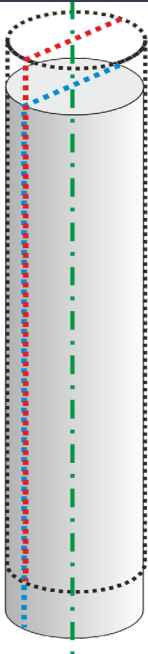
Это наиболее значимая часть любого мониторинга техсостояния

Какие виды вибрации возникают в роторных машинах



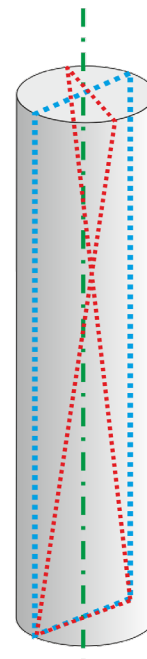
LATERAL Vibrations

- разбалансировка
- расцентровка
- Изменение радиальной жесткости



AXIAL Vibrations

- Гидравлические силы
- Зона нестабильной нагрузки
- Осевая жесткость/ крышка турбины



TORSIONAL Vibrations

- Переходные режимы (не существенны для гидро)

keyphasor – предоставляет фазовую метку для диагностики!

Стандарты вибромониторинга гидроагрегатов

ISO 19201 – Механическая вибрация – Методология для выбора соответствующих стандартов вибрация машин

ISO 20816-5 – Механическая вибрация – Измерение и оценка вибрации машин **Гидроагрегаты**
(замена стандартов ISO 7919-5 и 10816-5)

ISO 20816-2 – Механическая вибрация -- Измерение и оценка вибрации машин **Турбоагрегаты**
(замена стандартов ISO 7919-2 и 10816-2)

ISO 17359 – Мониторинг техсостояния и диагностики машин. Основные нормативы.

ISO 13373 – Мониторинг техсостояния и диагностики машин. – Вибрационный мониторинг (примеры):

ISO 13373-7 – Методика диагностики узлов машин ГЭС и ГАЭС

СТО РусГидро 02.02.106-2017

В процессе создания:

IEC 60034-33 – **Роторные электрические машины** – часть 33:

Специфические технические требования для гидрогенераторов (WD Edition 3) –

Вибрация сердечника статора гидрогенератора

Допустимые пределы воздушного зазора

ISO 19283:2018 / стандарт в разработке

Annex B: Методика мониторинга узлов гидрогенераторов и и виды неисправностей

Annex C: Методики непрерывного мониторинга и диагностики

Стандарт по вибрации – ISO 20816-5

- Сравнение для машин из группы № 4

ISO 10816-5

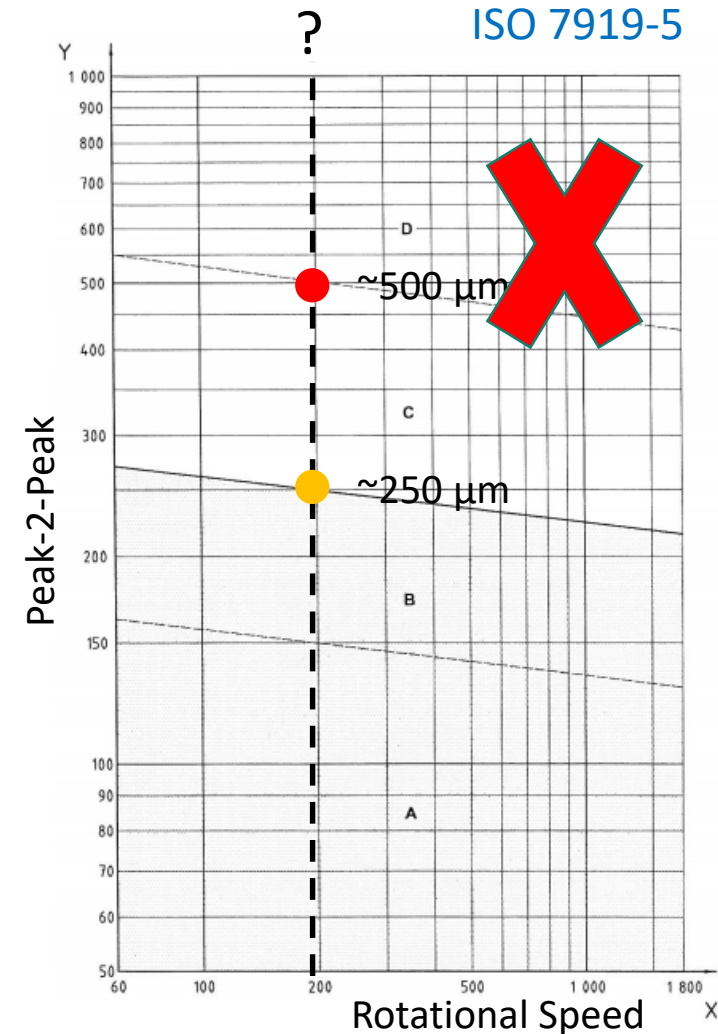
Zone boundary	At measurement location 1		At all other main bearings	
	Peak-to-peak displacement μm	R.m.s. velocity mm/s	Peak-to-peak displacement μm	R.m.s. velocity mm/s
A/B	65	1,6	30	1,6
B/C	100	2,5	50	2,5
C/D	160	4,0	80	4,0

NOTE 1 If a machine has a lower generation bearing working against the foundation, the vibration should be evaluated according to measurement location 1.

NOTE 2 Umbrella-type machines belong to this group, evaluation zone boundaries are those for the main bearings.

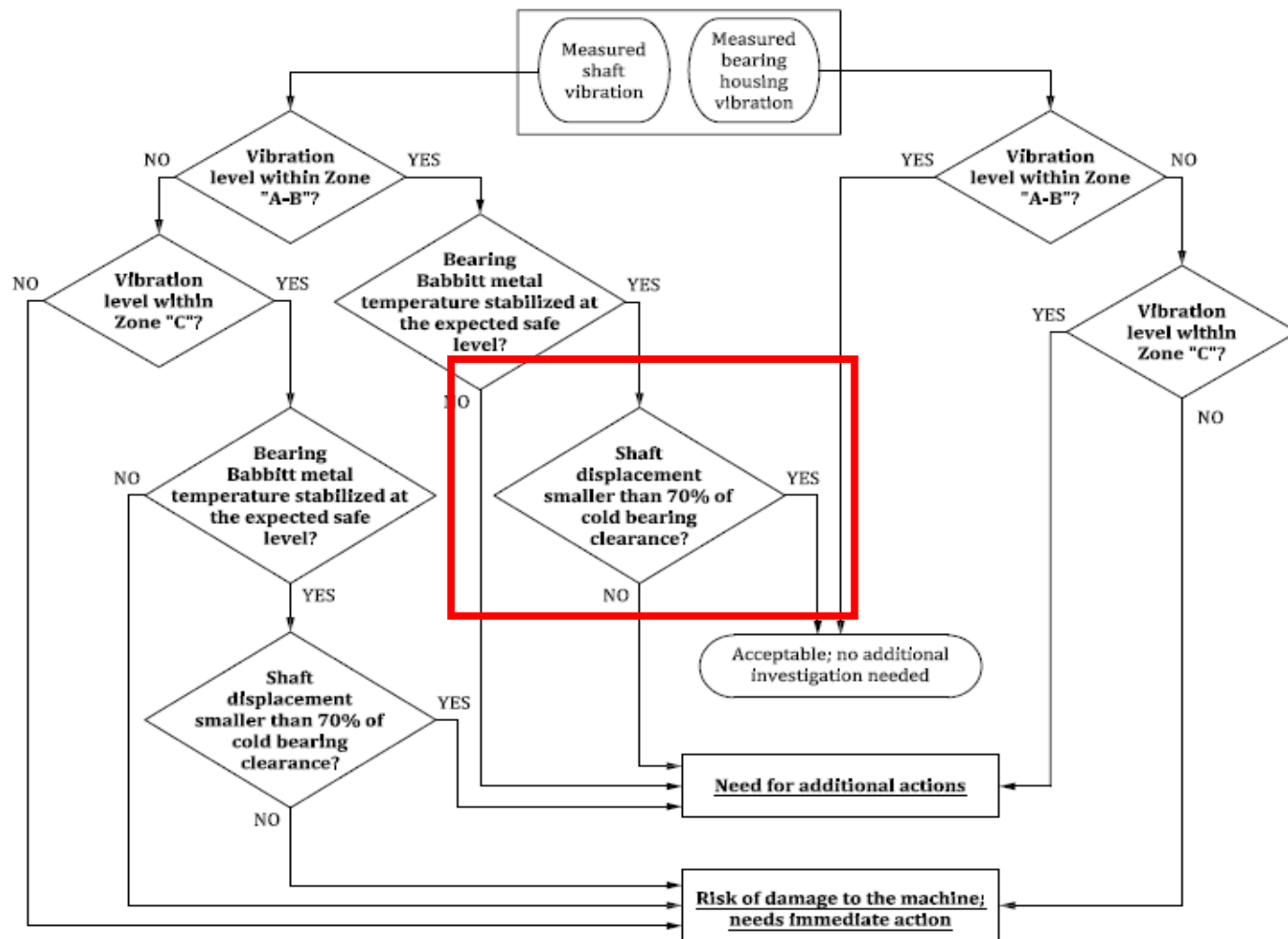
ISO 20816-5 важные изменения

- в ISO 20816-5 – отсутствует зависимость от частоты вращения.
- Границы зон (относительная и абсолютная вибрация) снижены в 2 раза в ISO 20816-5
- Дополнительное сравнение с клиренсом холодного подшипника (~70% клиренса)
- Должна использоваться температура подшипника



Стандарт по вибрации – ISO 20816-5

IT IS ESSENTIAL TO PERFORM BOTH SHAFT VIBRATION AND FIXED PARTS VIBRATION MEASUREMENTS IN ORDER TO HAVE A GOOD ASSESSMENT OF THE UNIT DYNAMIC BEHAVIOUR



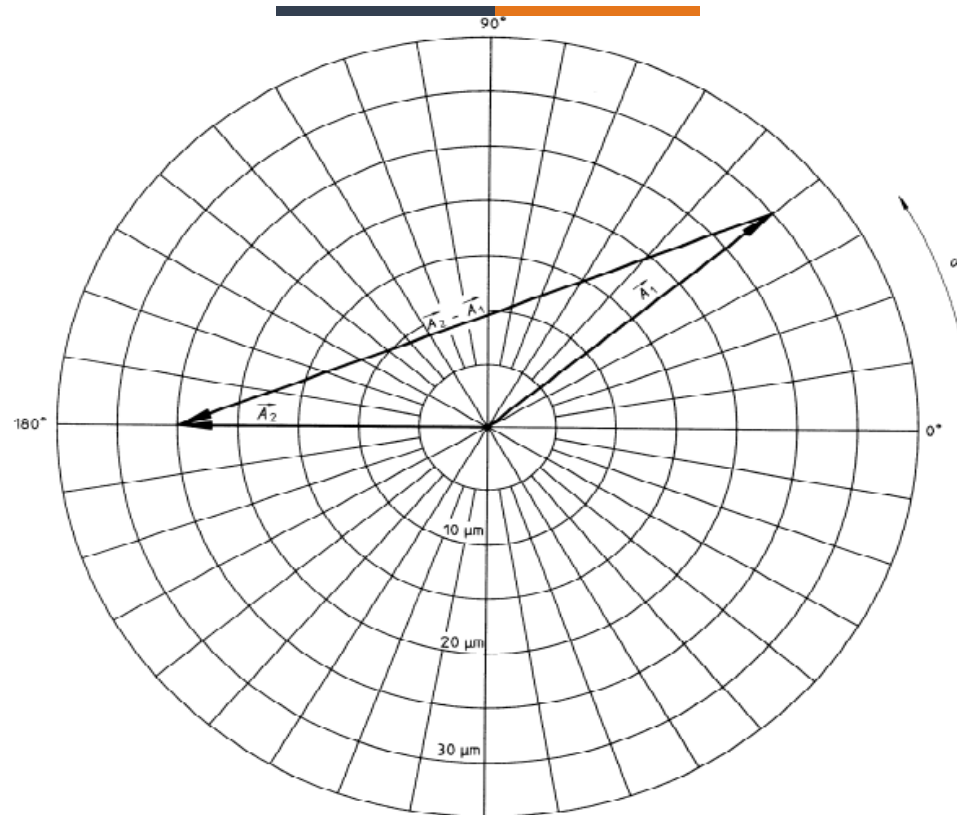
В общем:

- Производить измерения относительной и абсолютной вибраций синхронно
- Параметры клиренса «холодного» подшипника для сравнения (~70% от клиренса)
- Температура подшипника увеличивается?
- Эксплуатационный режим остается неизменным?

КРИТЕРИИ:

- Критерий 1: абсолютное значение вибрации
- Критерий 2: Изменение (уменьшение или увеличение) амплитуды и фазы (не было прежде) вибрации

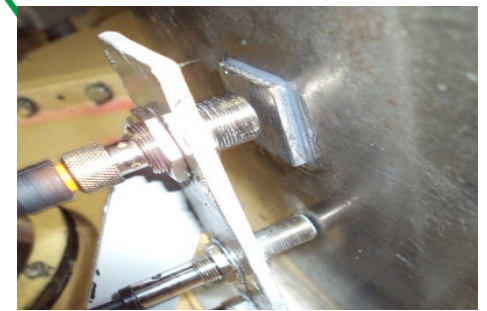
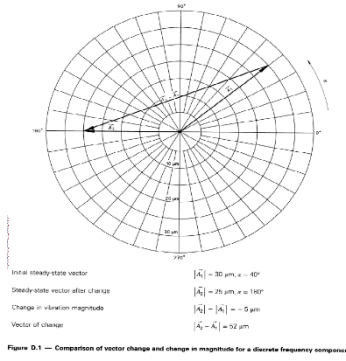
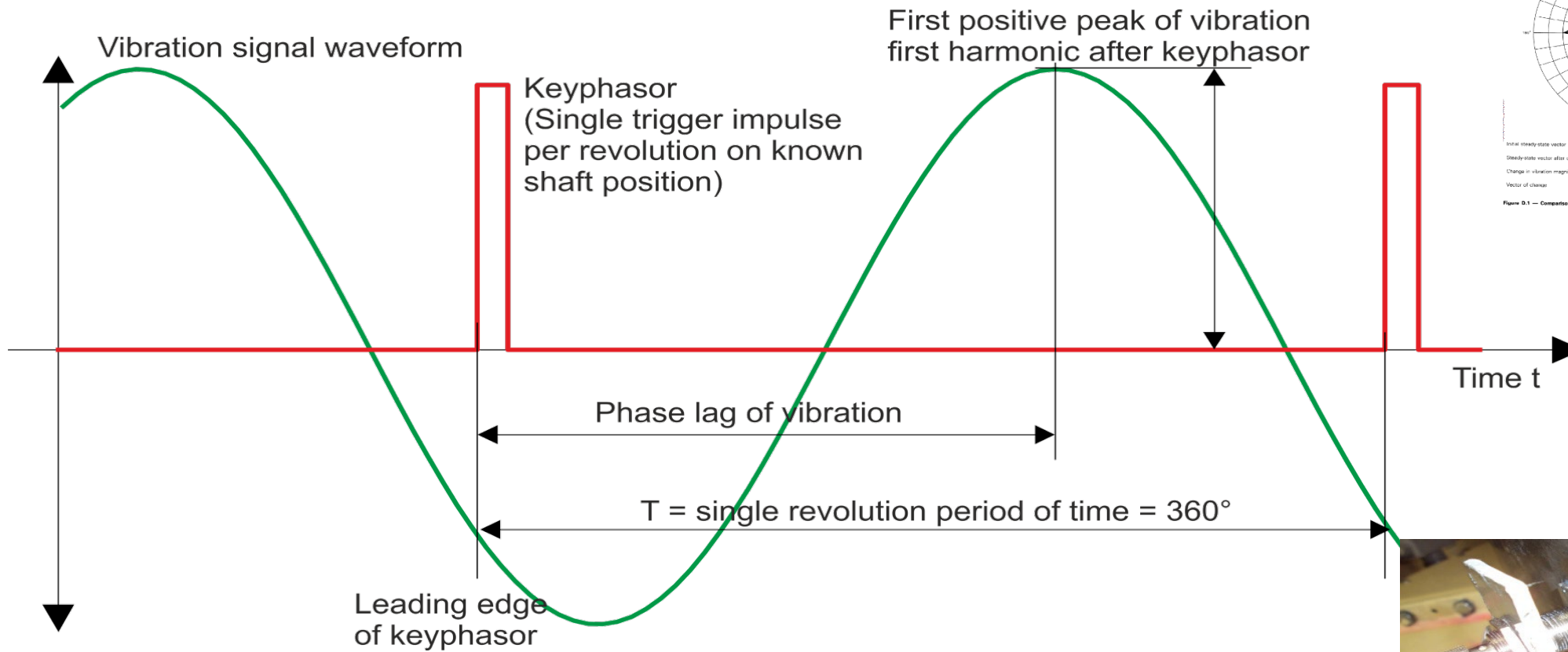
Вибрация как вектор



Вибрация может быть представлена как вектор с амплитудой и фазой!

Figure D.1 — Comparison of vector change and change in magnitude for a discrete frequency component

Вибрация / Амплитуда и Фаза



Фаза измеряется как *фазовый угол* φ , от импульса датчика фазы до положительного пика вибрации первой гармоники

Измерение вибрации

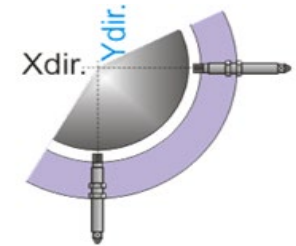


- Относительная вибрация вала-
-фазоотметчик/осевое перемещение

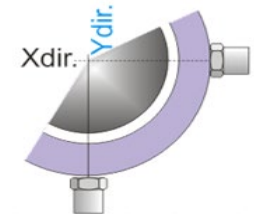
Напряжение сигнала пропорционально
виброперемещению

Датчик относительной вибрации—2mm/4mm

Общие характеристики	Корпус из нержавеющей стали	-	Экранирование кабеля
	Linearity range	мм	0.5 ... 2.5 или 1...4mm
	Предельная частота (-3 dB)	Гц	1000



Relative shaft vibrations sensors layout



Absolute bearing housing vibrations sensors layout



-абсолютная вибрация
подшипников

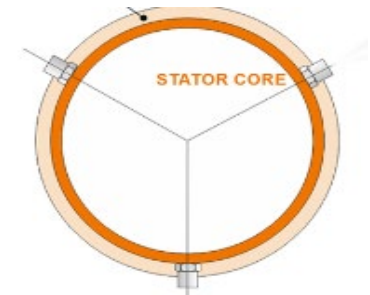


- Вибрация сердечника
и корпуса статора

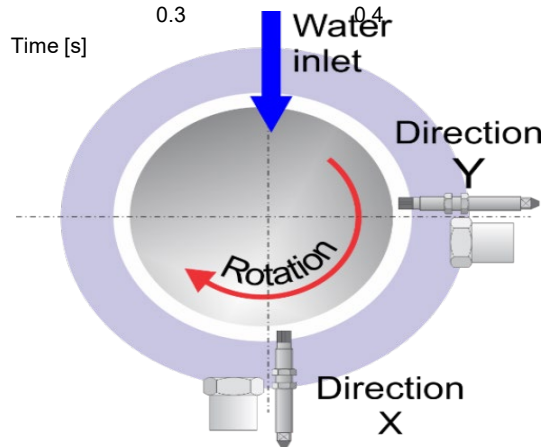
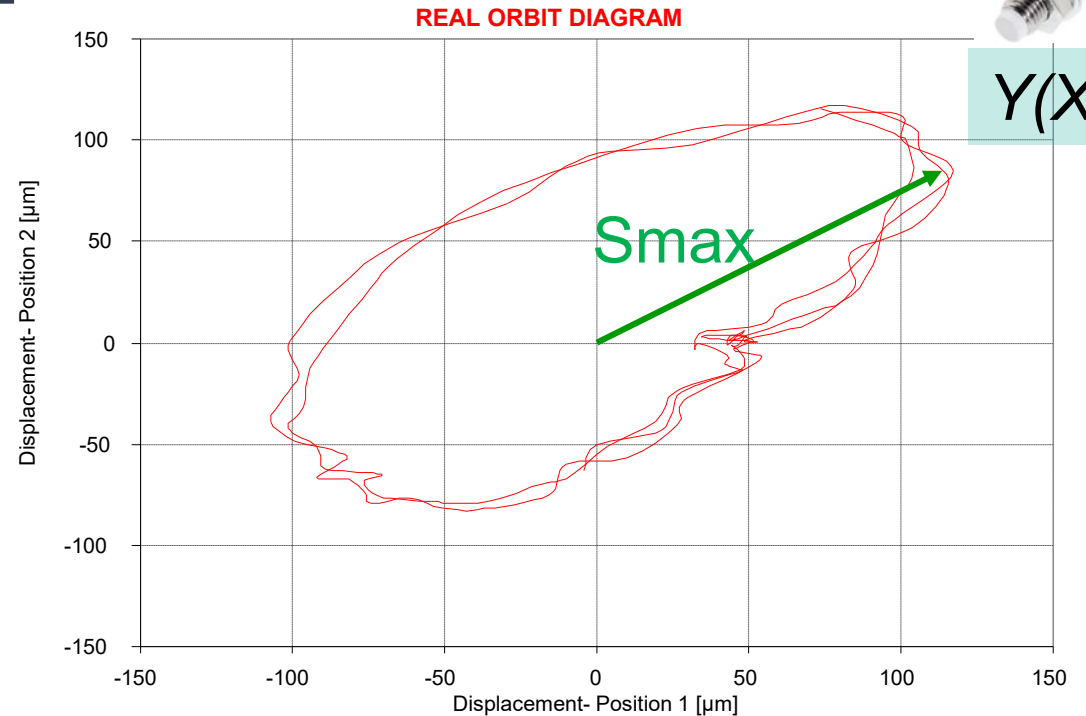
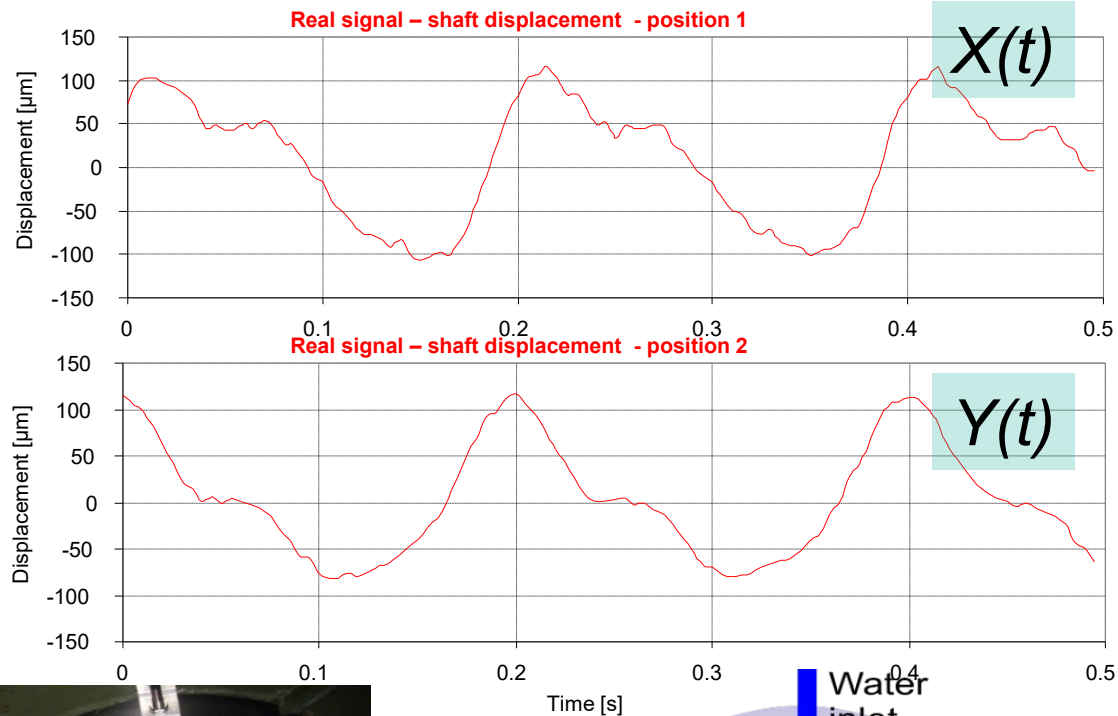
Низкочастотный/ Высокочувствительный акселерометр

Specifications	Standard	Metric
Part Number	AC136	M/AC136
Sensitivity (±10%)	500 mV/g	
Frequency Response (±3dB)	12-180,000 CPM	0,2-3000 Hz
Frequency Response (±10%)	36-90,000 CPM	0,6-1500 Hz
Dynamic Range	± 10 g, peak	

Напряжение сигнала пропорционально
виброускорению
или виброскорости!



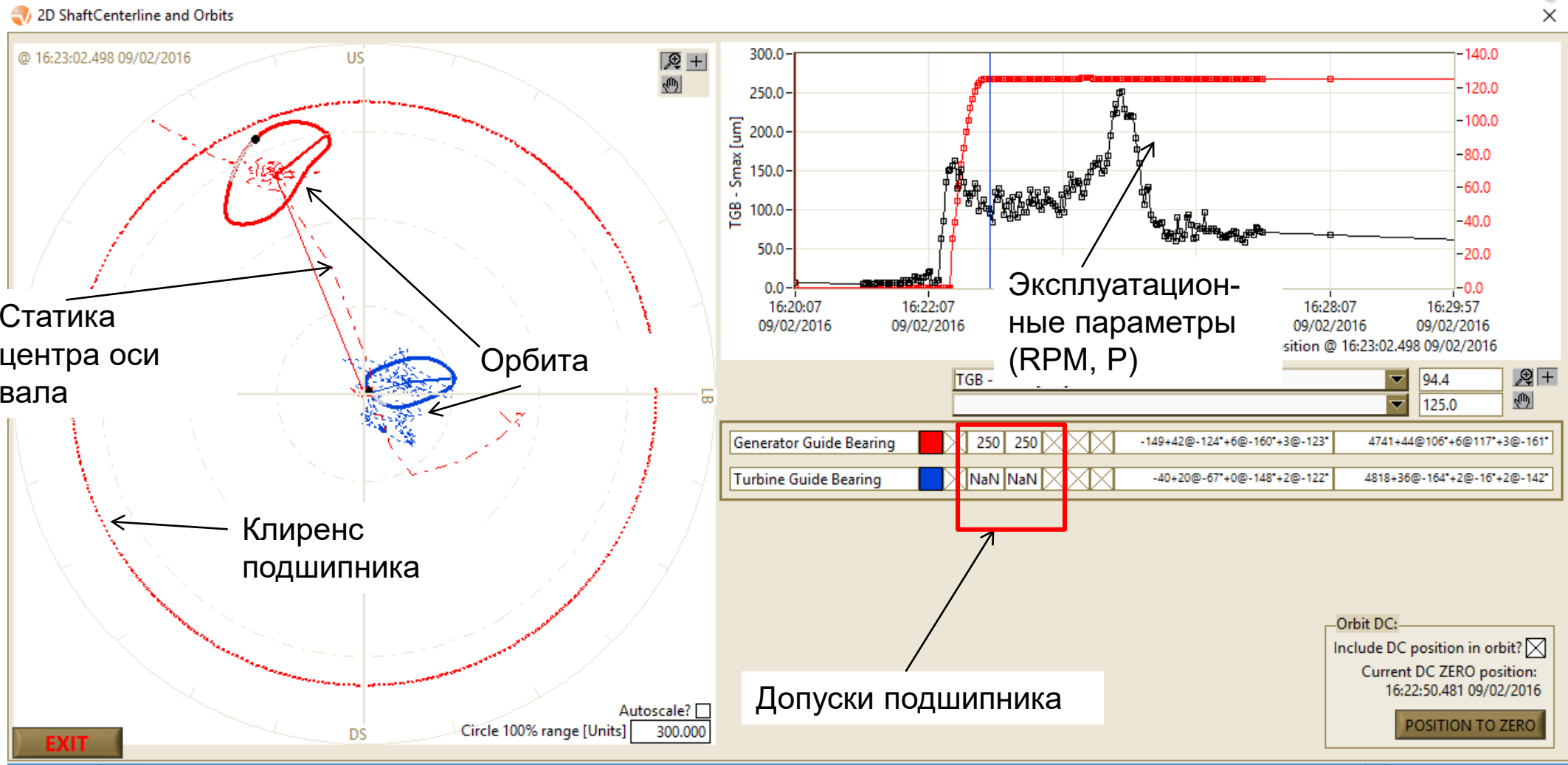
Динамическое перемещение вала/Орбита



$$S_{\max} = \max(\sqrt{X^2 + Y^2})$$

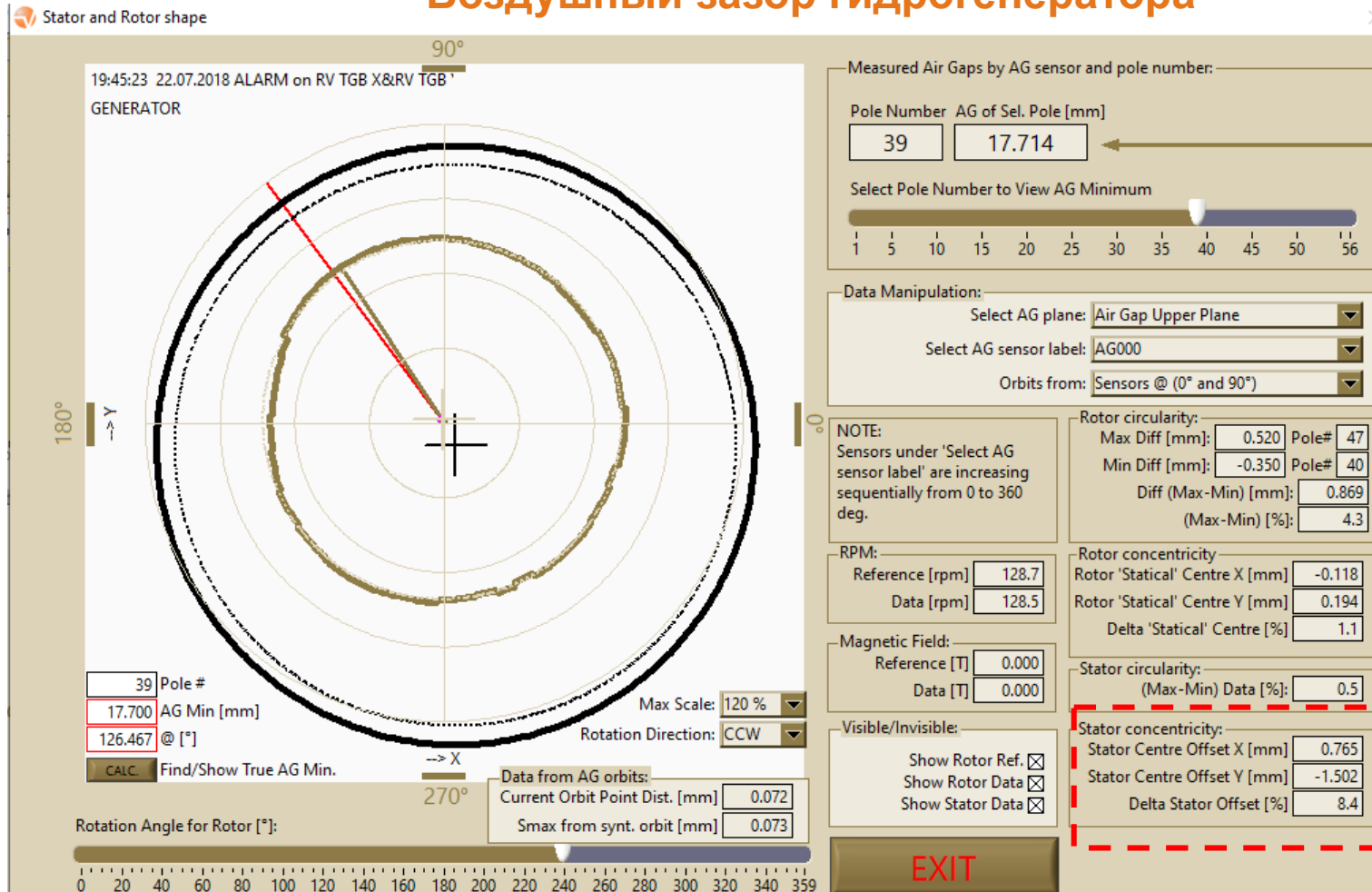
S_{\max} = максимальное перемещение вала
(максимальный вектор в XY координатах)

Вибрация и положение ротора (статика оси вращения)



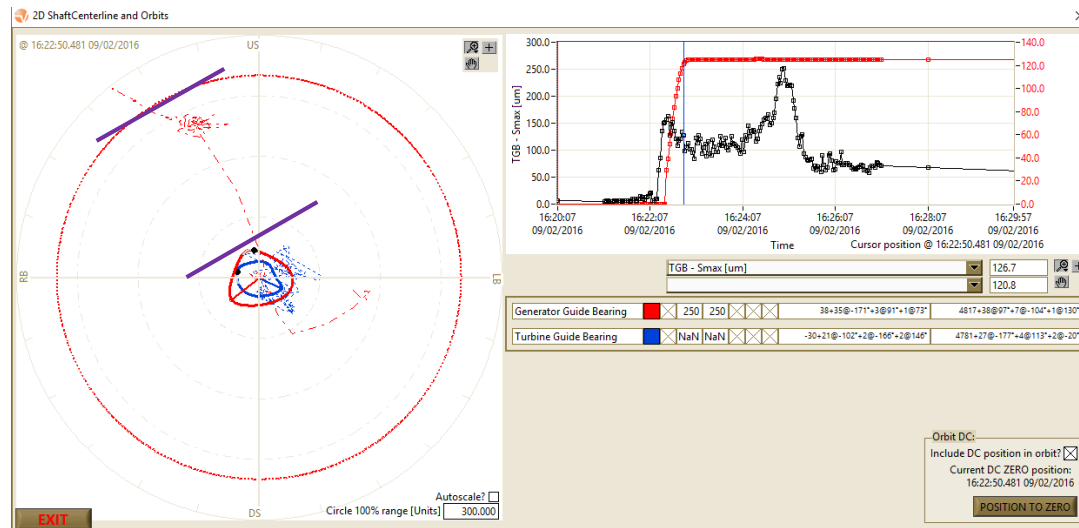
Вибрация и положение ротора (статический центр вращения)

Воздушный зазор гидрогенератора



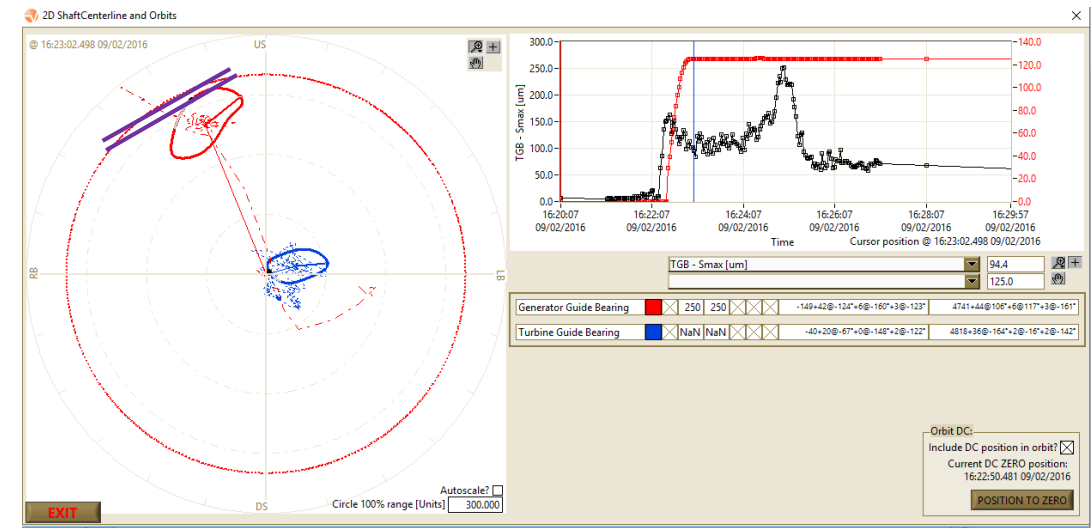
Эксцентриситет между ротором и статором

Пример 1 – Эксцентриситет между ротором и статором гидрогенератора



Без возбуждения

- Кольца Орбиты с положением оси вала
- Кольца на примере –механическое вращение до возбуждения
- Изменения в положении оси вала будет сразу доступны визуально

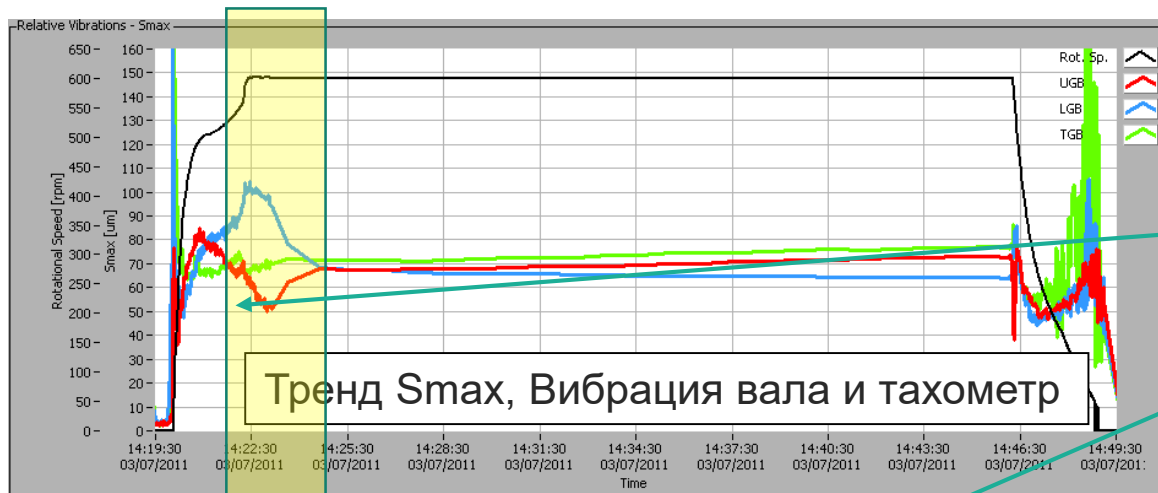


С возбуждением

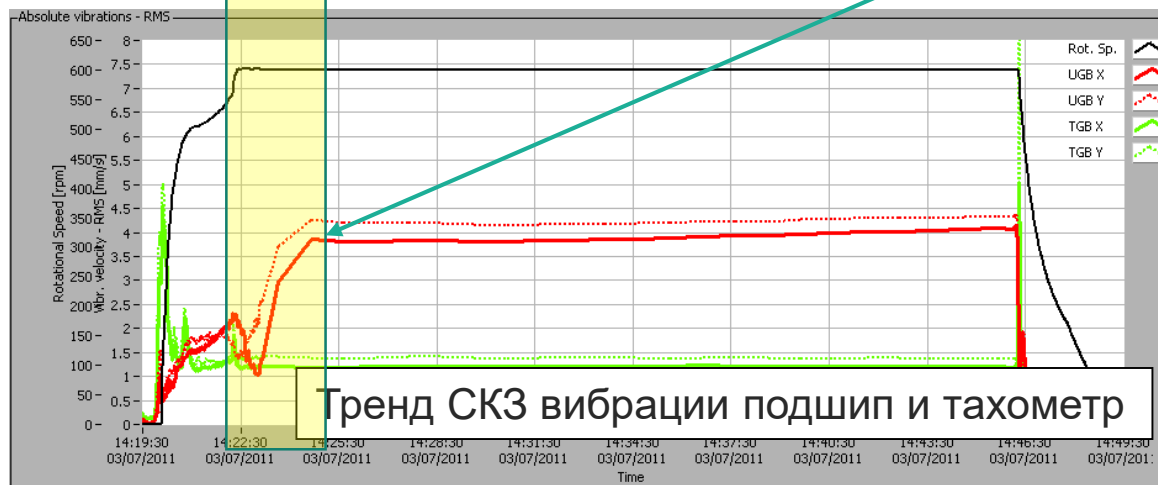
- Кольца Орбиты с положением оси вала
- изменились
- На примере виден эксцентриситет осей ротора и статора
- Полная шкала 300 мкм

Вибрация+Зазор + абсолютная вибрация

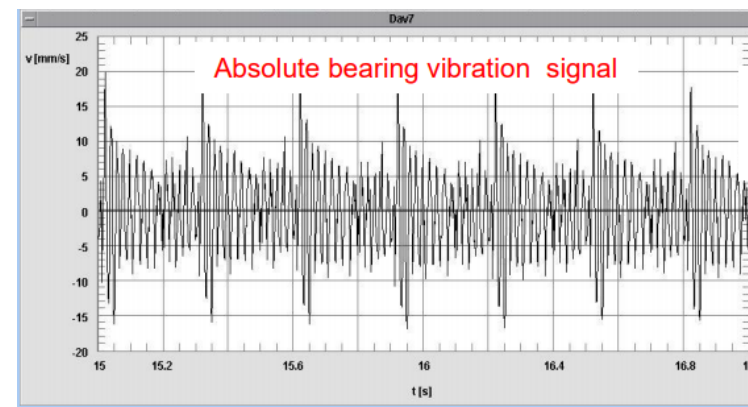
ISO 20816-5



Характерный отклик:
Виброперемещение вала **СНИЖАЕТСЯ**
Вибрация подшипника **УВЕЛИЧИВАЕТСЯ**



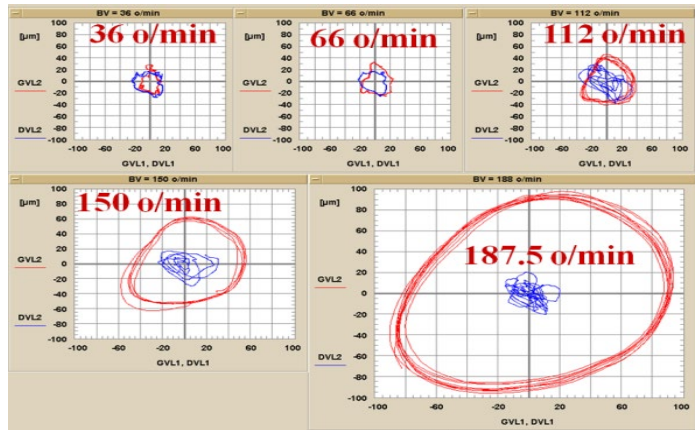
Задевание вала



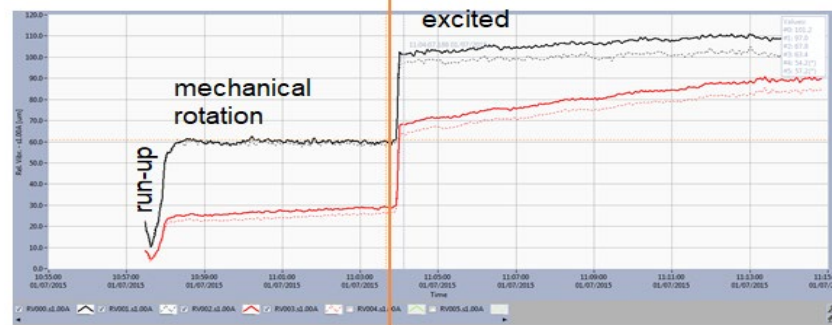
Вибромониторинг вала - типичные неисправности агрегата

CoDiS на 100% соответствует требованиям ISO 13373-7, способен выявлять типовые неисправности:

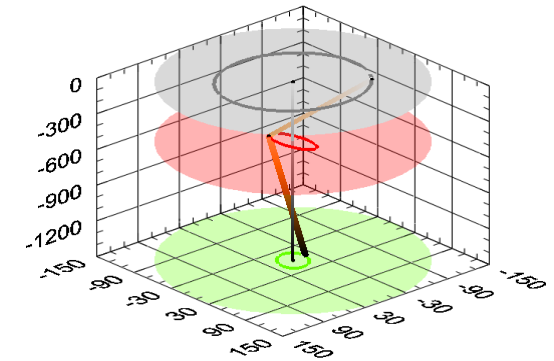
Механический дисбаланс



Электрический дисбаланс



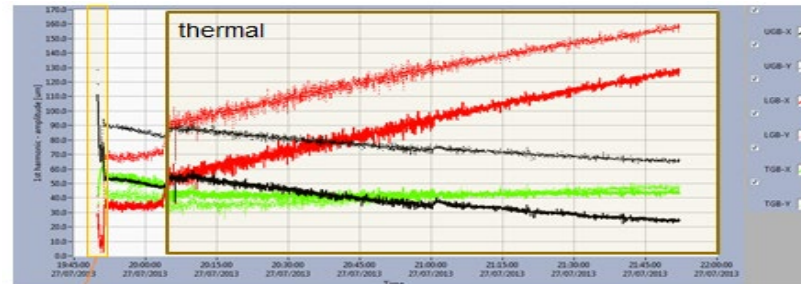
Геометрия вала при медленном вращении



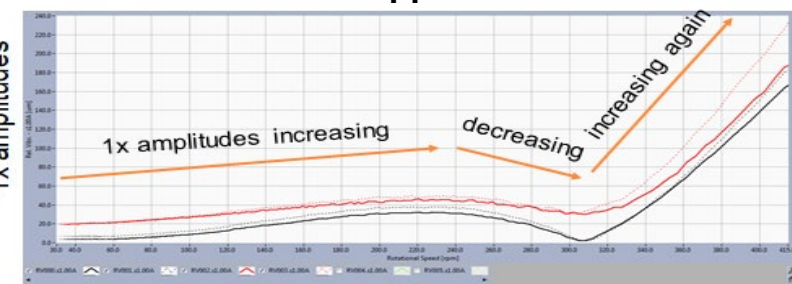
Гидравлический дисбаланс



Температурный дисбаланс

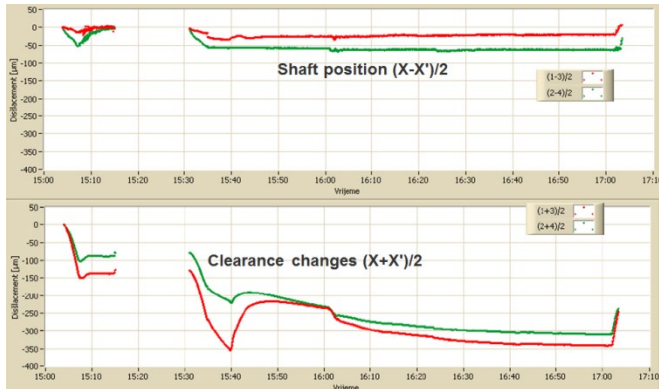


Скольжение бандажа

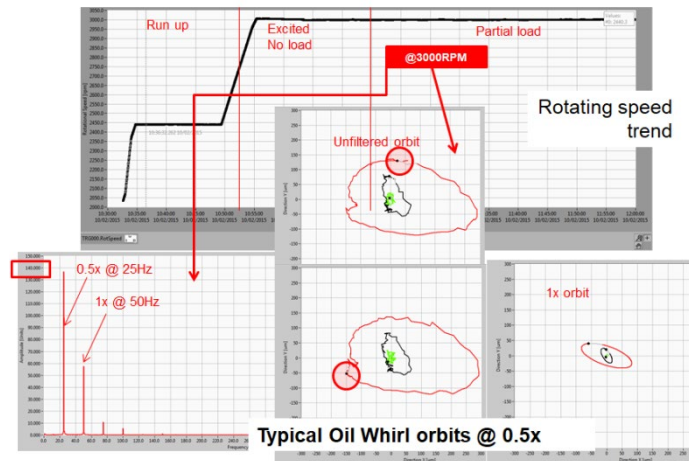


Вибромониторинг вала - типичные неисправности агрегата

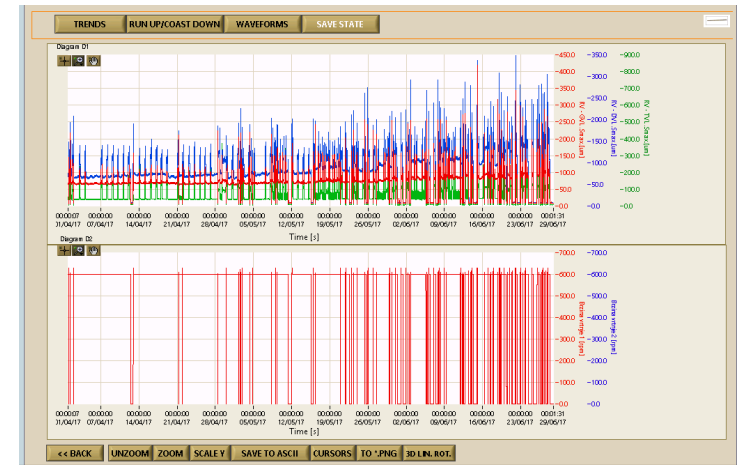
Клиренс подшипника



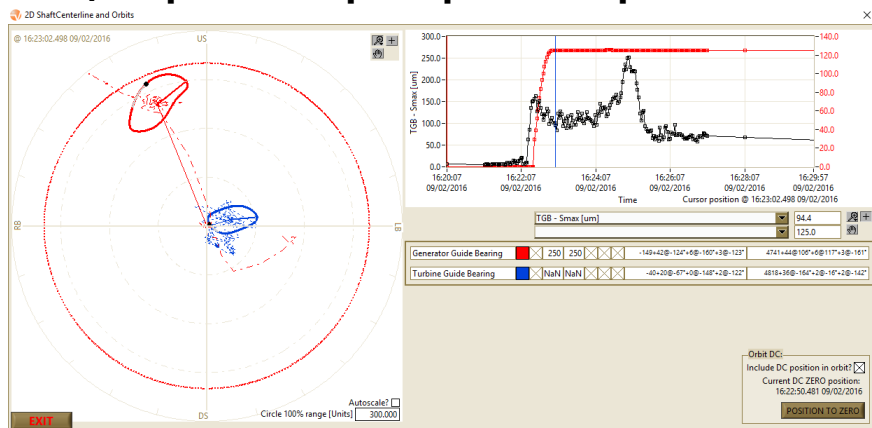
Нестабильность в подшипнике



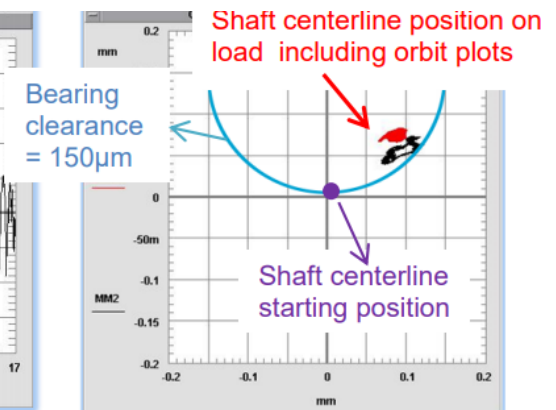
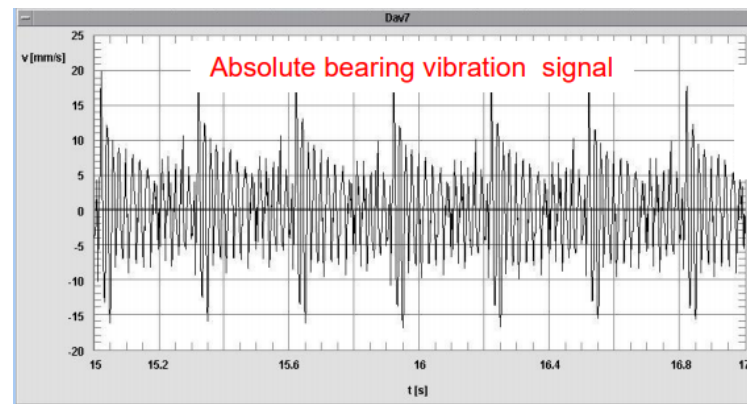
Снижение жесткости подшипника



Эксцентриситет ротора/статора

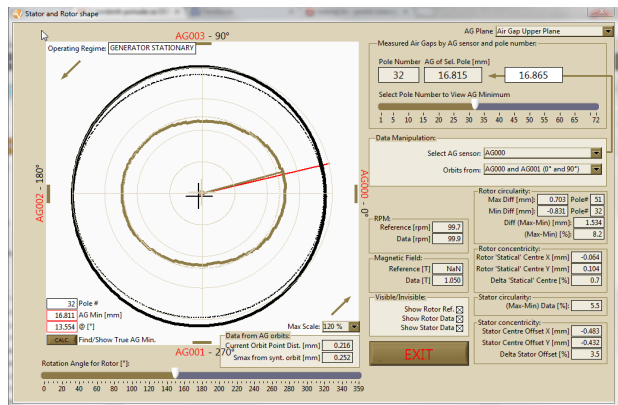


Задевание вала

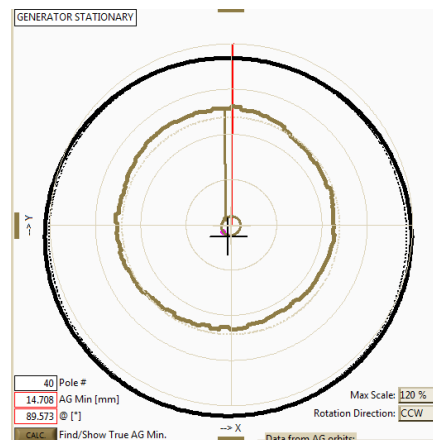


Мониторинг воздушного зазора – типичные неисправности

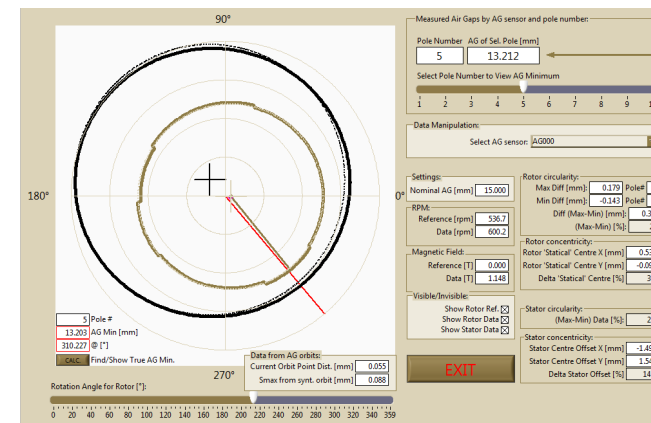
Ослабление бандажного кольца



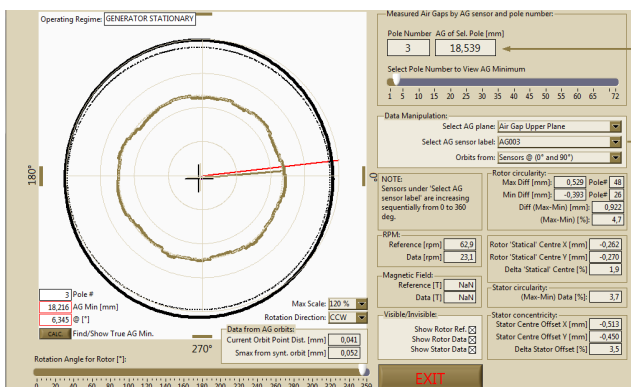
Эксцентриситет обода бандажа



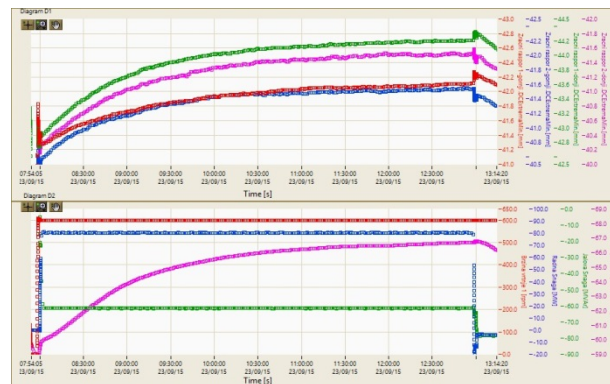
Эксцентриситет ротора и статора



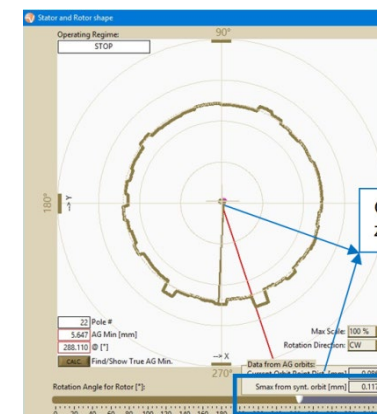
Усадка обода бандажа



Заклиновка опор статора



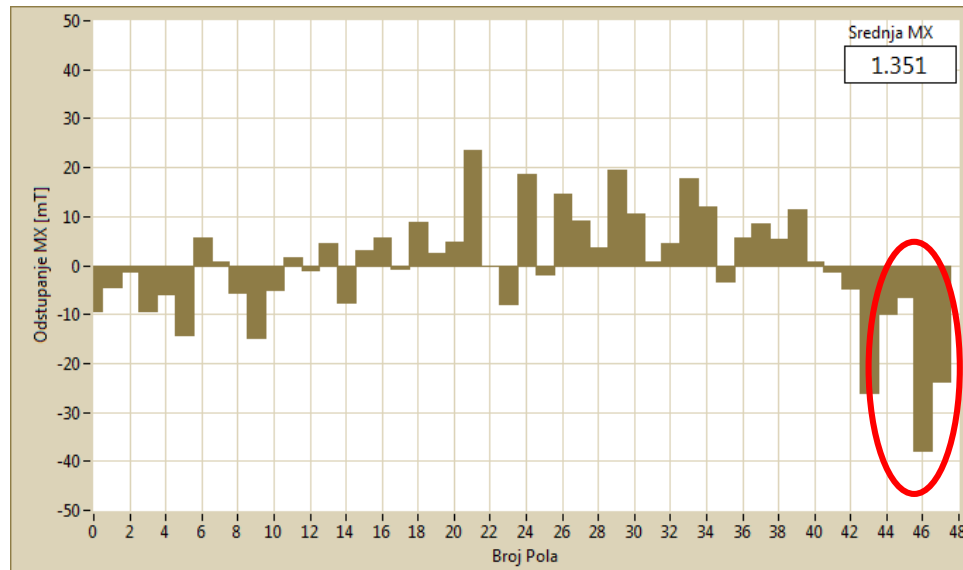
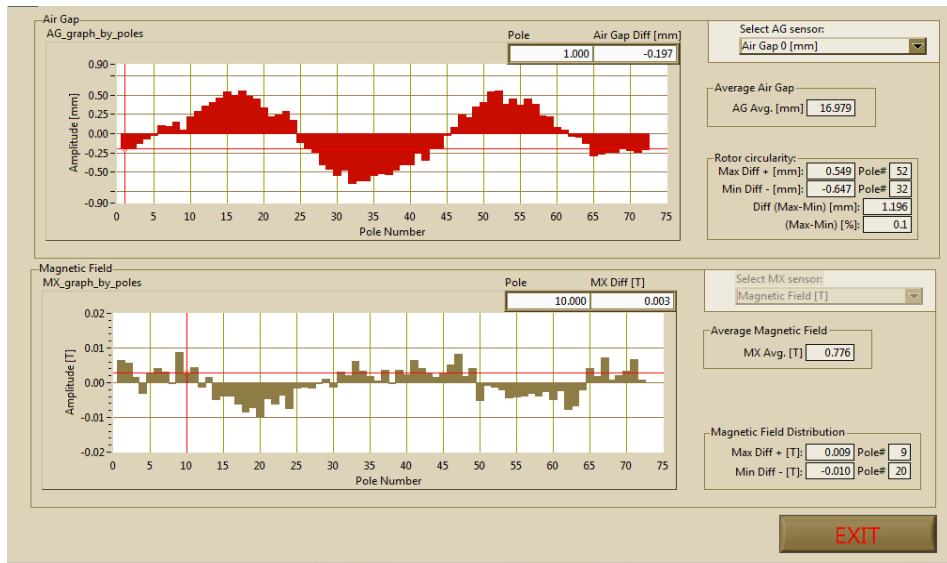
Выдавливание полюса



Корреляция воздушного зазора и магнитного потока

— потока

Короткозамкнутый полюс ротора



Отклонение от среднего значения

Значение магнитного потока полюса превышает среднее значение



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ
ВОПРОСЫ?