

КРОК

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ
ОБОРУДОВАНИЯ

Константин Голубев

Руководитель практики информационных систем
управления производственными процессами
KGolubev@croc.ru



О КОМПАНИИ

ВЫРУЧКА ЗА 2018 г.: 30,3 млрд руб.

ТОП
3 | на рынке
системной
интеграции
России**

ТОП
3 | лидеров рынка
ИТ-услуг
России***

ТОП
5 | крупнейших
консалтинговых
компаний
России***

ТОП
10 | крупнейших
ИТ-компаний
России***

* Управление производством, 2016–2019 ** IDC, 2018 *** РА Эксперт, 2019

>2000
проектов в год

>2000
сотрудников

>360
партнеров

40
российск
их

10
азиатски
х

30
open
source

9 Центров решений и свыше **10** демонстрационных лабораторий, в том числе Центр виртуальной реальности

Сертификат качества **ГОСТ ISO 9001-2015**,
система качества действует более **15** лет

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА

САИД — система автоматизированной интеллектуальной диагностики

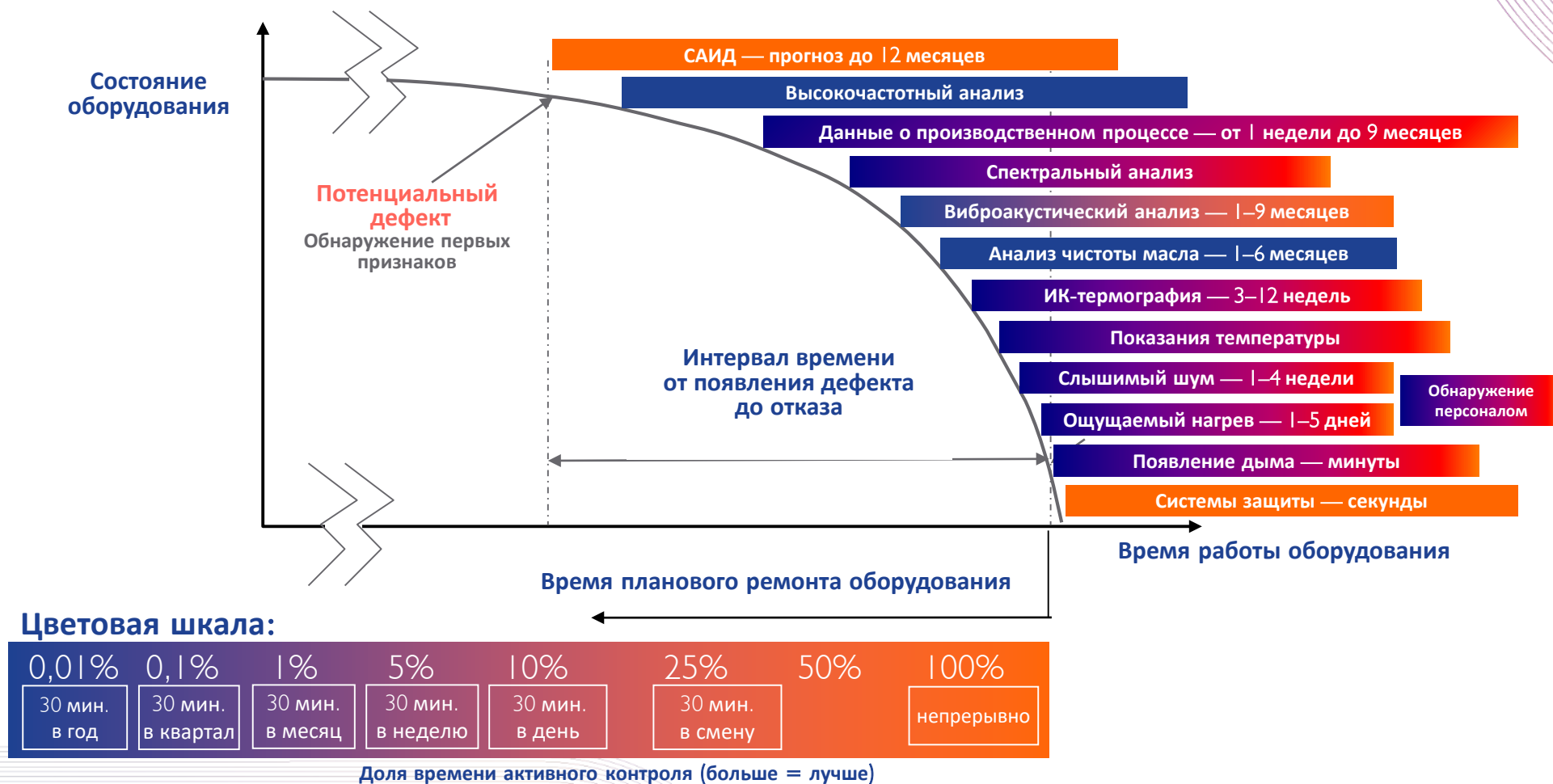
Использование системы диагностики электрических машин позволяет:

- ✓ Производить оперативную диагностику и мониторинг электрических машин и приводимого оборудования
- ✓ Обеспечивать работоспособное состояние оборудования, осуществлять выявление дефектов и прогнозировать их дальнейшее развитие

Объекты наблюдения и диагностики:

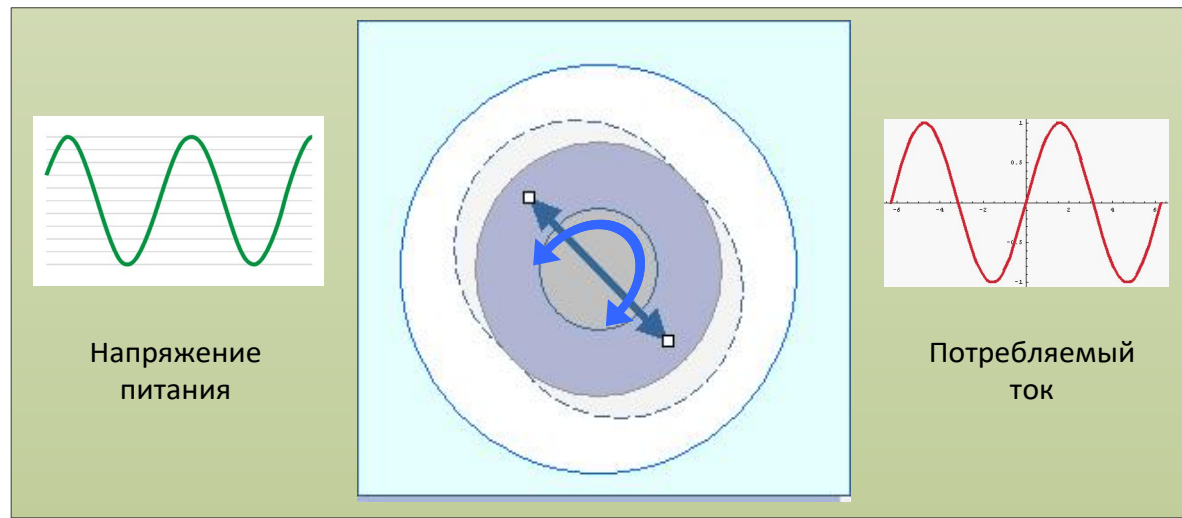
- Электроприводы переменного тока: насосы, вентиляторы, компрессоры, конвейеры, эскалаторы и др.
- Генераторы и генераторные системы: турбогенераторы, дизель-генераторы

ПРЕДИКТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ



СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

САИД использует саму электрическую машину как «датчик» для анализа состояния всей механической системы



Входным сигналом служит питающее напряжение, несущая (сетевая) частота которого модулируется работой самого двигателя и формирует выходной сигнал в виде спектра гармоник потребляемого тока

КРОК



ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ

В САИД реализовано четыре параллельно работающих алгоритма для обнаружения неисправностей:

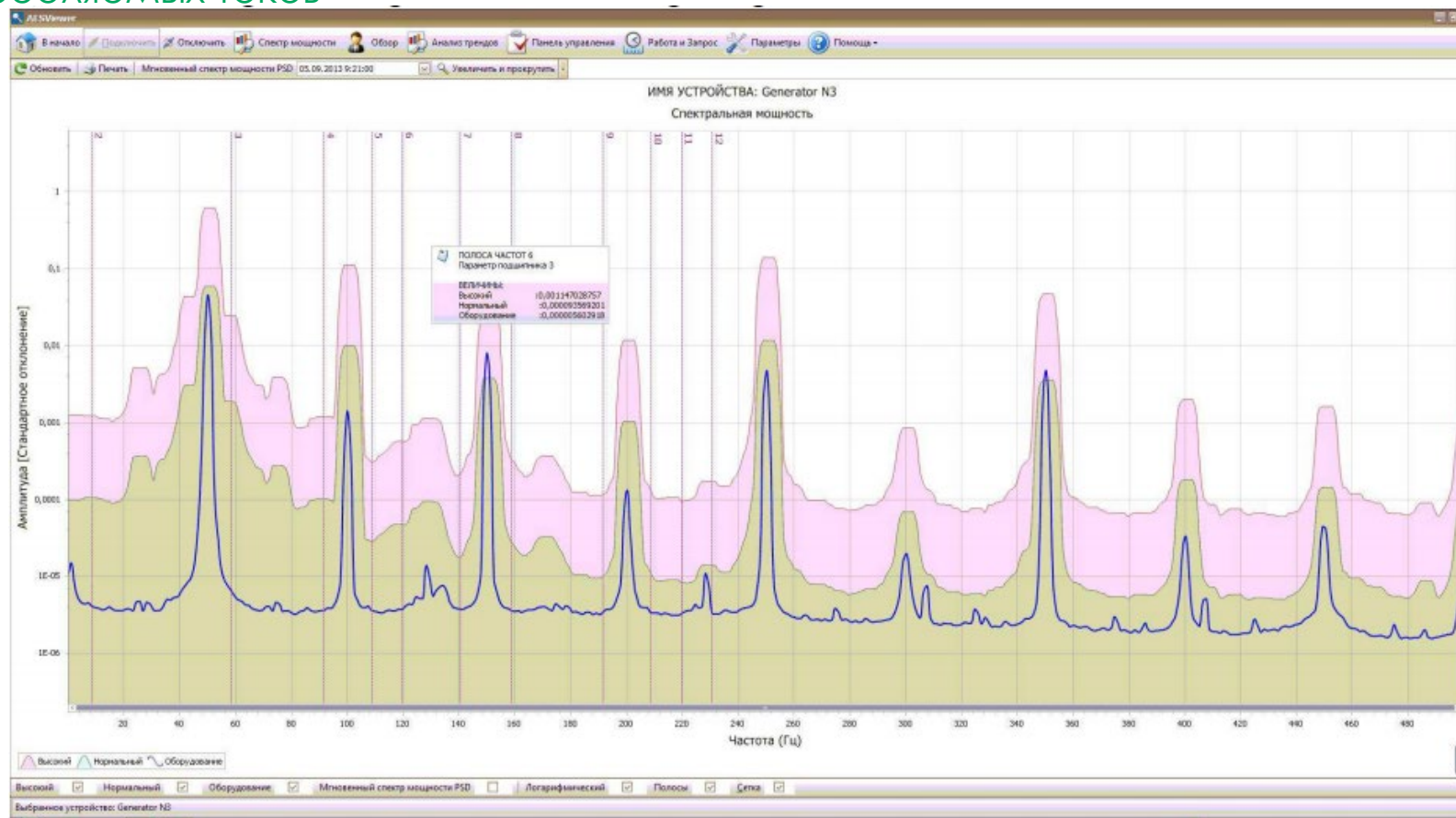
- Спектральная плотность мощности (СПМ) — для электрических и механических дефектов
- Электрическое моделирование роторной машины — для электрических проблем двигателя
- Специальный алгоритм группировки данных позволяет определить изменения в питании и нагрузке
- Физические параметры, такие как несимметрия токов и напряжений, коэффициент мощности, помогают определить электрические проблемы

Механические параметры оборудования		Электрические параметры оборудования	
В порядке	Ослабление крепления / Компоненты	В порядке	Коэффициент мощности 0.85
В порядке	Дисбаланс / Несоосность / Муфты / Подшипники	В порядке	Активная мощность [кВт] 42
В порядке	Лопасть / Элем. передачи / Приводимое оборудование	В порядке	Реактивная мощность [кВар] 26
В порядке	Подшипник	В порядке	U [В] 214
В порядке	Ротор	В порядке	I [А] 78
В порядке	Ослабление обмотки / Статор / Короткое замыкание	В порядке	Общая несимметрия U [%] 0.31
В порядке	Внутренние электрические неисправности	В порядке	Общая несимметрия I [%] 1.3
В порядке	Внешние электрические неисправности	В порядке	Частота [Гц] 50
В порядке	Другой	В порядке	КНИ [%] 0.45
В порядке	Состояние линии	В порядке	3-я гармоника [%] 0.13
В порядке	Состояние нагрузки	В порядке	5-я гармоника [%] 0.10
В порядке		В порядке	7-я гармоника [%] 0.21
В порядке		В порядке	9-я гармоника [%] 0.02
В порядке		В порядке	11-я гармоника [%] 0.12
В порядке		В порядке	13-я гармоника [%] 0.11

Информация об оборудовании		База данных (за последние пять часов)	
Имя оборудования	tez5_2	Дата начала	09/20/2012 11:54:26
Типа оборудования	Насос	Дата окончания	09/20/2012 16:54:26
Номинальное напряжение [В]	220	Число точек данных	193
Номинальный ток [А]	135	База данных (полная)	
Скорость вращения [об/мин]	2965	Диапазон базы данных	01/27/2000 - 10/30/2012
Адрес УДЭ1975-АД	4	Число точек данных	218 (196/218)

АНАЛИЗ СПЕКТРА

Нарушения в работе двигателя могут быть выделены в спектре потребляемых токов. Речь идет не только о нарушениях в электрической части: целый ряд механических неисправностей вызывает **характерные и специфические только для них изменения в спектре потребляемых токов**



ВИДЫ ОБНАРУЖИВАЕМЫХ ДЕФЕКТОВ

Дефекты электрической части машины:

- Дефекты питающей сети, несимметрия питающего напряжения, нарушения контактного соединения в цепи питания, проблемы с компенсатором реактивной мощности
- Дефекты самой машины: дефекты ротора и статора, короткое замыкание, ослабление обмоток статора и т.п.

Дефекты механической части машины: разбалансировка ротора, дефекты подшипников роторной машины и приводного оборудования, ослабление крепления к фундаменту, дефект лопастей вентилятора, засорение масла, перегрузка машины или несоосность нагрузки и т. д.

Нарушение технологических процессов: кавитация, турбулентность и т. п.
Например:

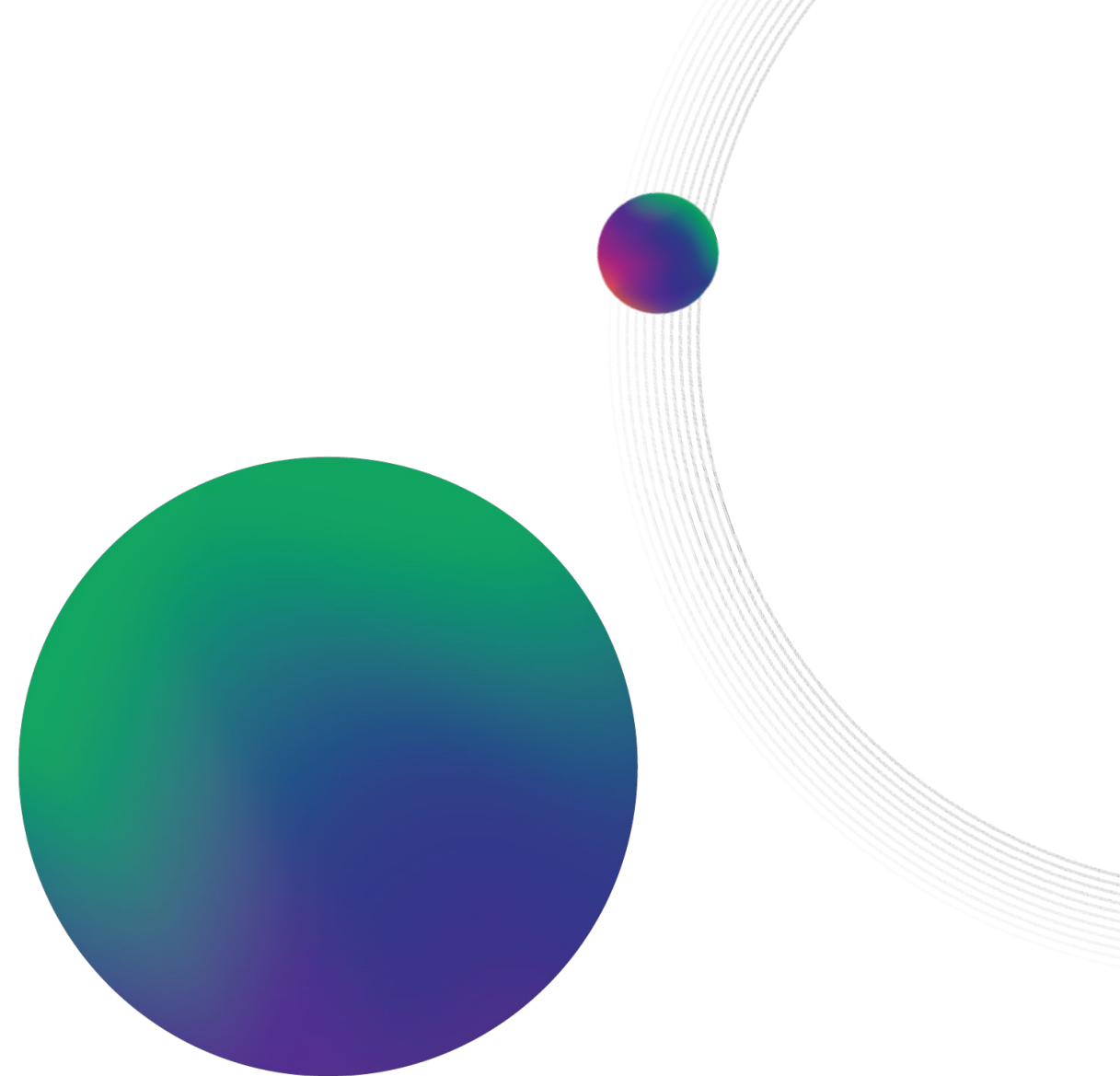
- | | |
|--|---|
| ➤ ослабленное крепление опоры / деталей | ➤ дефекты элементов трансмиссии / приводного оборудования |
| ➤ разбалансировка ротора | ➤ дефекты ротора |
| ➤ нарушение сцепления двигателя с приводными механизмами | ➤ дефекты обмотки статора |
| ➤ дефекты подшипников | ➤ дефекты контактных соединений |



Мобильная реализация комплекса

ПРЕИМУЩЕСТВА САИД

- ✓ **Не требуется установка дополнительных датчиков:** диагностика электрических машин по спектру потребляемого тока не требует установки датчиков непосредственно на корпусе или, что еще более затруднительно, внутри контролируемого агрегата
- ✓ **Выявление неисправностей на ранних стадиях:** метод позволяет выявить неисправности электрической и механической частей машины на ранних стадиях, когда их выявление другими методами еще не возможно
- ✓ **Устойчивость к помехам:** «датчик», в роли которого выступает электрическая машина, использует достаточно высокие уровни «сигналов», которые позволяют исключить влияние электромагнитной обстановки в месте установки двигателя или вдоль кабельной трассы



ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ САИД

10%

снижение
эксплуатационных
расходов

30%

снижение избыточных
планово-
предупредительных
работ

5%

увеличение средней
производительности
оборудования

2–5%

экономия
электроэнергии

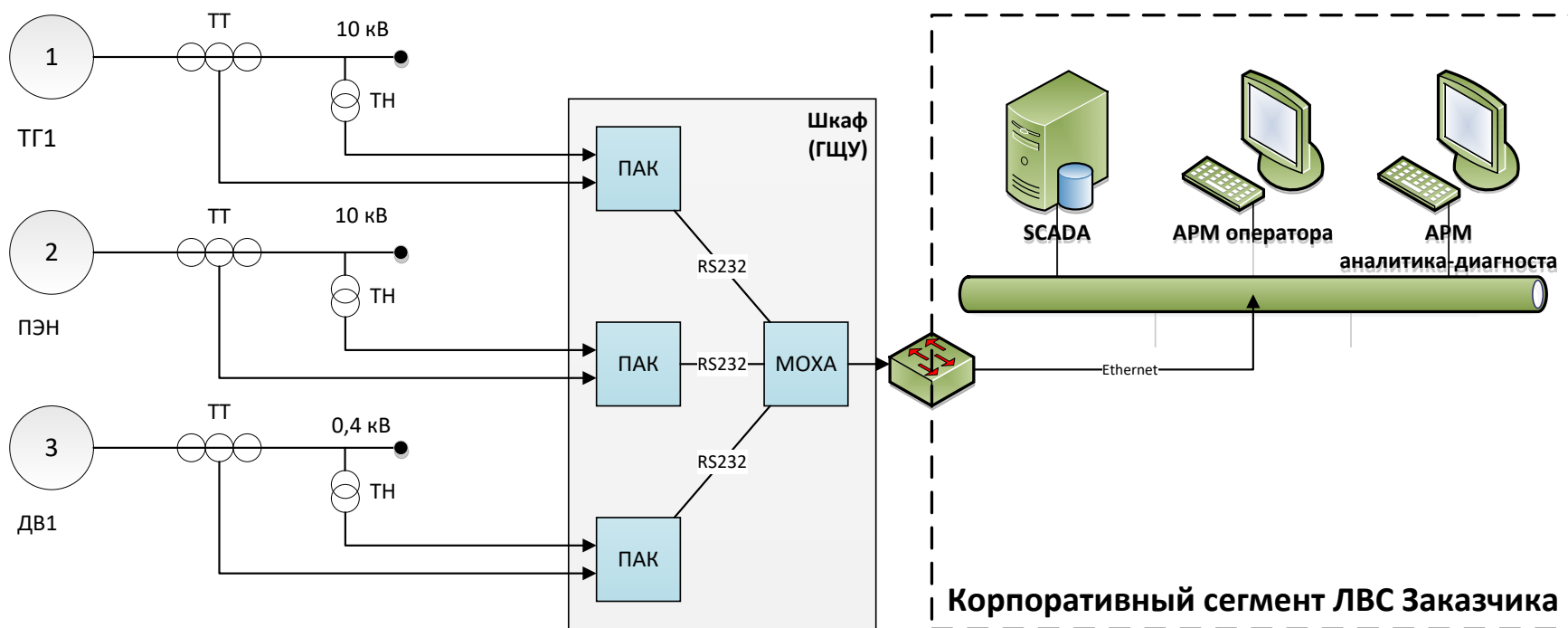
+ Повышение надежности оборудования

КРОК



СТАЦИОНАРНАЯ СИСТЕМА НА ПЛОЩАДКЕ ЗАКАЗЧИКА

Отчуждаемая система. Находится в ведении, под управлением и обслуживанием персонала заказчика. Требуется наличие в штате обученного диагностического персонала

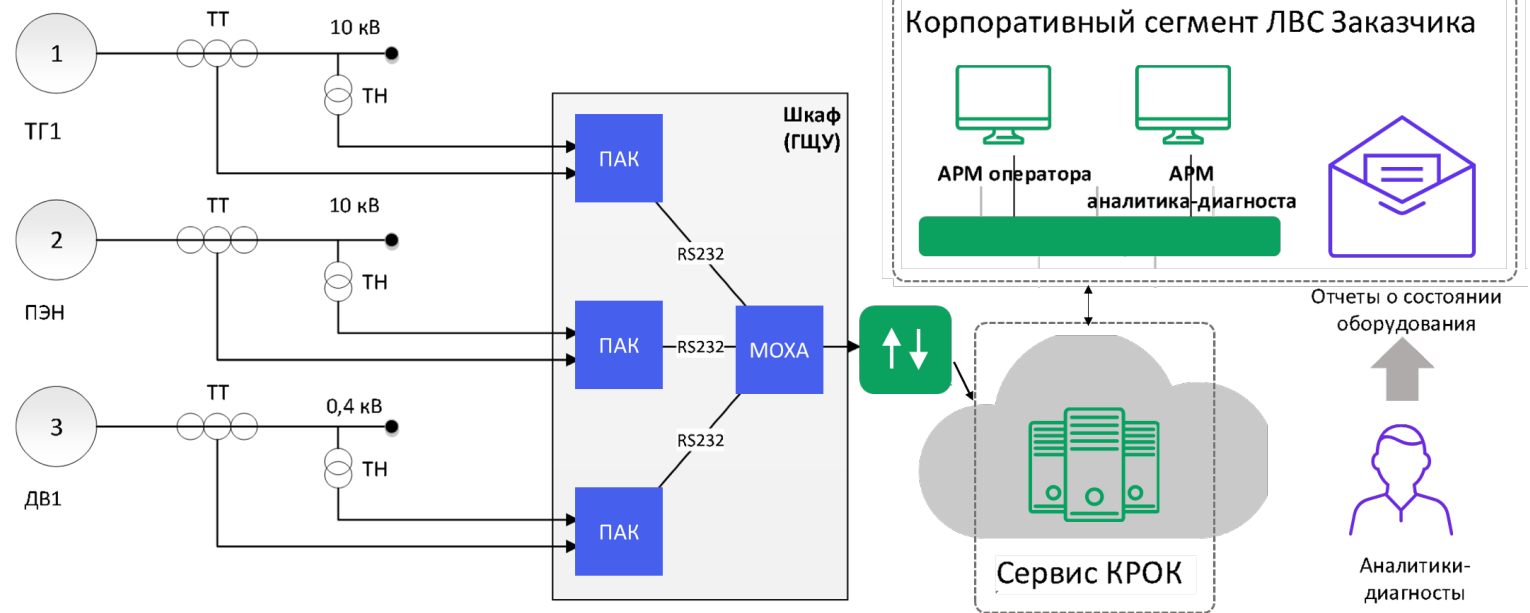


ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА КРОК

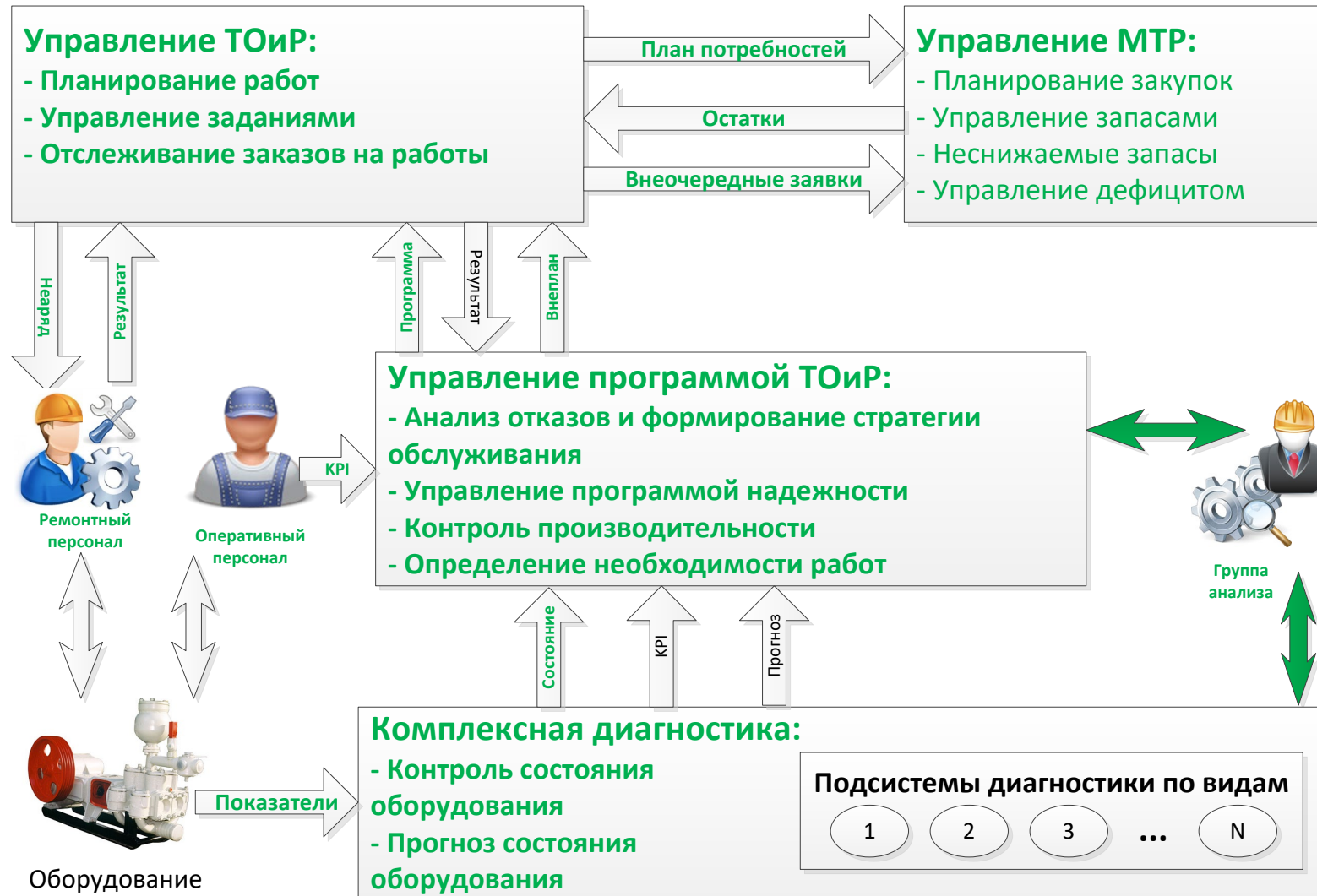


В облаке КРОК размещается верхний аналитический уровень системы, а на объекте устанавливаются контроллеры измерения, разложения в спектр и первичный анализ данных.

Такой вариант реализации системы позволяет привлекать специалистов-диагностов КРОК как на периодической, так и на постоянной основе, для проведения сложного анализа и формирования периодических отчетов о состоянии экземпляров оборудования.



МЕСТО ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ В ЦИКЛЕ ТОиР





РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРОЕКТЫ

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ (ТГК)

Тип электрической машины:

турбогенератор

Тип турбины: ТВФ-120-2У3

Параметры:

Номинальное напряжение: 10,5 кВ

Номинальный ток статора: 6875 А

Частота сети: 3 ~ 50 Гц

Номинальная частота вращения вала:
3000 об/мин

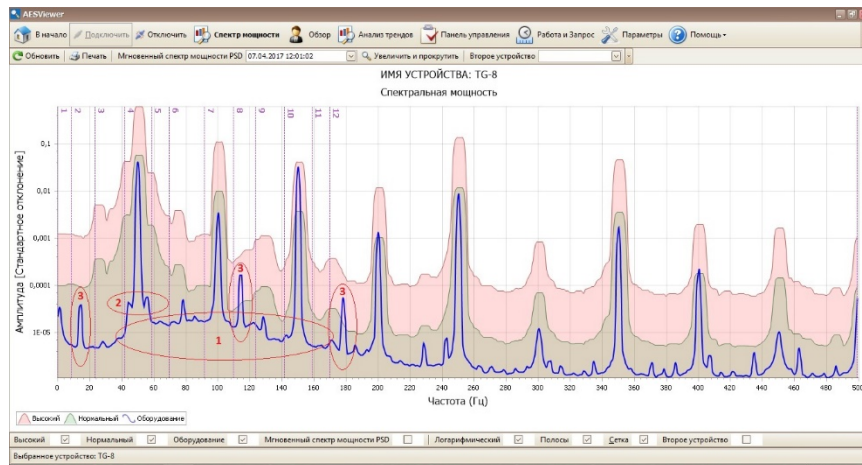
Схема подключения: Звезда

Параметры трансформаторов:

Коэффициент трансформации по напряжению:
10000/100

Коэффициент трансформации по току: 8000/5

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ



- Область среднестатистических значений
- Область допустимых значений
- Кривая измерений в соотношении с областями значений

- общий подъем спектра в широком диапазоне с центром во второй гармонике оборотной частоты ротора (область 1)
- присутствие боковых пиков у первой гармонике оборотной частоты ротора (область 2)
- наличие дробных гармоник с кратностью 1/3 от оборотной частоты вращения (область 3)

ВЫВОДЫ О СОСТОЯНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

1. Несинхронные компоненты имеют частоту, близкую к частоте основной гармонике процесса и вызваны множеством нестационарных соударений, что в свою очередь указывает на ослабление посадки конструктивных элементов на валу ротора (например: неплотная посадка либо сильный износ соединительной муфты, слабое крепление магнитной системы возбuditеля на валу)
2. Присутствие боковых пиков у первой гармонике оборотной частоты ротора (область 2) говорит о мизерных замедлениях и ускорениях ротора вследствие воздействия механического ослабления (люфта) конструктивных элементов на валу ротора либо большого зазора в опорном подшипнике
3. Наличие дробных гармоник с кратностью 1/3 от оборотной частоты вращения (область 3) подтверждает гуляние ротора в зазоре с прижиманием шейки вала ротора к вкладышам подшипника с частотой 1 раз за 3 оборота ротора.

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ (ТГК)

Тип электрической машины:

турбогенератор

Тип турбины: ТВФ-120-2У3

Параметры:

Номинальное напряжение: 10,5 кВ

Номинальный ток статора: 6875 А

Частота сети: 3 ~ 50 Гц

Номинальная частота вращения вала:
3000 об/мин

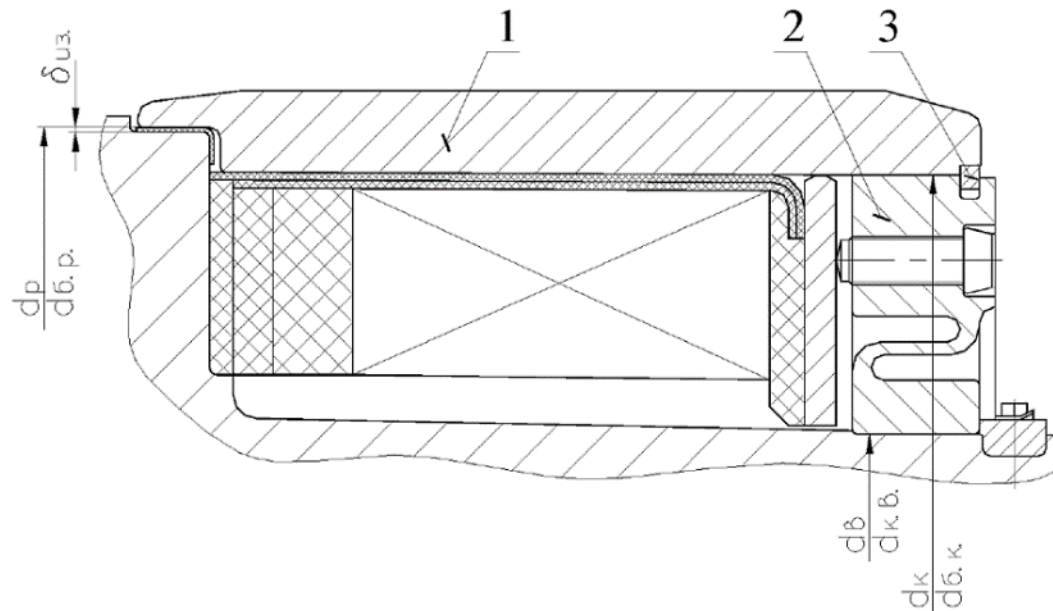
Схема подключения: Звезда

Параметры трансформаторов:

Коэффициент трансформации по напряжению:
10000/100

Коэффициент трансформации по току: 8000/5

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕФЕКТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ



1 – кольцо бандажное; 2 – кольцо центрирующее; 3 – кольцо пружинное.

Рисунок 2 – Бандажный узел ротора

Дефекты, диагностируемые специалистами КРОК системой автоматизированной интеллектуальной диагностики на паровой турбине типа Т-110/120-130 ТМЗ, генераторе типа ТВФ-120-2У3 до вывода в капитальный ремонт при разборке и дефектации, в частности, «ослабление посадки конструктивных элементов на валу ротора и большие зазоры в опорных подшипниках», **находят свое подтверждение в фактическом состоянии оборудования в период проведения капитального ремонта**

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ (ТГК)

Тип электрической
машины: питательный
насос (ПЭН)

Тип электродвигателя:
4А3М-4000/6000

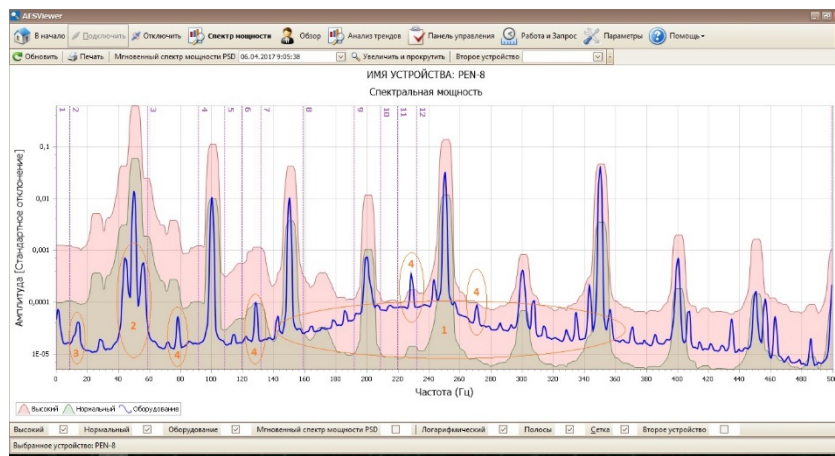
Параметры:

Номинальное напряжение: 6000 В
Номинальный ток статора: 444 А
Частота сети: 3 ~ 50 Гц
Номинальная частота вращения вала:
2982 об/мин
Схема подключения: Звезда

Параметры трансформаторов:

Коэффициент трансформации по напряжению:
6000/100
Коэффициент трансформации по току: 600/5

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ



- общий подъем спектра в достаточно широком диапазоне с центром на частоте 250 Гц (область 1)
- боковые пики у первой гармоники оборотной частоты ротора (область 2)
- субгармоника на частоте кратной 1/3 от оборотной (область 3)
- гармоники с кратностью 1/2 от оборотной (область 4)

ВЫВОДЫ О СОСТОЯНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

1. Поднятие общего уровня амплитуд с явно выраженным центром на частоте 250 Гц (область 1) указывает на сосредоточение мощности сигнала в одной частотной полосе и вызывается наличием несинхронных компонент вблизи этого центра. Мощность амплитуд в спектре токового сигнала сосредоточена на частоте 250 Гц, а частота вращения ротора составляет 50 Гц, значит происходит около 5 соударений конструктивных элементов вала друг об друга за его 1 полный оборот. Эти соударения приводят к незначительным замедлениям и ускорениям ротора, что отображается на спектре в виде боковых пиков у первой гармоники оборотной частоты вала (область 2).
2. Наличие дробной гармоники с кратностью 1/3 от оборотной частоты вращения (область 3) подтверждает гуляние ротора в зазоре с прижиманием шейки вала ротора к вкладышам подшипника с частотой 1 раз за 3 оборота ротора.
3. Ряд дробных гармоник с кратностью 1/2 (области 4) от оборотной частоты вращения вала возникает при увеличении зазора между вкладышем и шейкой вала.

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ (ТГК)

Тип электрической
машины: питательный
насос (ПЭН)

Тип электродвигателя:
4А3М-4000/6000

Параметры:

Номинальное напряжение: 6000 В
Номинальный ток статора: 444 А
Частота сети: 3 ~ 50 Гц
Номинальная частота вращения вала:
2982 об/мин
Схема подключения: Звезда

Параметры трансформаторов:

Коэффициент трансформации по напряжению:
6000/100
Коэффициент трансформации по току: 600/5

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕФЕКТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Дефекты, диагностируемые специалистами КРОК системой автоматизированной интеллектуальной диагностики на ПЭН до вывода в капитальный ремонт при разборке и дефектации, в частности, **«увеличение зазора между вкладышем и шейкой валах»**, находят свое подтверждение в фактическом состоянии оборудования в период проведения капитального ремонта.



ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ (ТГК)

Тип электрической
машины: дутьевой
вентилятор (ДВ)

Тип электродвигателя:
ДАЗО12-55-6/8

Параметры:

Номинальное напряжение: 0,4 кВ

Номинальный ток статора: 220/480 А

Частота сети: 3 ~ 50 Гц

Номинальная частота вращения вала:

750/1000 об/мин

Схема подключения: Звезда

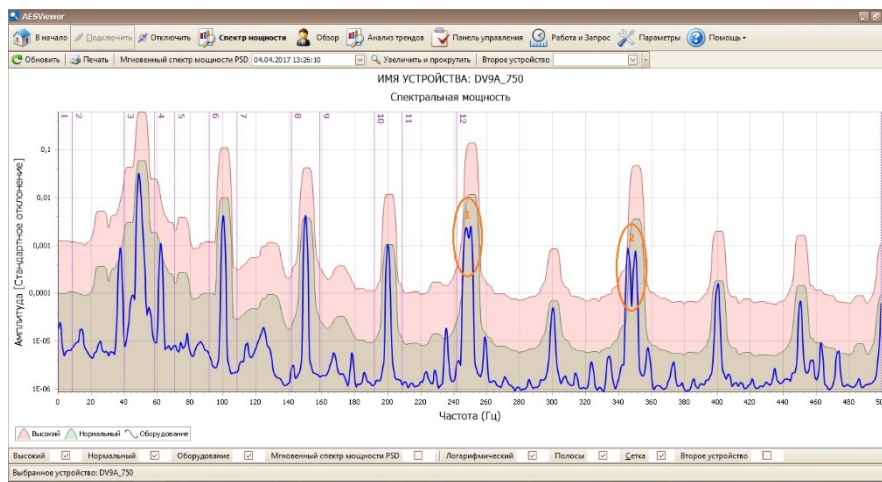
Параметры трансформаторов:

Коэффициент трансформации по напряжению: 1/1

Коэффициент трансформации по току: 600/5

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ

- присутствие бокового пика у пятой гармоники частоты питающего напряжения (область 1)
- присутствие бокового пика у седьмой гармоники частоты питающего напряжения (область 2)



ВЫВОДЫ О СОСТОЯНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Наличие боковых пиков у гармоник, кратных частоте питания электросети, при разных режимах работы дутьевого вентилятора говорит об электромагнитном характере дефекта. Гармоники, возникающие от электромагнитных процессов в статоре асинхронной машины, являются несинхронными: частота вращения ротора и частота питающей сети не кратны между собой, а различаются на частоту скольжения. Поэтому и происходит их отделение от основных гармоник, ответственных за электрическую составляющую.

Чаще всего появление боковых пиков от основных гармоник обуславливается общим ослаблением элементов крепления железа статора либо отслоением крайних листов и пакетов стали.

Данный вид дефекта проявляется при обоих режимах работы электропривода (1 и 2 скорости), что указывает на дефект, который носит общий характер для обоих режимов и не зависит ни от скорости вращения ротора, ни от количества и состояния обмоток статора (токи в фазных обмотках имеют разницу в значениях не более 1%). Общим остается активное железо статора.

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ (ТГК)

Тип электрической
машины: дутьевой
вентилятор (ДВ)

Тип электродвигателя:
ДАЗО12-55-6/8

Параметры:

Номинальное напряжение: 0,4 кВ
Номинальный ток статора: 220/480 А
Частота сети: 3 ~ 50 Гц
Номинальная частота вращения вала:
750/1000 об/мин
Схема подключения: Звезда

Параметры трансформаторов:

Коэффициент трансформации по напряжению: 1/1
Коэффициент трансформации по току: 600/5

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕФЕКТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Дефекты, диагностируемые системой автоматизированной интеллектуальной диагностики КРОК на ДВ до вывода в капитальный ремонт при разборке и дефектации, в частности, *«ослабление прессовки активного железа статора»* находят свое подтверждение в фактическом состоянии оборудования во время капитального ремонта



ВОДОКАНАЛ

Тип электрической

машины: НАСОС
ВОДОПОДГОТОВКИ

Тип электродвигателя:

синхронный СДВЗ-173/49-
10

Параметры:

Напряжение питания (линейное): 10 кВ

Номинальный ток: 135 А

Частота питающей сети: 50 Гц

Номинальная частота вращения вала: 600
об/мин

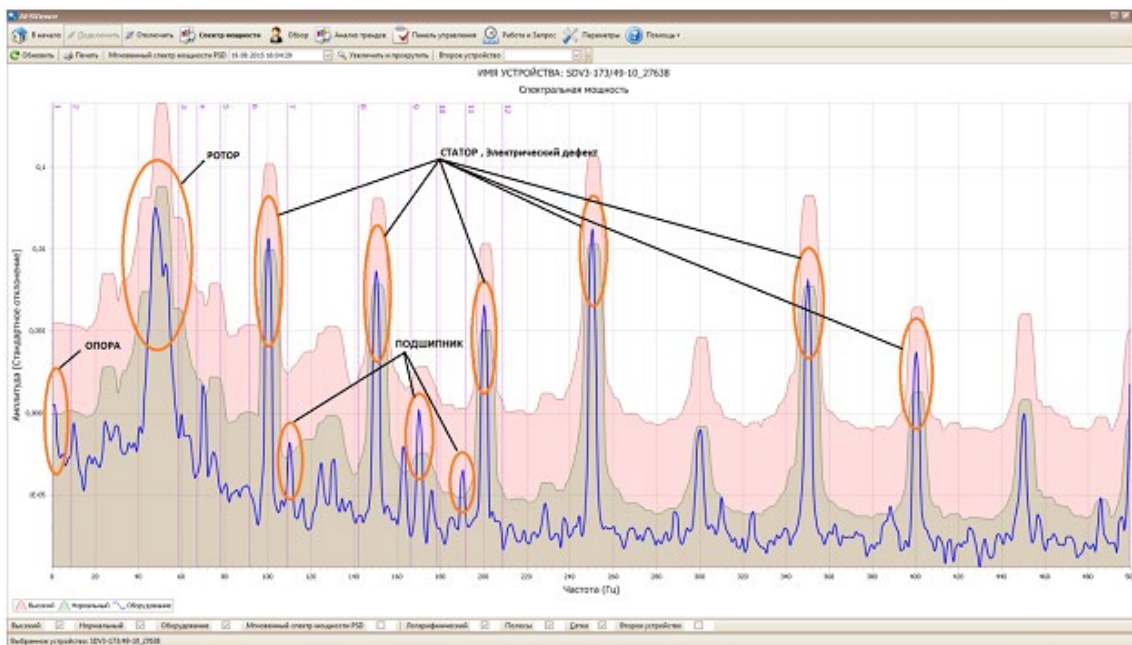
Схема подключения: Звезда

Параметры трансформаторов:

Коэффициент трансформации по напряжению:
10000/100

Коэффициент трансформации по току: 200/5

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ



ВЫВОДЫ О СОСТОЯНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

1. На частоте 2 Гц спектральная кривая незначительно выходит за пределы области нормальных значений (зеленая) для данного электродвигателя, что указывает на недостаточную фиксацию корпуса электродвигателя к фундаменту
2. Присутствие в первой гармонике спектра на частоте 50 Гц раздвоенного пика свидетельствует об обрыве одного или нескольких стержней ротора
3. Попадание спектральной кривой в область критических значений (красная) на частоте 100 Гц, а также кратным частоте питания (50 Гц), т. е. 150, 200, 250 Гц и т. д., указывает на присутствие проблемы, связанной с электрической составляющей (ухудшение изоляции обмоток статора)

4.



НА
1КОВЫХ

ЗАВОД ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Тип электрической
машины: привод
генератора

Тип электродвигателя:
Skoda W250

Параметры:

Номинальное напряжение: 380 В
Номинальный ток статора: 187 А
Активная мощность: 100 кВт
Частота сети: 3 ~ 50 Гц
Номинальная частота вращения вала: 1480 об/мин
Схема подключения: Треугольник

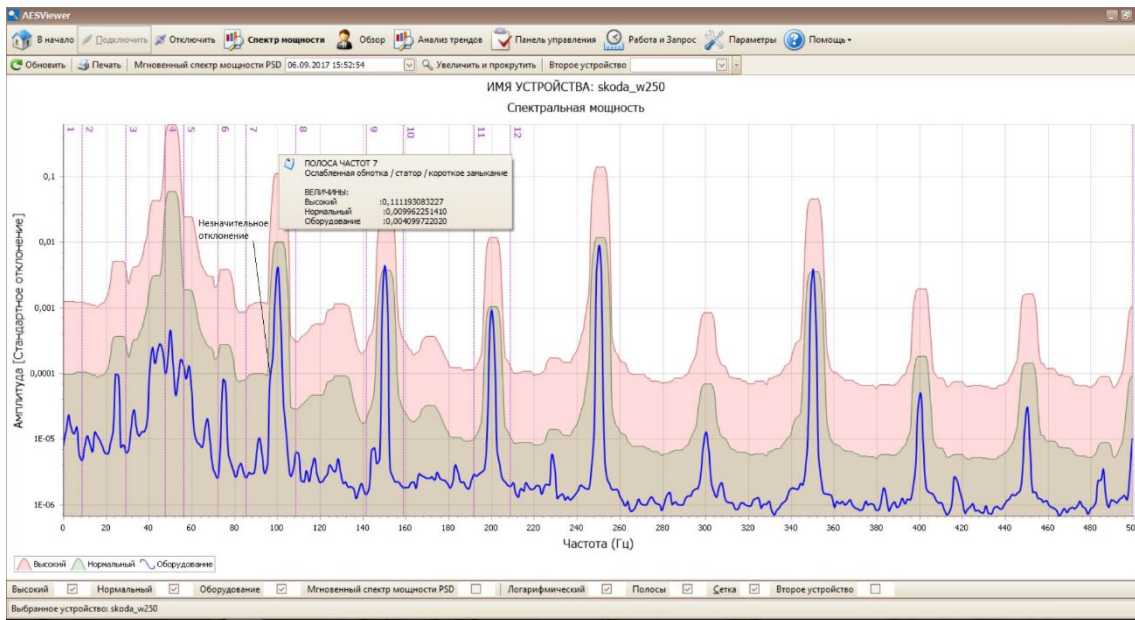
Параметры трансформаторов:

Коэффициент трансформации по напряжению: 1/1
Коэффициент трансформации по току: 250/5

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ

ВЫВОДЫ О СОСТОЯНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

1. При диагностировании состояния электропривода генератора, предназначенного для обеспечения энергоснабжением горизонтально-расточного станка SKODA W250, системой автоматизированной интеллектуальной диагностики (далее по тексту система диагностики) было зафиксировано отклонение по балансу между действующими значениями токов в фазах (превышает 5-процентный порог) и составило 7,24 %
2. Спектральная картина также подтверждает присутствие развивающегося дефекта в статоре. В частности, вторая гармоника в спектре (100 Гц), ответственная за состояние статора, имеет незначительные уширения в своем основании, что указывает на имеющиеся проблемы в статоре электродвигателя





СПАСИБО!

111033, Москва,
ул. Волочаевская, д. 5,
корп. 1

Тел. 74

www.croc.ru