



Мониторинг технического состояния турбогенераторов большой мощности Mladen Sasic, IRIS POWER

Что такое CBM?



- Обслуживание по техническому состоянию (CBM) – это метод профилактического технического обслуживания, направленный на выполнение действий по техническому обслуживанию на основании фактического состояния системы.
- Роль мониторинга, осмотра и испытания
- Если все 3 инструмента используются разумно, можно уменьшить, но не устранить вероятность вынужденных отключений.

Общие принципы испытания и мониторинга



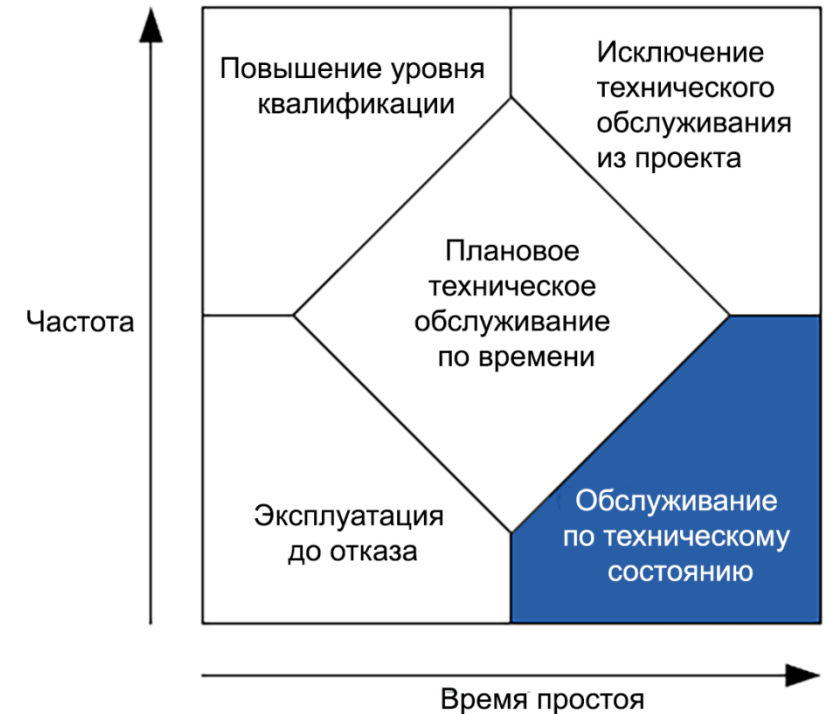
Испытание на пробой или корректирующее обслуживание

Плановое или профилактическое обслуживание

Обслуживание по техническому состоянию или диагностическое обслуживание

- Приоритетное обслуживание критического оборудования
- Приемочные испытания
- Определение причин неисправностей

Испытание в выключенном состоянии и непрерывный контроль





Испытание в автономном режиме

- Машина выводится из эксплуатации
- Большие затраты
- Отключение нагрузки
- Холодная обмотка
- Отсутствие вибрации
- Требуется источник испытательного напряжения

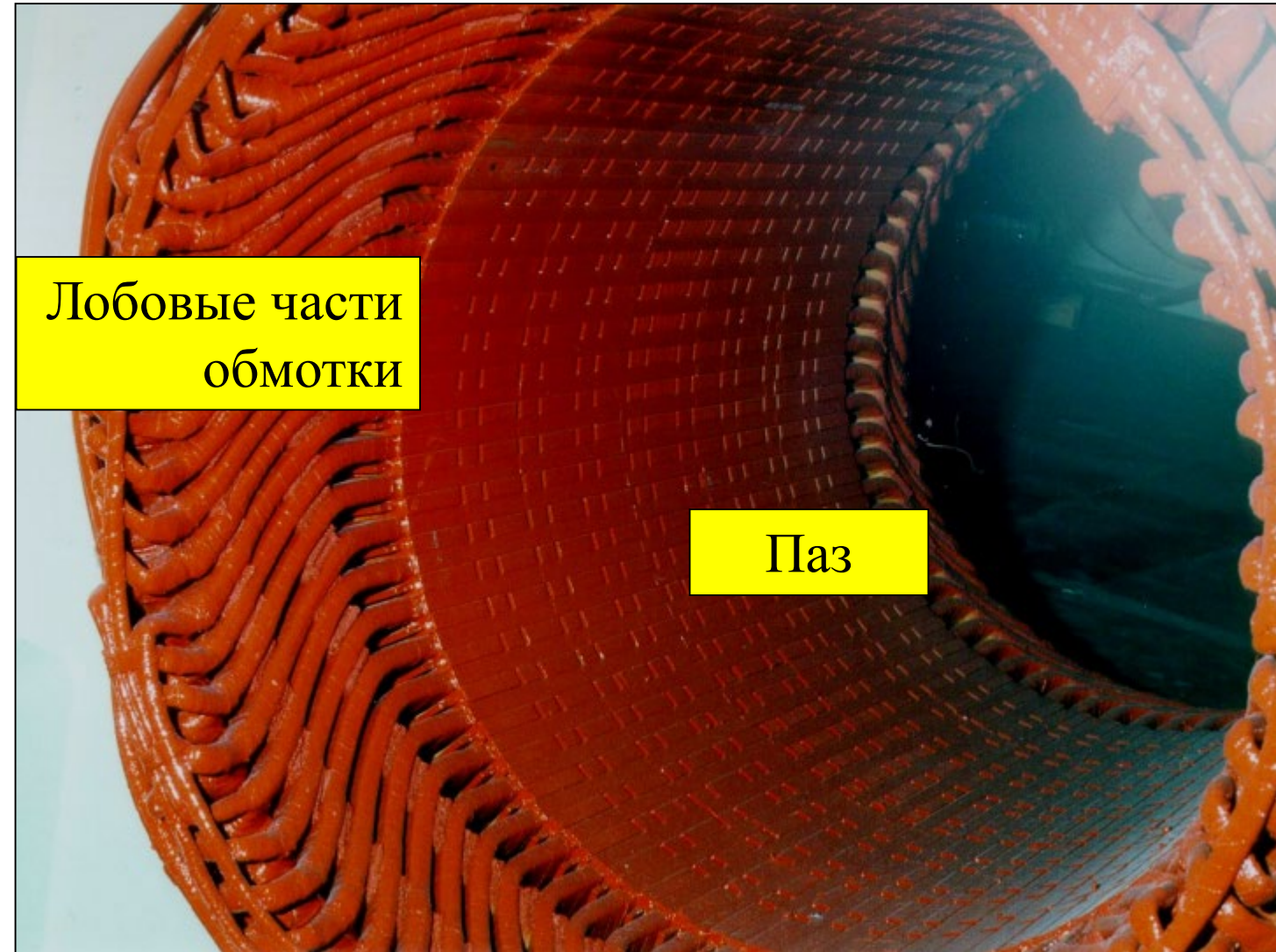
Непрерывный контроль

- Машина находится в эксплуатации
- Низкие затраты, экономия времени
- Нормальные уровни рабочего напряжения, температуры и вибрации
- Не требуется источник испытательного напряжения
- Приборы периодического или непрерывного контроля

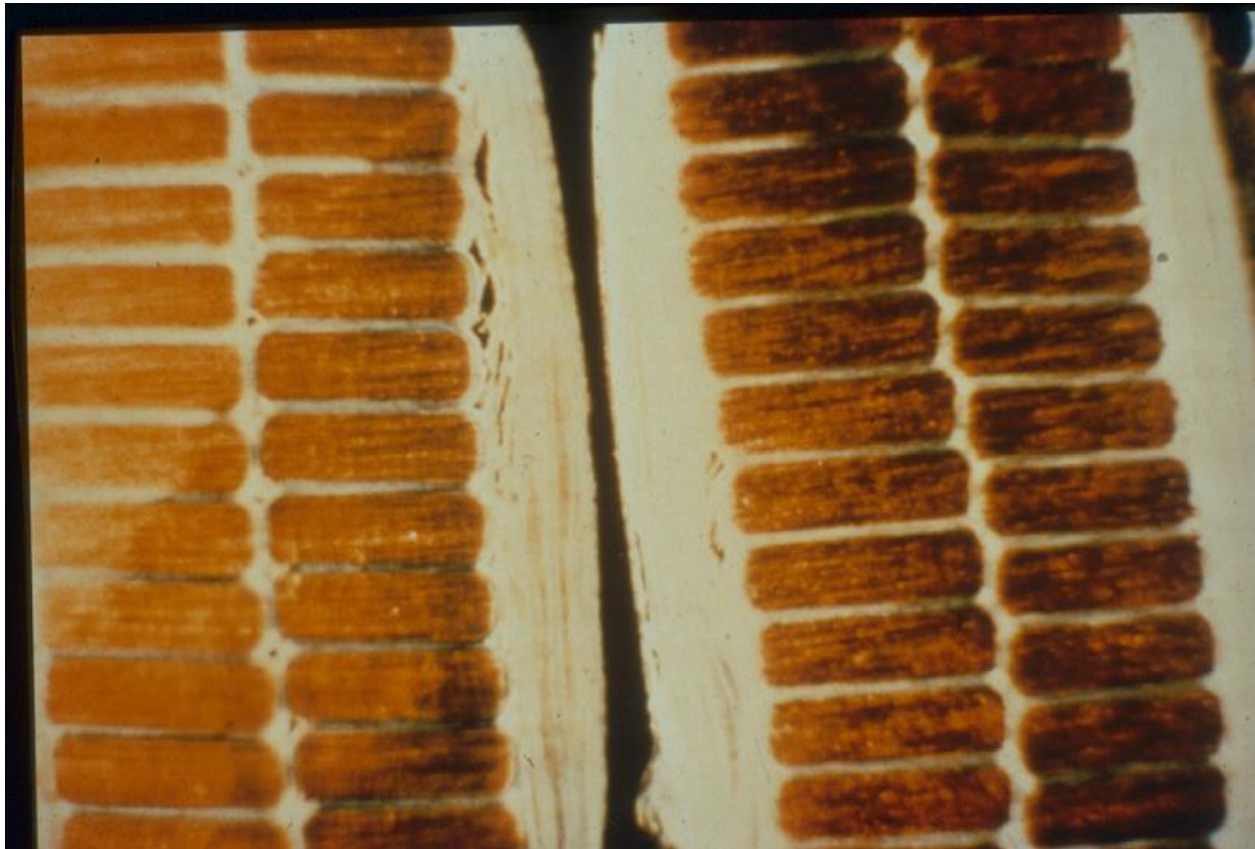


ЧАСТИЧНЫЙ РАЗРЯД

Каковы части обмотки статора?



Каковы общие проблемы?



Что такое частичные разряды?



- Электрические разряды малой мощности в заполненных воздухом полостях внутри изоляции высоковольтного электрооборудования или на ее поверхности.
- Они возникают потому, что электрическая прочность воздуха (3 кВ/мм) намного ниже, чем у твердой изоляции (~300 кВ/мм).
- Частичные разряды (ЧР) создают слабые импульсы напряжения.
 - Контроль частичных разрядов осуществляется путем обнаружения и измерения этих слабых импульсов напряжения.

... а вот классификация импульсов – нет!

Шум определяется как сигналы обмотки без статора, которые в явном виде не являются импульсами.

Возмущения представляют собой электрические импульсы относительно короткой длительности, которые могут обладать многочисленными свойствами импульсов частичного разряда обмотки статора, но на самом деле не являться таковыми.

Низкочастотный диапазон более подвержен шуму и помехам.

Во вращающихся машинах внешний шум не возникает одновременно и с одинаковой амплитудой на всех трех фазах.

В состав системы обнаружения ЧР входят:



■ Датчики



• Клеммная коробка

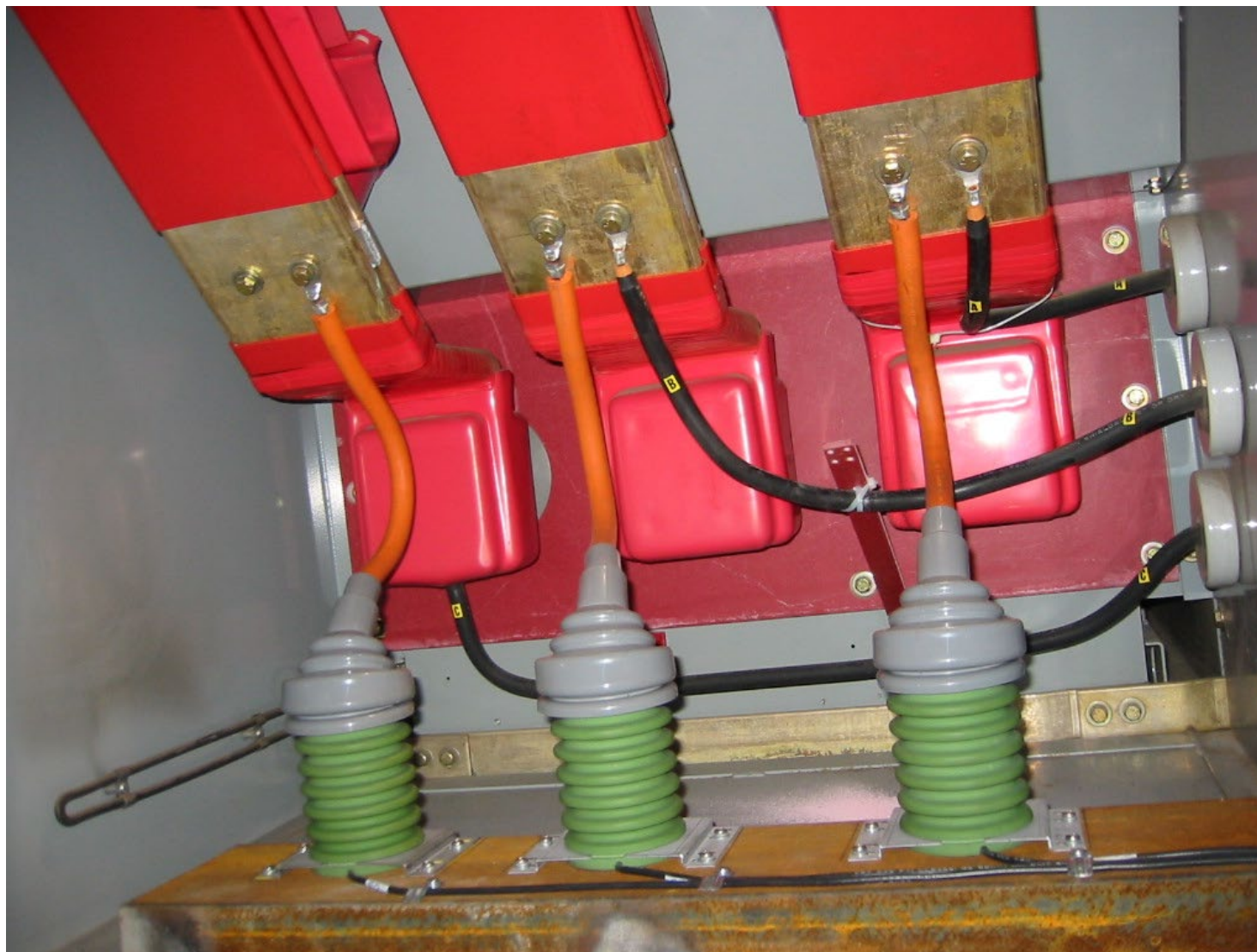


• Приборы

Переносные или стационарно установленные приборы



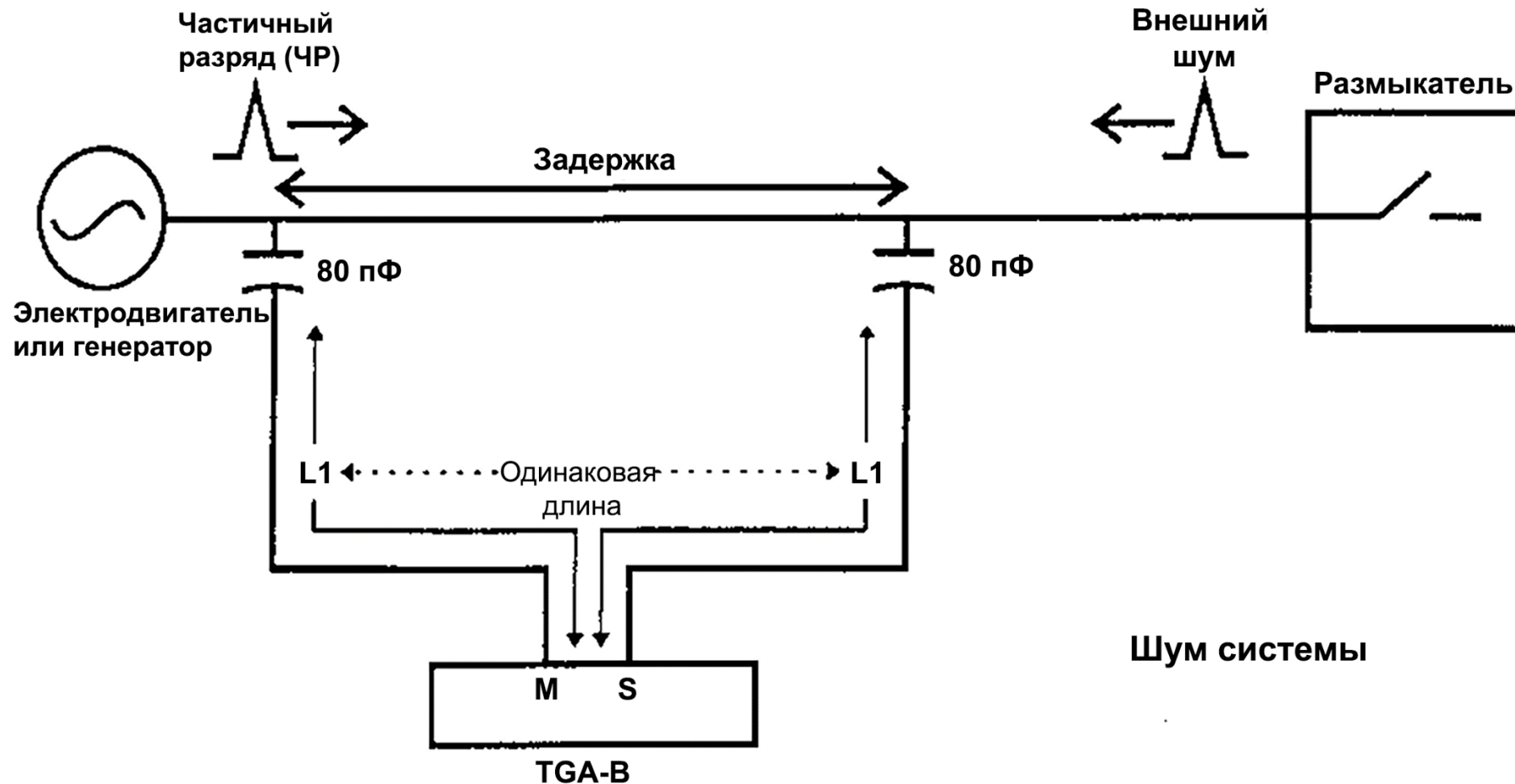
Эпоксидно-сланяные конденсаторы на клеммах машины



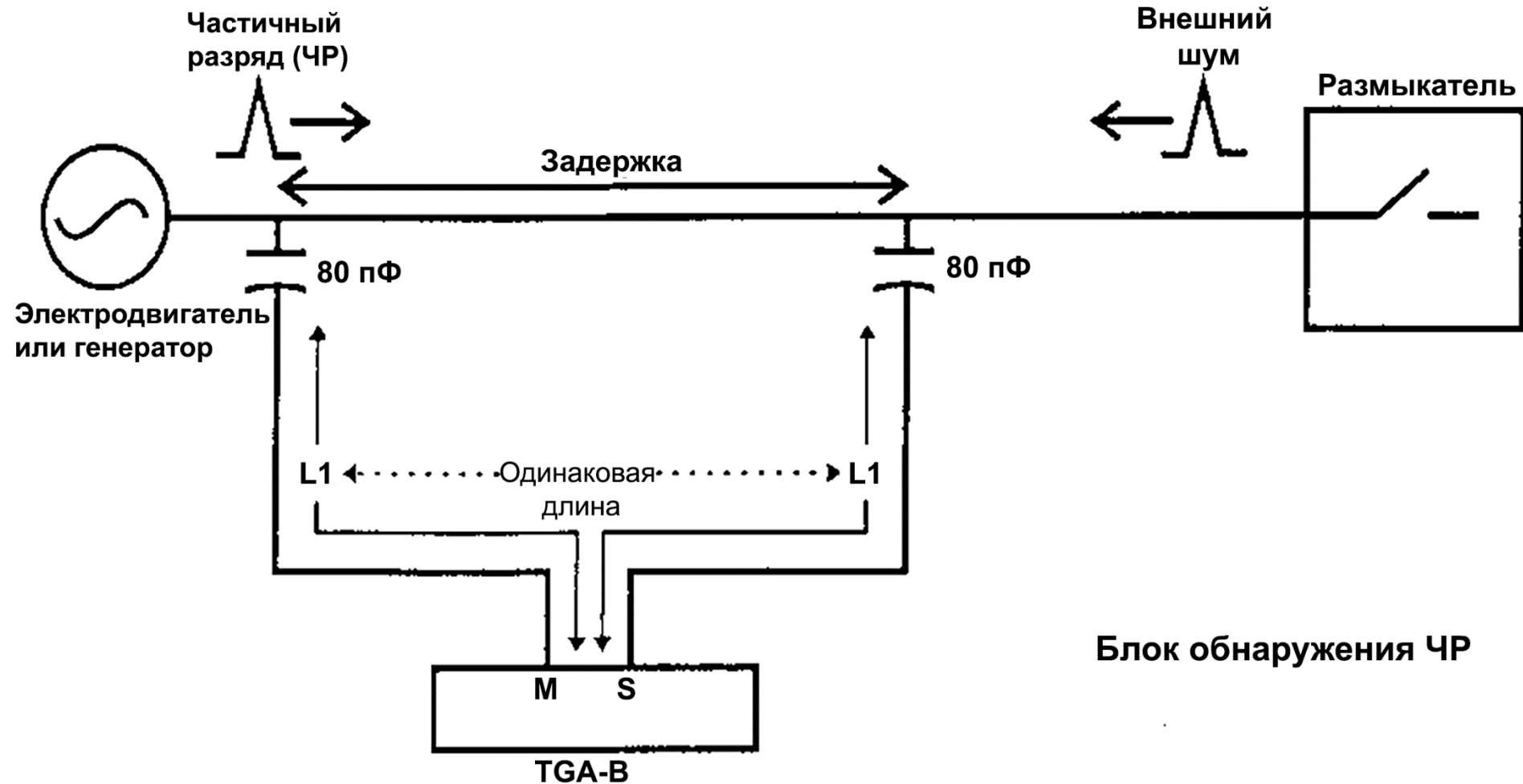
Установка антенного датчика в пазу статора



Время прихода и направление сигнала



Время прихода и направление сигнала



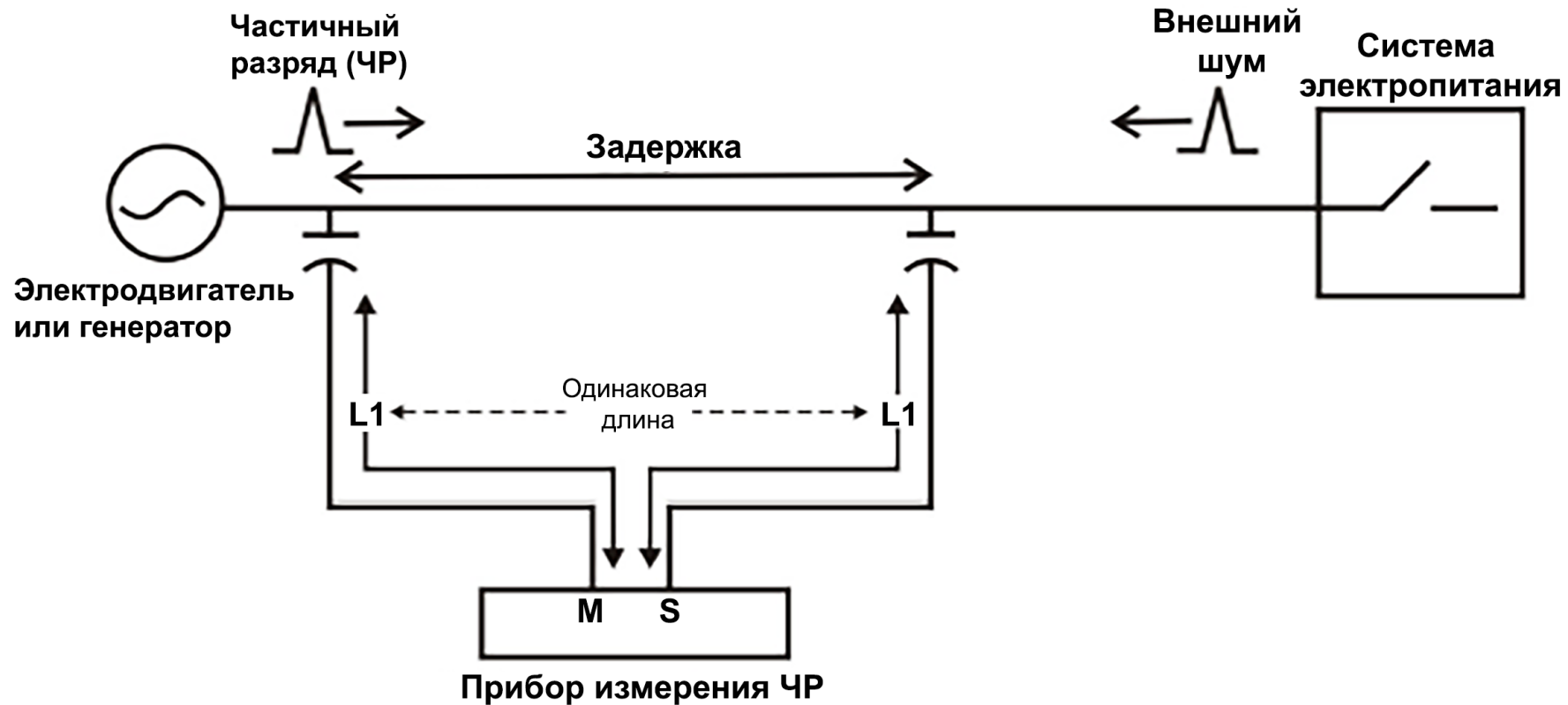


Рисунок 1 – Разделение помех во временном интервале по времени прихода импульса



ДА

- Прибор
- Датчики
- Напряжение
- Давление охлаждающего газа
- Тип монтажа
- Год установки
- Производитель
- Рабочая нагрузка и температура

НЕТ

- Тип компаунда (связующей смолы)
- Тип машины



- Более 660 000 результатов испытаний на тысячах машин
- Каждый год компания Iris публикует статистический диапазон Q_m (пиковые значения ЧР) для каждого типа статора (номинальное напряжение, воздушное или водородное охлаждение и тип датчика ЧР)
- Если значение Q_m статора превышает 90 % показаний, значит, состояние обмотки ухудшилось

Краткие выводы по мониторингу ЧР



- Хорошо зарекомендовавший себя метод непрерывного контроля изоляции обмотки статора
- Применим для всех вращающихся машин, рассчитанных на напряжение выше 4000 В
- Доступны различные датчики и приборы (переносные и стационарные)



ОБНАРУЖЕНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ВИТКОВ ОБМОТКИ РОТОРА

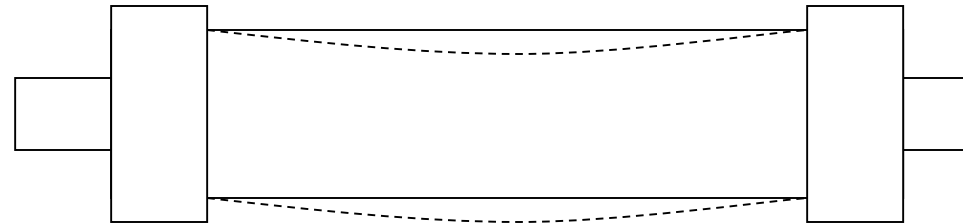


- Ограниченное количество систем мониторинга позволяют контролировать ротор турбогенератора в процессе работы.
- Контроль магнитного потока в воздушном зазоре является проверенной технологией для получения информации о целостности межвитковой изоляции обмотки ротора.
- Эта информация важна для планирования технического обслуживания, объяснения ненормальных вибраций и проверки целостности нового ротора и после ремонта.

Короткозамкнутые витки обмотки ротора



- Указывают на нарушение изоляции в роторе
- Результатом являются более высокие электрические потери и, следовательно, снижение мощности и КПД генератора, что может ограничить производительность машины
- Может привести к тепловому и магнитному дисбалансу и механическим вибрациям, поскольку короткозамкнутые обмотки работают в более низком температурном диапазоне



Датчики плотности магнитного потока



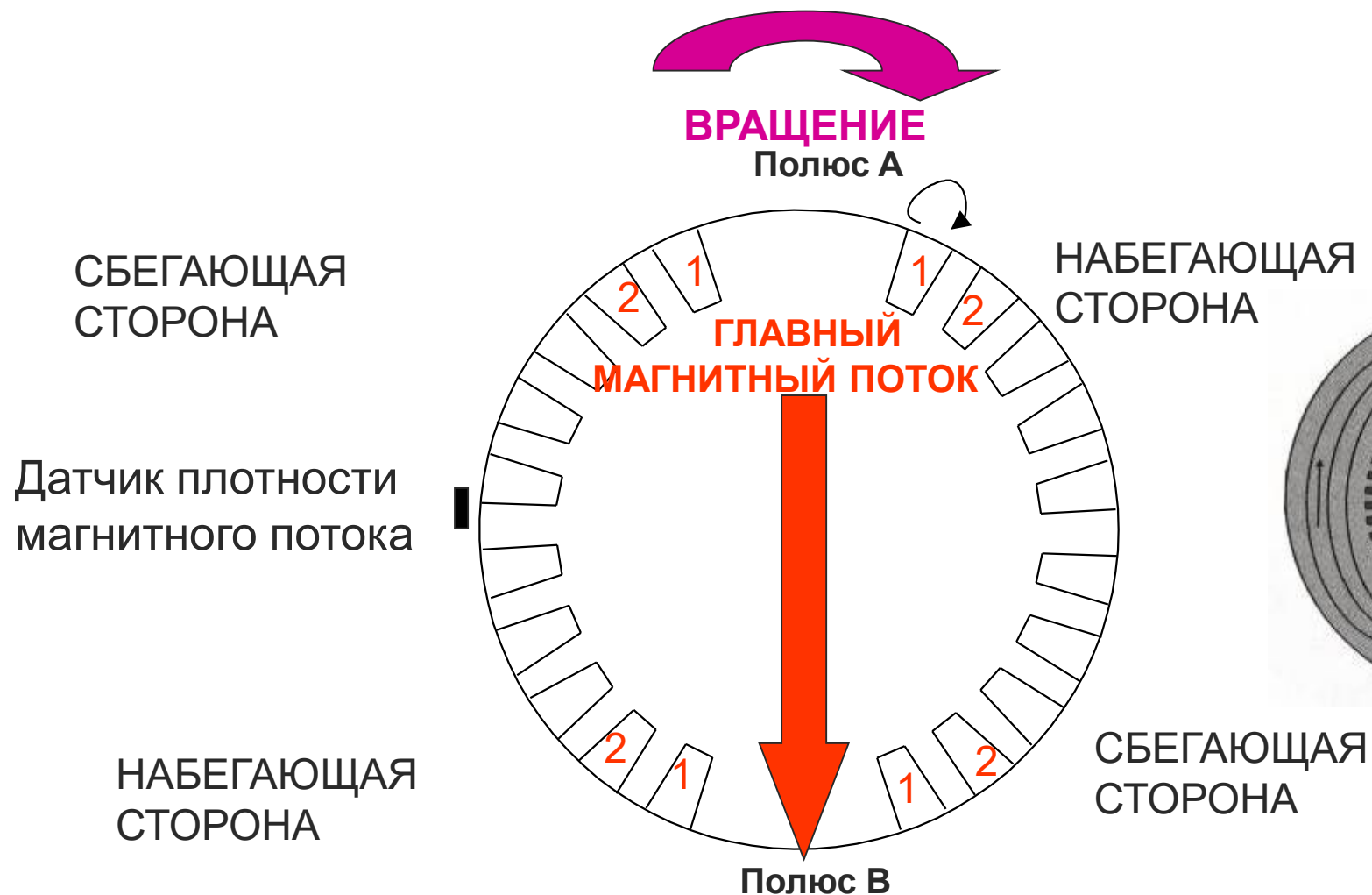
для воздушных зазоров <50 мм



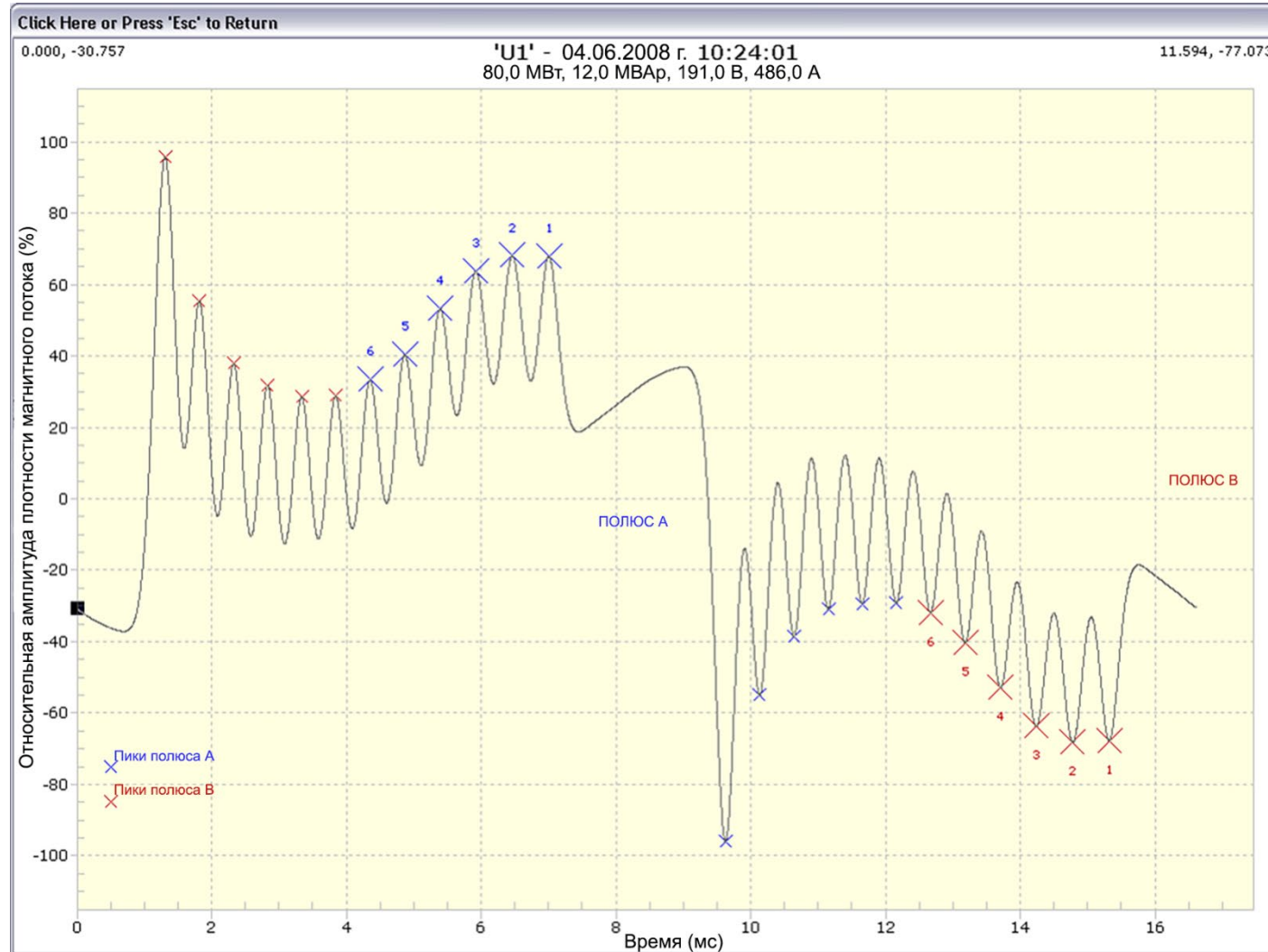
для воздушных зазоров >50 мм



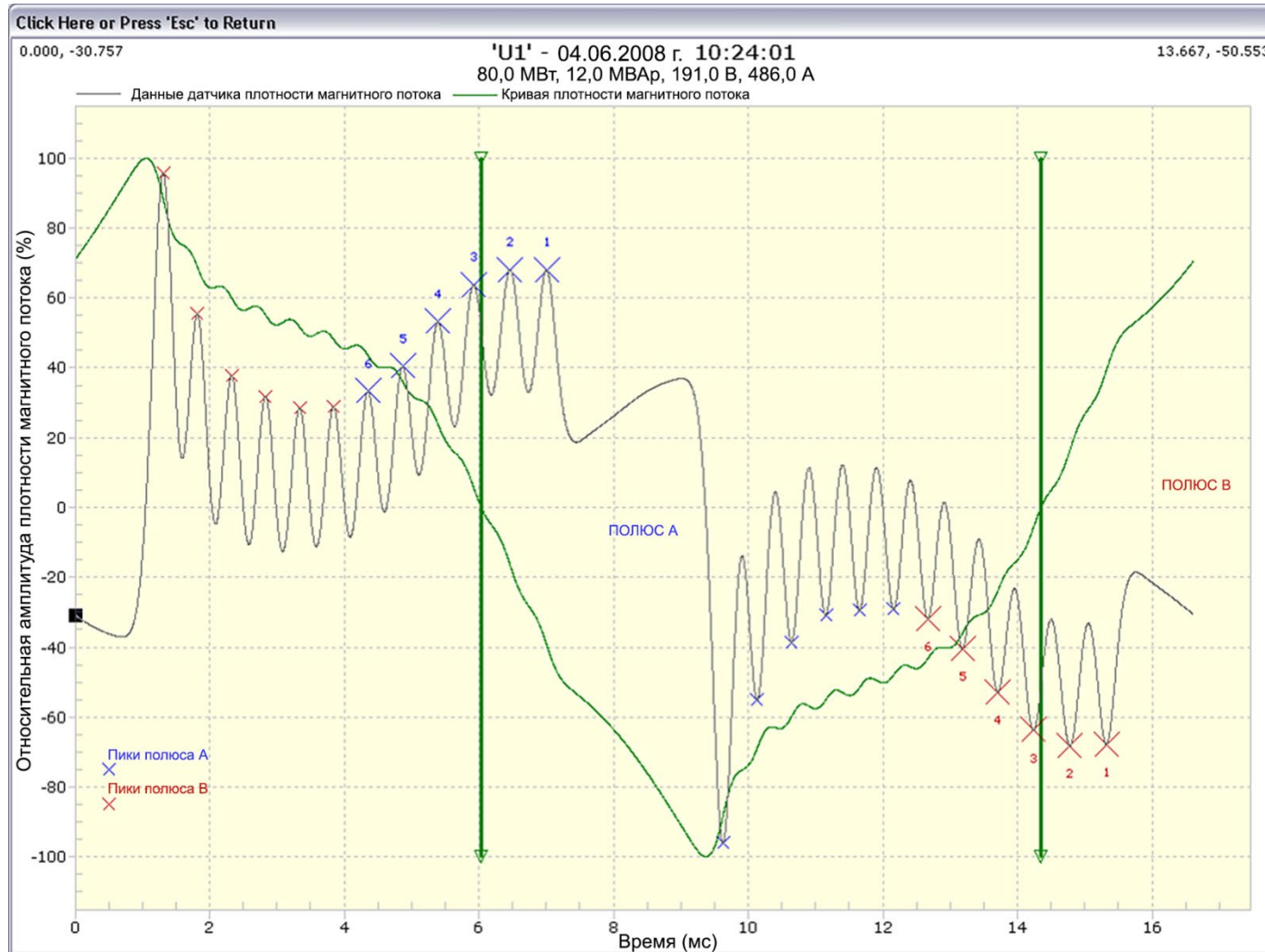
Поперечное сечение двухполюсного ротора



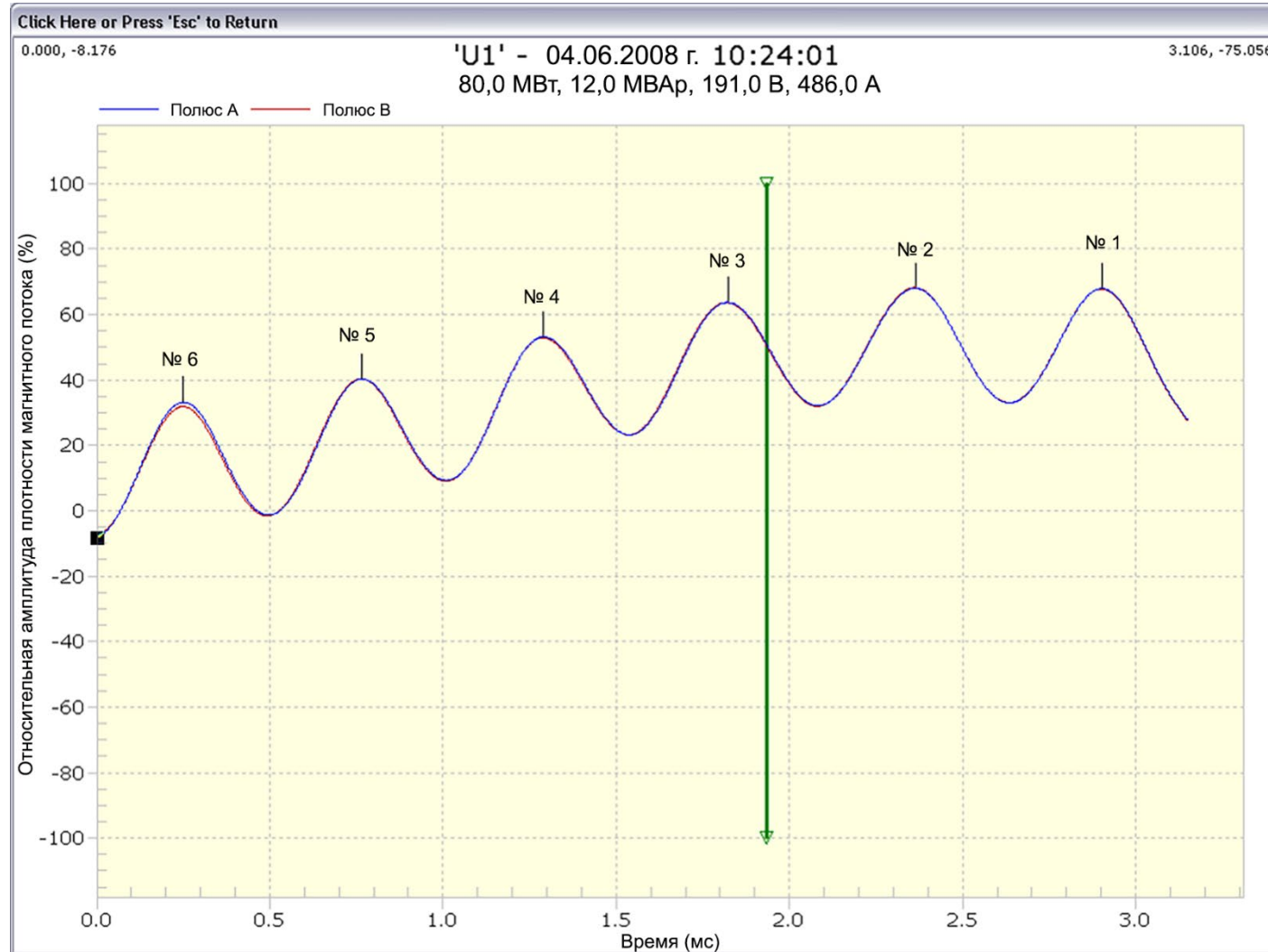
Конкретный пример



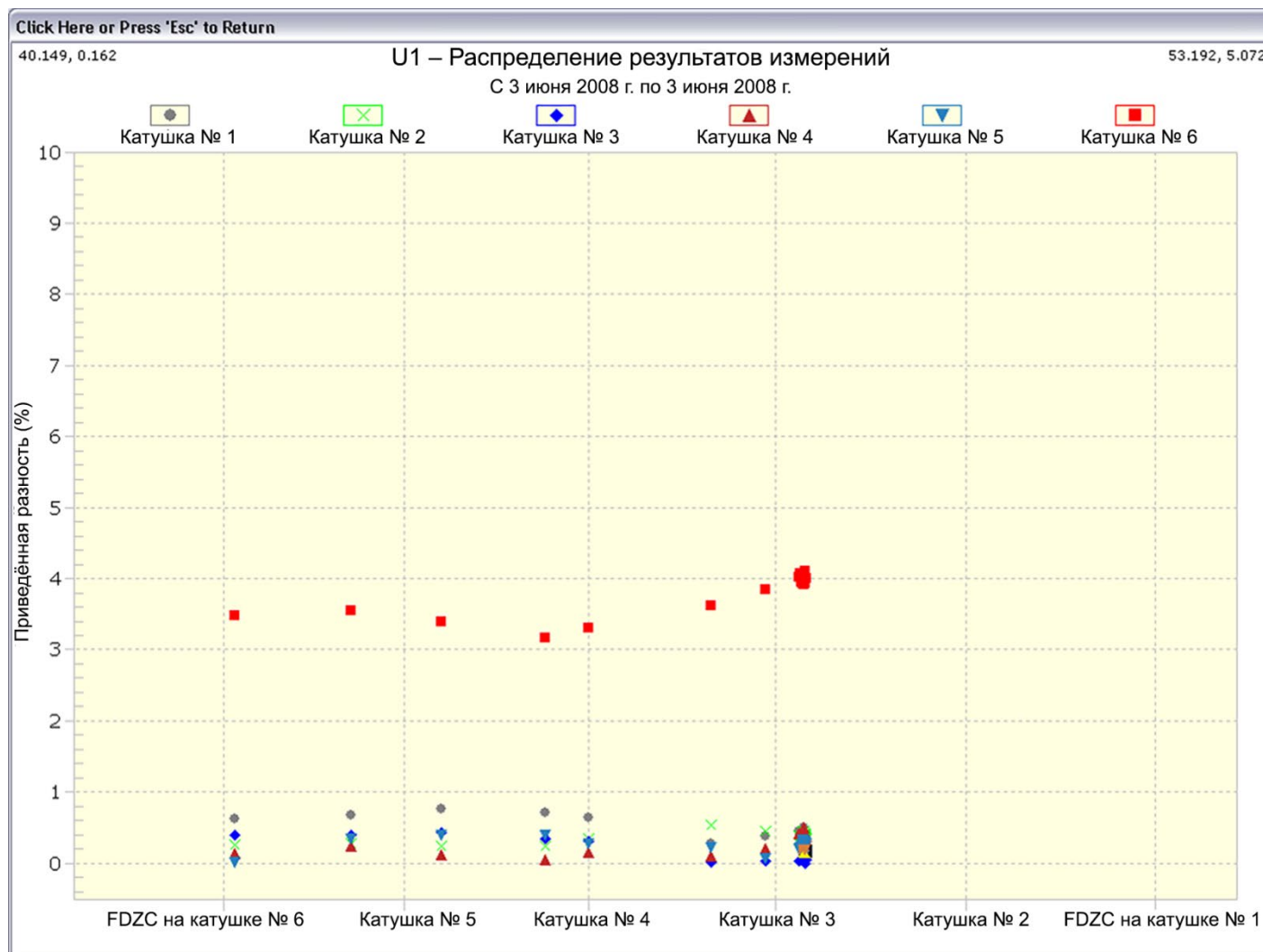
Конкретный пример



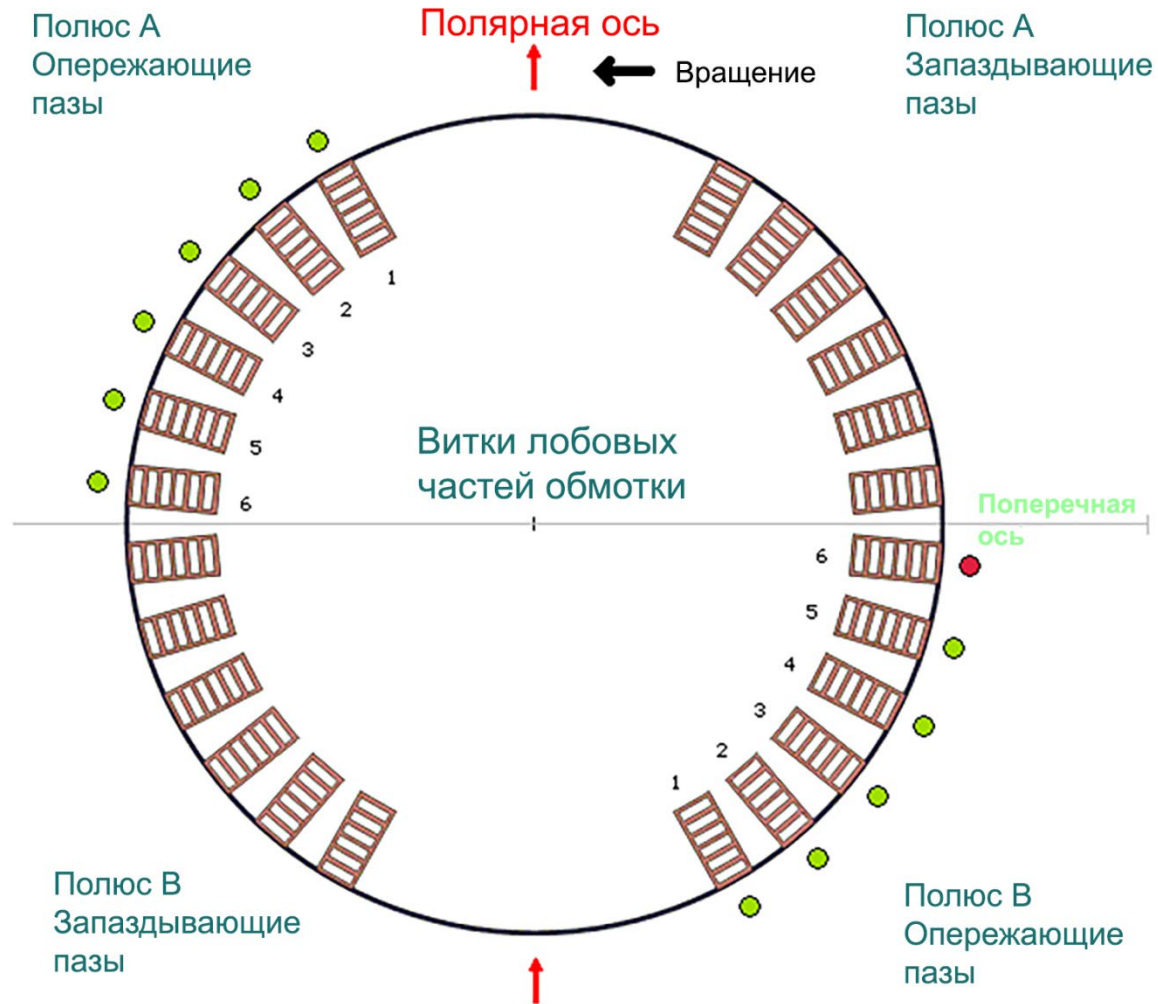
Конкретный пример



Конкретный пример



Конкретный пример



Краткие выводы по мониторингу магнитного потока

- Простое тестирование без отключения на двух- и четырехполюсных машинах
- Может выполняться при любой нагрузке машины
- Доступны переносные и стационарные приборы
- Проверенная технология обнаружения короткозамкнутых витков в обмотках ротора
- Может использоваться как вспомогательный метод при анализе вибрации



ВИБРАЦИЯ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТКИ



1. Старение парка оборудования
 - По мере старения машин происходит усадка блокирующего и связующего материала, что приводит к ослаблению опоры лобовых частей обмотки и к ее чрезмерному перемещению
2. В последнее десятилетие многие производители комплектного оборудования снизили стоимость продукции за счет использования менее прочной опоры лобовых частей обмотки
 - Результатом этого стало резкое увеличение проблем с вибрацией лобовых частей обмотки, как правило, у двухполюсных турбогенераторов большой мощности (>100 МВт).

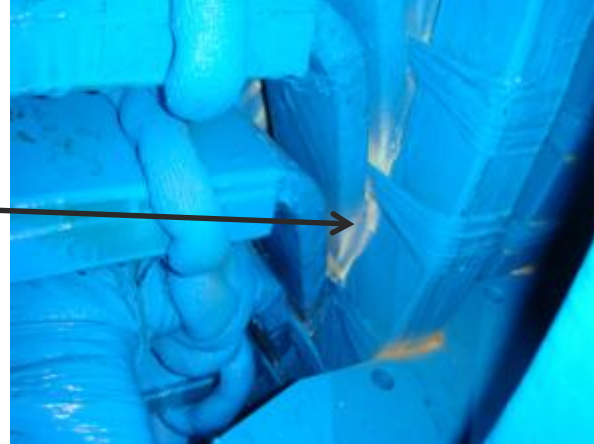
Если вибрация лобовых частей обмотки не будет обнаружена перед отказом, может произойти значительный побочный ущерб

- Это часто приводит к межфазным повреждениям или обрыву медных проводников, которые разрываются под нагрузкой

Повреждения под действием вибрации лобовых частей обмотки



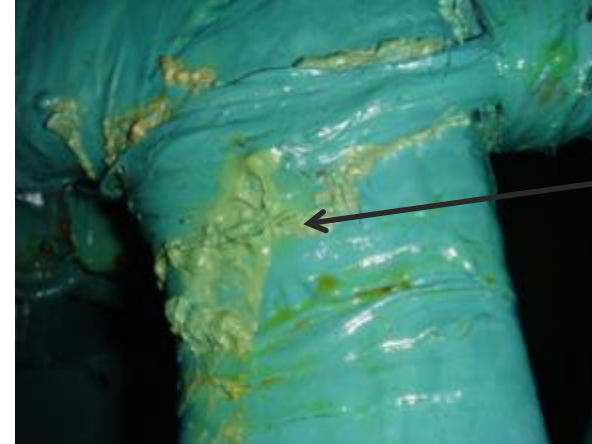
Износ
изоляции
(фреттинг)



Пыль



Засаливание
изоляции
(смазка)



Усталостные
трещины в
проводниках





1. Периодический наружный осмотр
 - Поиск признаков вибрации (пыль, фреттинг, смазка)
2. Периодическое проведение динамических испытаний
 - Следует убедиться, что собственные частоты не смещены в сторону 60 и/или 120 Гц (50 и/или 100 Гц), что приводит к резонансу

Это требует останова машины и, по крайней мере, снятия торцевых крышек

БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВАРИАНТ:

3. Непрерывный мониторинг вибрации лобовых частей обмотки с использованием волоконно-оптических датчиков.



EVII – одноосный и двухосный

Чувствительность: 100 мВ/г

Частотный диапазон:

- от 7 до 900 Гц (+/-0,5 дБ)
- от 5 до 1000 Гц (+/-1 дБ)

Динамический диапазон: от 0 до 60 г

Поперечная чувствительность: <4 %

Остаточный шум: <1 мВ скв

Рабочая температура: от -50 до 200 °С

Разрешение: <0,002 г пик

Оптический разъем: FC – резьбовой

Общая длина кабеля: 10 м

Масса:

- Одноосный – 10 г
- Двухосный – 18 г

Размер (ШхВхД):

- Одноосный – 9x10x30 мм
- Двухосный – 14x18x34 мм



Расключение на генераторе



Проходная муфта и фланец герметичной проходки для машин с водородным охлаждением



- Многоканальный проходник с запасными кабелями
- Проходник протестирован на давление до 27.5 bar (400 psi)
- Рабочая температура: -20 до +80°C
- 8 или 14 оптических разъемов
- Требуемое отверстие в корпусе - 1"

Электрооптический преобразователь



Источник питания: 12 В

Утечка тока: 110 мА

Разъем питания: Клеммная колодка (сверху)

Выходной сигнал: 100 мВ/г

Сигнальный разъем: Клеммная колодка (сверху)

Оптический разъем: FC – резьбовой (снизу)

Рабочая температура: от -20 до 60 °С

Корпус:

- Материал: Поликарбонат
- Масса: 200 г
- Размеры (ШхГхВ): 35x120x101 мм
- Монтаж на рейке



Типичная установка системы контроля вибрации лобовых частей обмотки (EV)



- Допустимая вибрация лобовых частей обмотки не была стандартизирована
- Опубликованные ранее уровни могут быть ошибочными из-за ненадлежащего расположения датчика и/или некорректного монтажа датчика
- Использовать эти данные с **ОСТОРОЖНОСТЬЮ!**
 - <100 мкм от пика до пика считается приемлемым уровнем
 - >250 мкм от пика до пика – причина для беспокойства
- Наилучшим подходом является постоянный мониторинг и использование возможностей анализа тенденций вибрации

Краткие выводы по вибрации лобовых частей обмотки

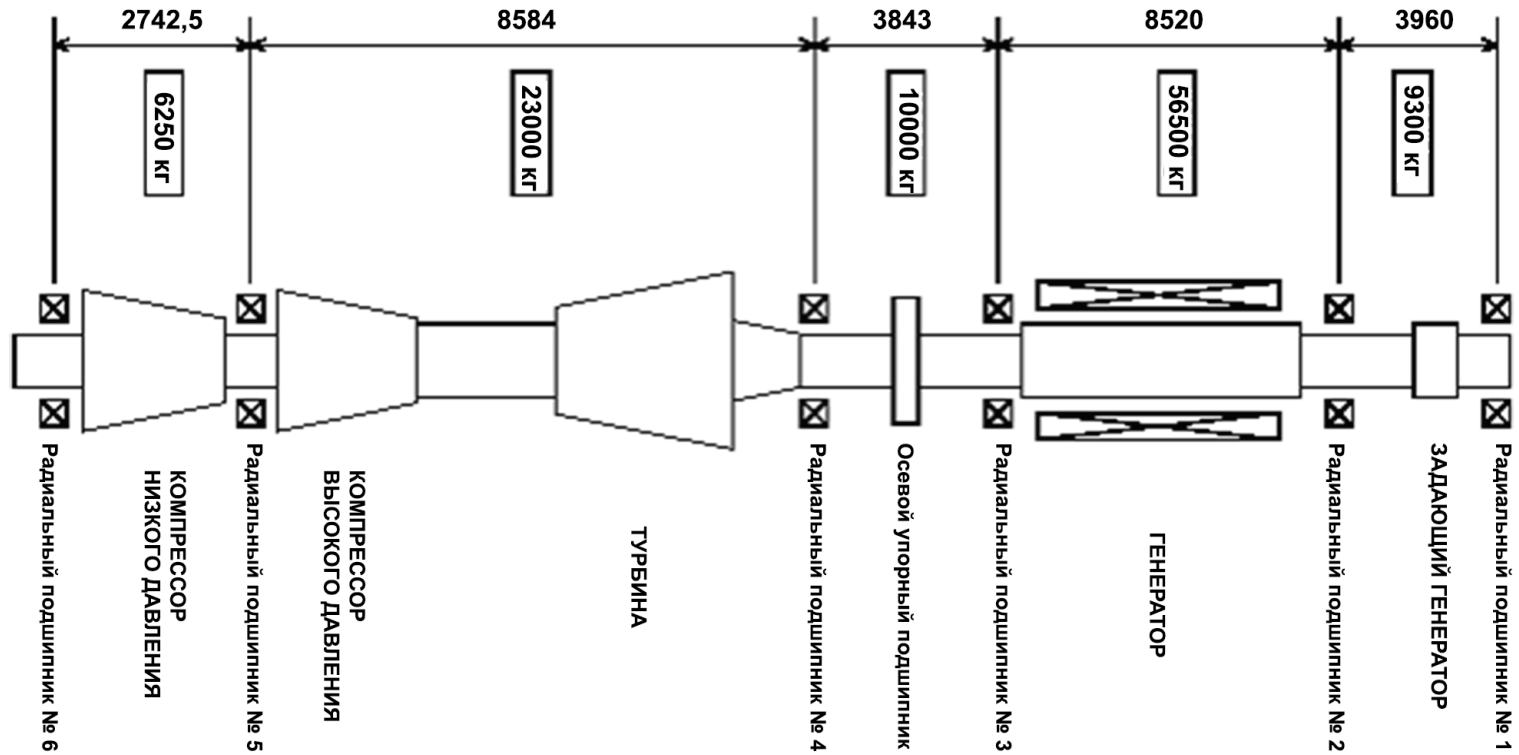


- Датчики вибрации лобовых частей обмотки должны быть установлены на основании результатов ударных испытаний (Vimp теста)
- Важна корреляция показателей вибрации (ускорение, скорость и смещение) с рабочими параметрами (температура и ток статора).
- Непрерывный мониторинг является полезным инструментом для определения и отслеживания уровня вибрации

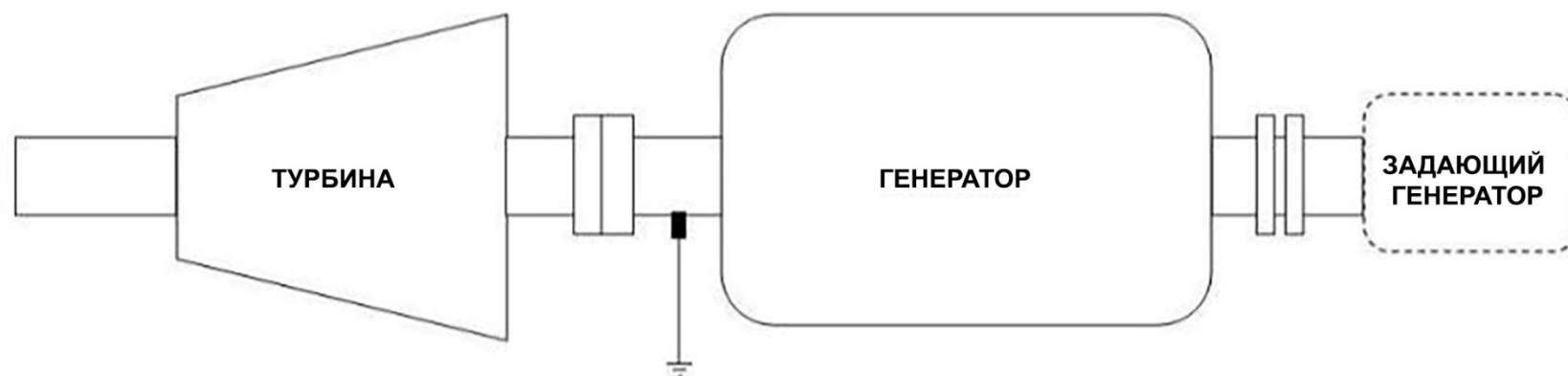


МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА НА ВАЛУ

Вал длиннее генератора!



Вал заземлен только в одной точке





Причины высокого напряжения на валу

- Во время нормальной работы на валу может создаваться напряжение по следующим причинам:
 - Неисправность обмотки ротора и статора
 - Асимметрия магнитных полей, вызванная неисправностями сердечника статора
 - Намагниченные детали в непосредственной близости от вала
 - Высокочастотные пики от статического возбуждения
 - Статическое напряжение, вызванное паром турбины
 - Ориентация вала может быть способствующим фактором



Проблемы, вызванные напряжением на валу

- Нарушение изоляции подшипников и уплотнений
- Создание высоких токов, достаточных для повреждения вала и подшипников
- На свойства смазочного масла могут влиять электрические параметры и свободные металлические частицы

Матировка

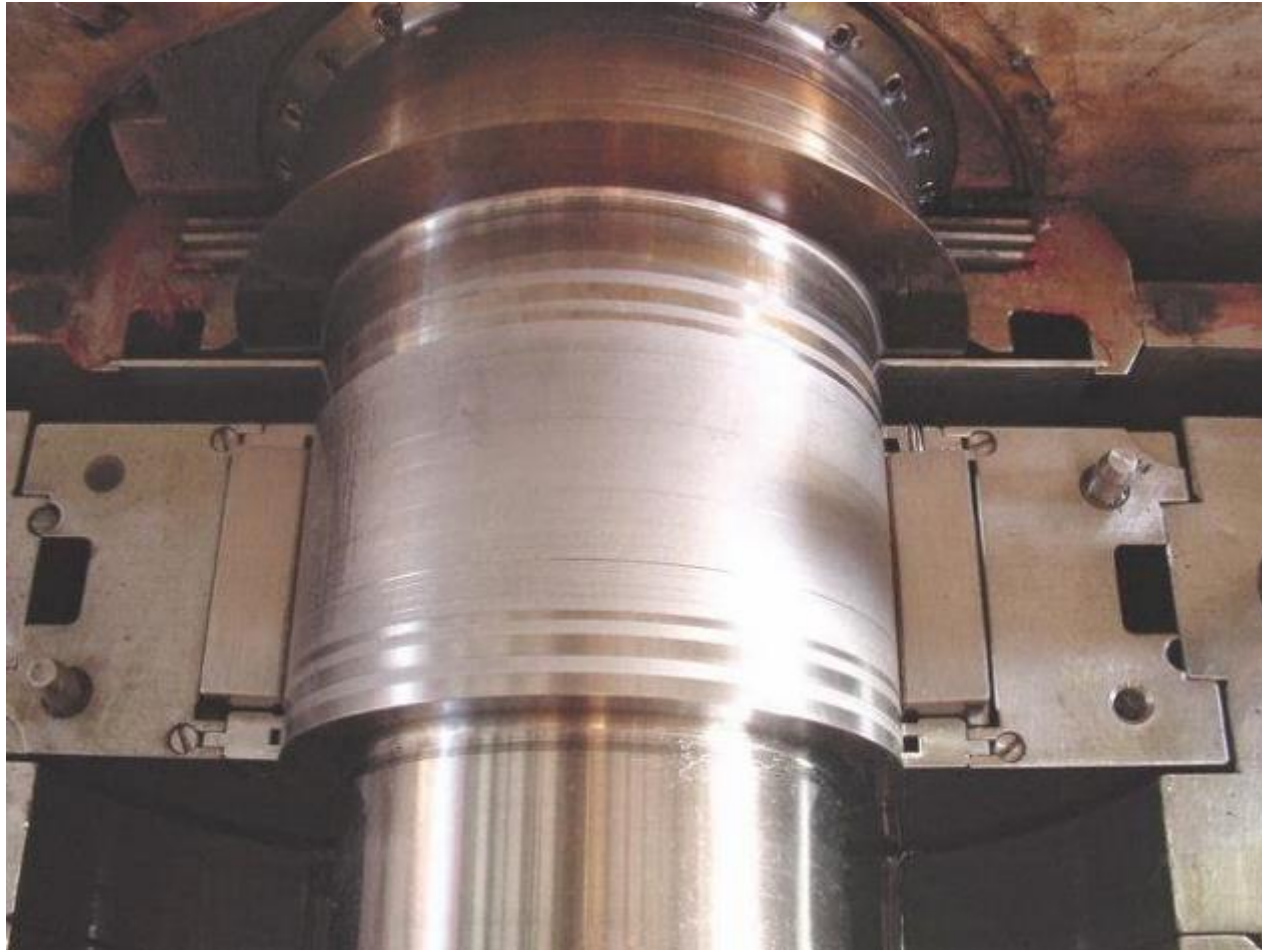
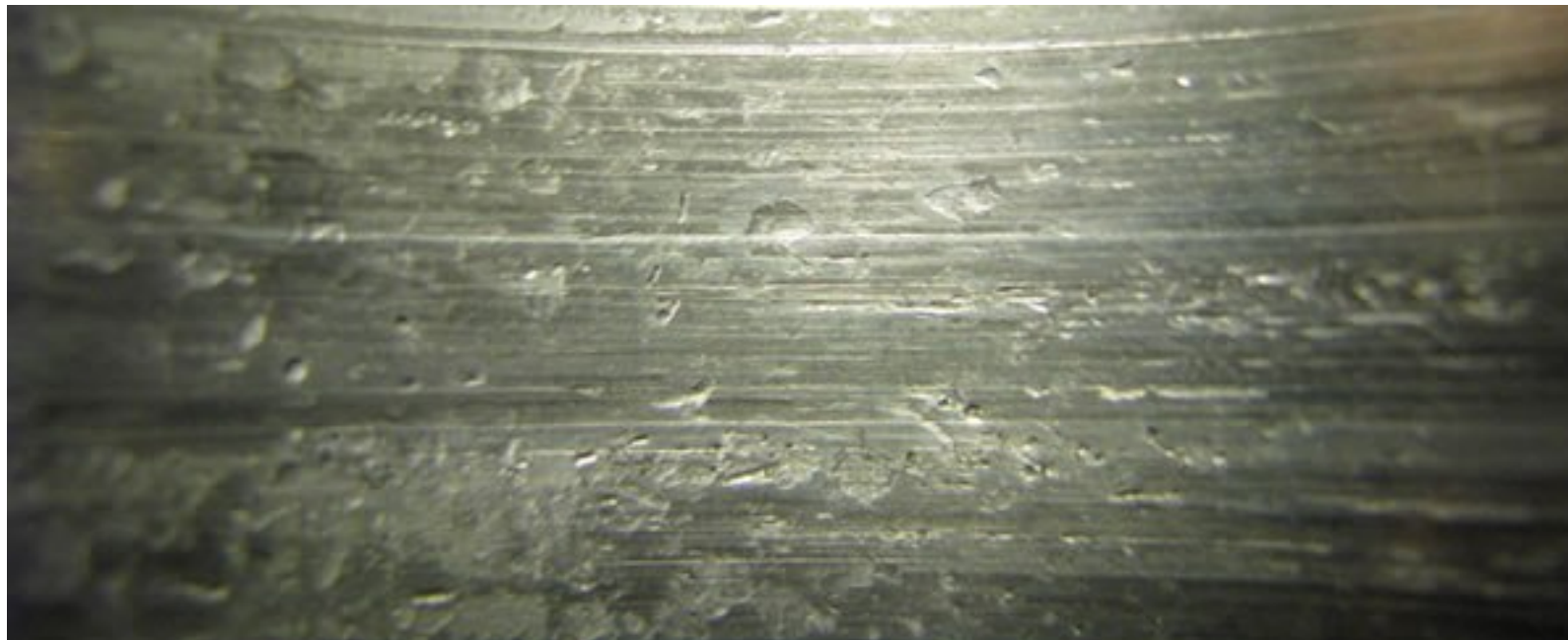


Фото Джеймса С. Ботвелла



- Механическое повреждение в результате образования электрической дуги между двумя деталями (из-за сильного тока)



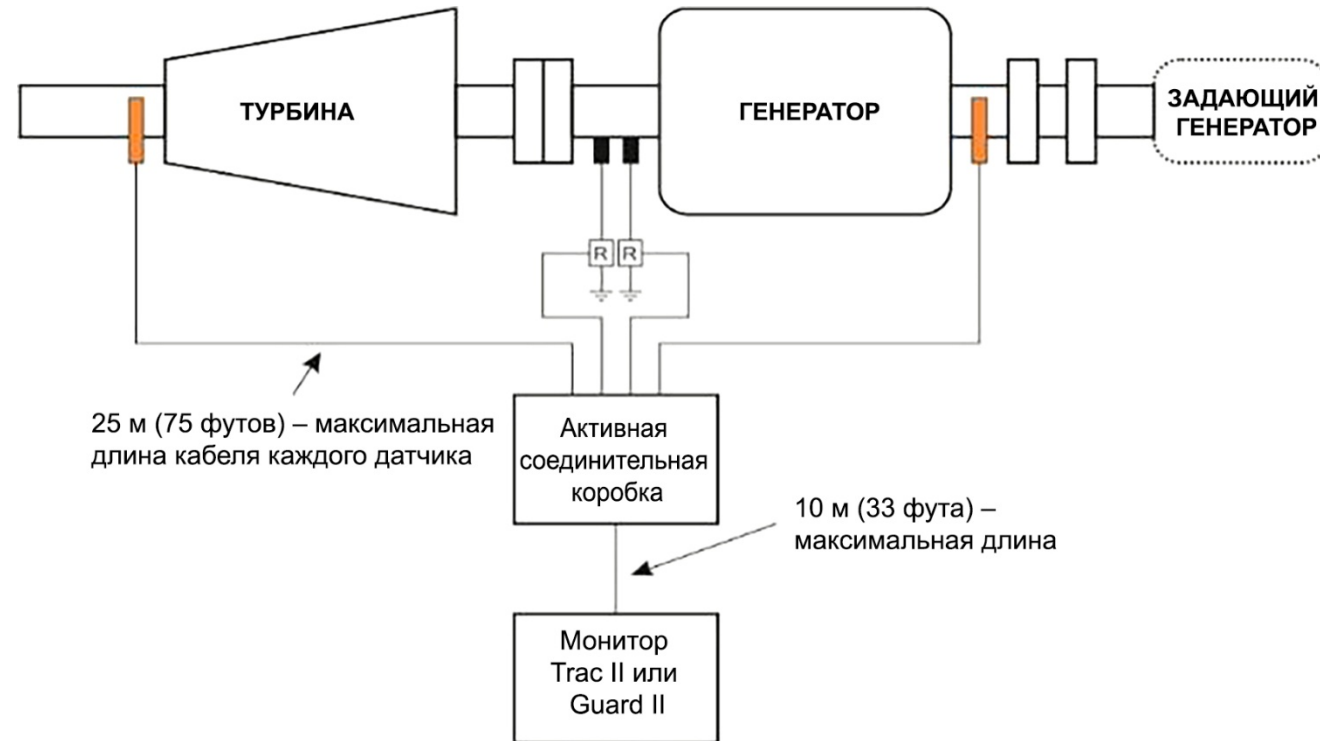
Способы минимизации проблем



- Важное значение имеет эффективное заземление вала
- Если заземляющая щетка имеет плохой контакт с поверхностью вала, на нем может создаваться напряжение до 150 В
- Это напряжение достаточно высокое, чтобы нарушить изоляцию уплотнения и привести к питтингу вала и подшипника.

Цель мониторинга вала

- Обнаружение ненадлежащего заземления вала
- Обнаружение износа вала
- Обнаружение опасно высокого напряжения на валу



Установка медных оплеток



Ключевые показатели



- Слишком низкий ток щетки заземления: плохое заземление
- Слишком высокий ток щетки заземления: имеется несколько точек заземления (т. е. истирание вала)
- Сигнал напряжения на щетке слишком высокий: риск повреждения изоляции подшипников/уплотнений

Краткие выводы по мониторингу вала



- Мониторинг вала обеспечивает раннее предупреждение о проблемах изоляции ротора, статора и подшипников
- Состояние щетки заземления вала важно для безопасной работы генераторов большой мощности.
- Мониторинг вала следует использовать как часть системы СВМ

Интеграция четырех технологий



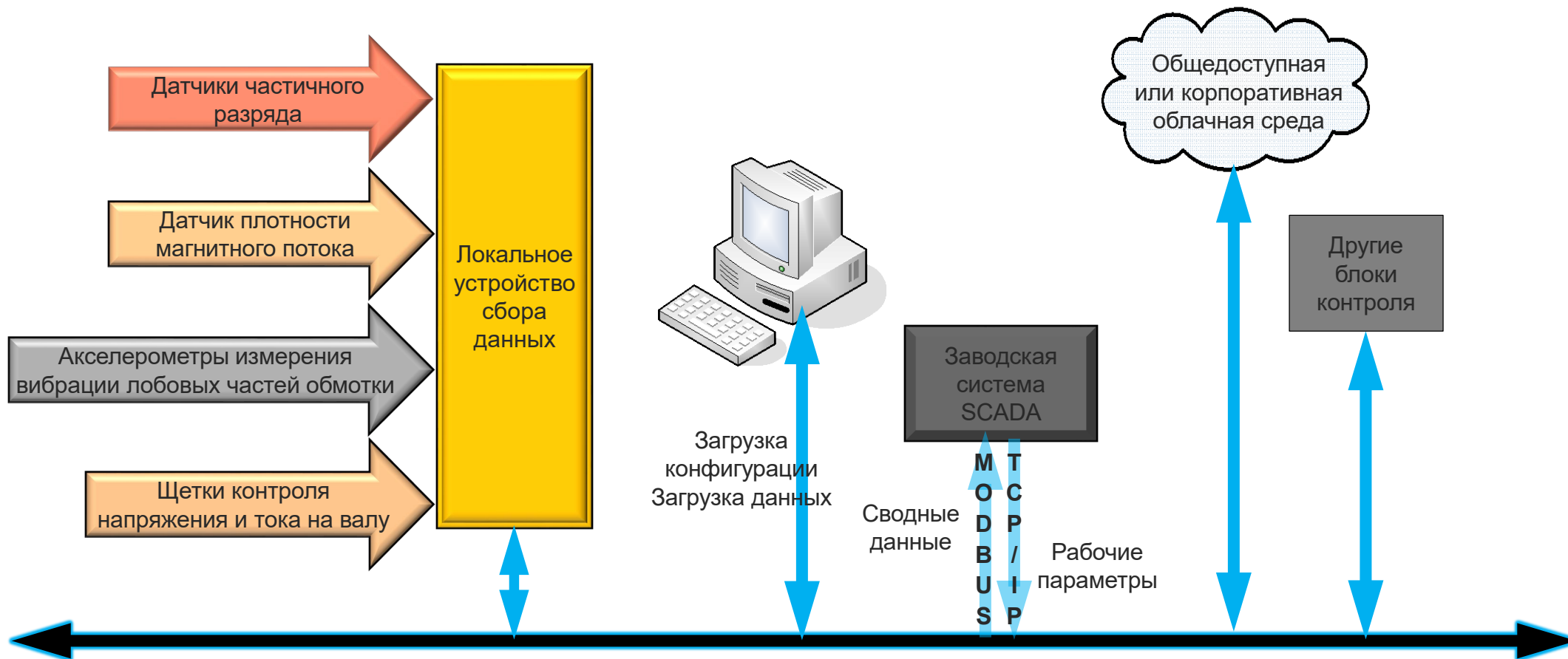
Датчики

Контроллер «4 в 1»

Программное
обеспечение



Комплексный мониторинг состояния генератора



Выводы



- Не существует идеального способа проверки изоляции на отключенной установке или непрерывного мониторинга во время ее работы.
- Важное значение имеет хорошая документация по эксплуатации и техническому обслуживанию, а также внимание ко всей доступной информации о мониторинге, эффективность технических осмотров и разумное использование выбранного набора соответствующих автономных тестов на остановленной установке.
- Непрерывный мониторинг генераторов большой мощности в процессе эксплуатации обеспечивает дополнительную диагностическую ценность и позволяет лучше планировать работы.
- Время между отключениями генератора для проведения обслуживания может быть увеличено, что приведет к снижению затрат на обслуживание и повышению эксплуатационной готовности.
- Несколько технологий мониторинга объединены в одном устройстве.
- Для конфигурации и обработки данных используется единая программная платформа.



ЗВЕЗДА

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА