

Авторы:
Разумов Р.В.,
Соловьев М.Ю.,
Михайлов А.В.,
ООО НПП «ЭКРА»,
г. Чебоксары, Россия.

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ: МОНИТОРИНГ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Аннотация: настоящая работа продолжает цикл статей¹, посвященных системам мониторинга высоковольтного энергетического оборудования. В статье предлагается проводить оценку, контроль и прогноз технического состояния оборудования средствами комплексной системы онлайн-мониторинга, интегрирующей в себя локальные подсистемы диагностики. Рассматривается система мониторинга генераторов ПТК «ДиаМонт» НПП ЭКРА, включающая подсистемы мониторинга состояния статора, ротора, щеточно-контактного аппарата, тепловых и вибрационных параметров генератора. Согласно статистике, надежность генераторов и их остаточный ресурс во многом определяется техническим состоянием изоляции обмотки статора. В статье рассматривается способ контроля изоляции обмотки статора турбо- и гидрогенераторов, основанный на регистрации активности частичных разрядов. Авторами работы приводится описание подсистемы мониторинга частичных разрядов генераторов MONGEMO (далее – MONGEMO), входящей в состав ПТК «ДиаМонт». Применяемые в MONGEMO конденсаторы связи повышенной емкости и настраиваемые параметры измерения повышают чувствительность при измерении частичных разрядов, а синхронные многоканальные измерения и диаграмма ZPARD позволяют подавлять фоновый шум и разделять наложенные сигналы от нескольких источников частичных разрядов. Автоматическая идентификация системой типа дефекта и его локализация облегчают анализ результатов измерения и позволяют выбрать оптимальный вариант технического обслуживания генератора, запланировать график, объем и финансирование ремонтных работ. В статье приводится опыт применения MONGEMO на различных турбо- и гидрогенераторах, в том числе в филиале «Северо-Западная ТЭЦ им. А.Г. Бориса» АО «Интер РАО – Электрогенерация». Представленный опыт подтверждает эффективность и надежность методов и алгоритмов MONGEMO, демонстрирует возможность раннего обнаружения дефектов изоляции, мониторинга их развития и планирования проведения технического обслуживания генератора.

Ключевые слова: частичный разряд, онлайн мониторинг, генератор, ПТК «ДиаМонт», MONGEMO, ZPARD диаграмма, обслуживание по реальному состоянию.

Введение

Основная доля электроэнергии в России вырабатывается турбо- и гидрогенераторами [1], при этом более 50 % из них отработали установленные сроки эксплуатации [2]. Однако полная замена генератора, даже отслужившего свой нормативный срок, не

всегда целесообразна по техническим и экономическим соображениям [3]. Надежность работы генератора, продление его срока службы обеспечивается своевременным выявлением и устранением дефектов раньше, чем они приведут к аварийным ситуациям, дорогостоящему ремонту или вовсе

¹ Первая статья опубликована в журнале «Релейная защита и автоматизация» № 03 (36) 2019 г.



Разумов Роман Вадимович
 Дата рождения: 14.01.1986 г.
 В 2008 г. окончил ЧГУ им. И.Н. Ульянова по специальности инженер. Директор департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА».



Соловьев Михаил Юрьевич
 Дата рождения: 21.10.1965 г.
 В 2012 г. получил диплом МВА ОУ ЛИНК. Заведующий отделом автоматизированных испытательных систем ООО НПП «ЭКРА».



Михайлов Алексей Владимирович
 Дата рождения: 23.02.1986 г.
 В 2008 г. окончил электроэнергетический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова по специальности «Электроснабжение». Инженер 1 кат. продуктового направления департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА».

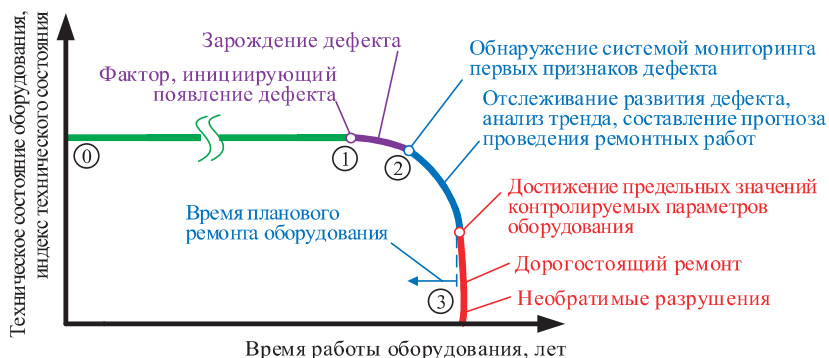


Рис. 1. Типичные этапы деградации оборудования

необратимому разрушению генератора. Выявление дефектов на ранней стадии их появления, оценка динамики их развития может осуществляться системами мониторинга и технической диагностики. Диагностика – один из важных аспектов увеличения срока службы генератора, одного из самых дорогих элементов единой энергосистемы, а также превентивная мера, существенно уменьшающая капитальные вложения и затраты генерирующих компаний.

Контроль технического состояния (ТС) генераторов системами онлайн-мониторинга

На рис. 1 условно представлены этапы деградации оборудования. После начала эксплуатации оборудования (точка 0) в какой-то момент времени (точка 1) возникает фактор, инициирующий появление дефекта. Под действием данного фактора ТС оборудования начинает ухудшаться, происходит зарождение дефекта (точка 2), оборудование переходит из нормального состояния в состояние, требующее обслуживания или ремонта. Дальнейшая эксплуатация оборудования приводит к устойчивому развитию дефекта, резкому возрастанию стоимости обслуживания, возникновению цепочки других дефектов, вплоть до отказа оборудования (точка 3).

Оценка ТС генератора позволяет определить возможность его дальнейшей эксплуатации или необходимость принятия мер для выполнения последующего ремонта. Зная остаточный ресурс всех узлов и деталей генератора, можно принять обоснованные решения о необходимости вы-

вода его в ремонт, заранее запланировать поставку комплектующих и материалов для ремонта, сократить время вынужденного простоя. Для надежной оценки ТС необходима установка большого количества различных стационарных датчиков и устройств сбора данных, которые часто объединяются в отдельные функциональные подсистемы мониторинга (рис. 2). Это связано с тем, что различные узлы и детали генератора требуют измерения технологических пара-

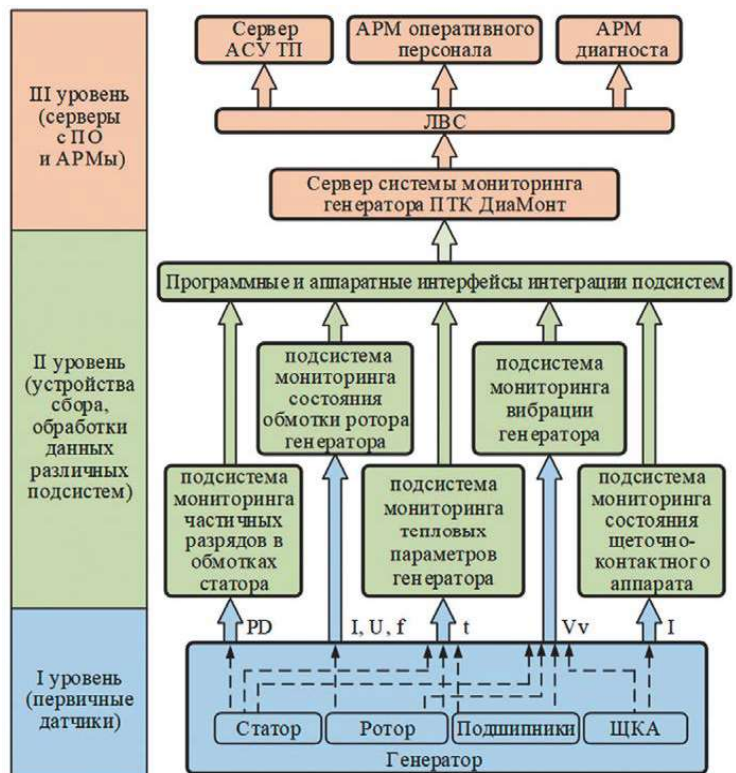


Рис. 2. Структурная схема системы мониторинга генераторов ПТК «ДиаМонт» от НПП «ЭКРА»

метров разной физической природы (электричество, вибрация, температура), разными принципами измерения. В зависимости от типа, мощности и технологической важности контролируемого генератора, набор используемых подсистем может изменяться или внедряться поэтапно. Вложения в системы мониторинга и диагностики можно осуществлять частями, практически непрерывно, при этом направлять именно туда, где потребность в них наиболее высока, например, в особо аварийную группу оборудования или в группу оборудования, имеющую, согласно статистике повреждаемости, высокую вероятность возникновения дефекта.

Статистика повреждаемости узлов генераторов

Статистические данные [4] свидетельствуют о том, что значительная часть технологических нарушений (более 37 %) в работе турбогенераторов произошла по причине повреждения статора и ротора. Отказ узлов генераторов приводит к вынужденному простоям и не-

довыработке электроэнергии. При этом для отдельных групп турбогенераторов незначительная доля отказов по статору соответствует наибольшей доле суммарной недовыработки электроэнергии из-за отказов этого узла [5] (рис. 3).

Для гидрогенераторов обмотка статора является наиболее ответственным узлом, определяющим их надежность и долговечность работы. Согласно исследованиям [6] пробой изоляции статора является одной из частых причин отказа гидрогенераторов (рис. 4). Поэтому своевременному выявлению дефектов обмотки статора генераторов должно быть уделено особое внимание.

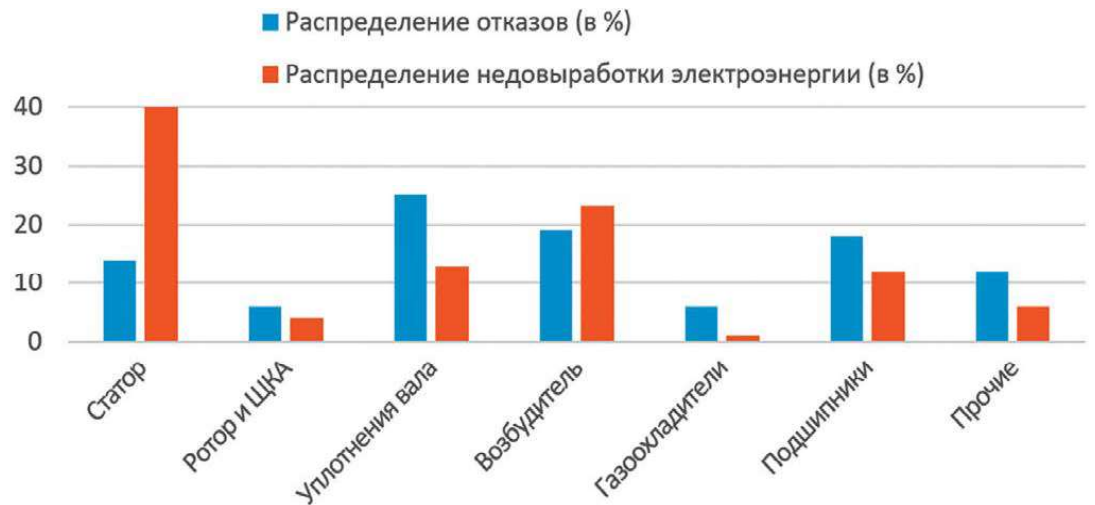


Рис. 3. Распределение отказов и недовыработки электроэнергии по узлам турбогенераторов [5]

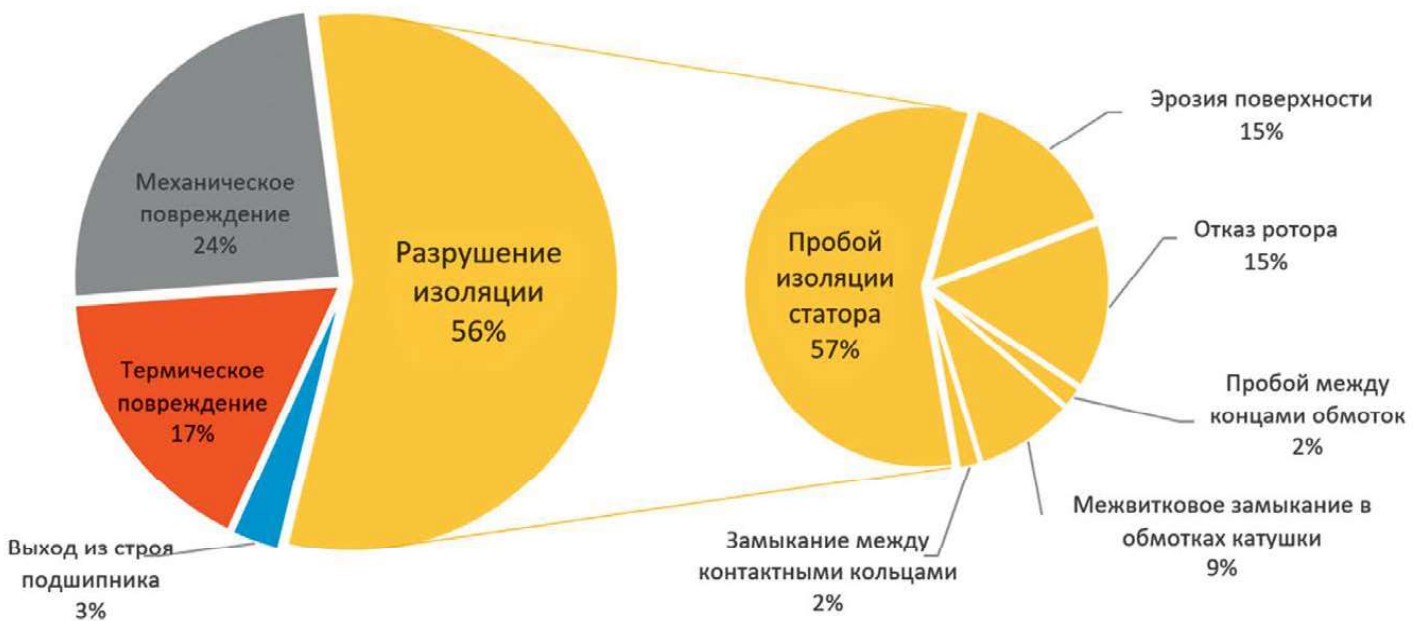


Рис. 4. Причины отказов гидрогенераторов [6]

Основными причинами ухудшения состояния изоляции обмотки статора генераторов являются:

- Естественное старение изоляции: происходит достаточно медленно, но может быть ускорено различными внешними причинами, указанными далее.
- Тепловые воздействия: в результате превышения температуры или неравномерного распределения повышенной температуры по сечению машины, возникают местные перегревы, что приводит к тепловому старению органических составляющих изоляции (смолы, бумаги, ткани). Это сильно снижает электрическую прочность изоляции.
- Механические воздействия: ослабление деталей крепления обмотки приводит к вибрации и механическому истиранию обмотки о стенки паза или ее расслоению, особенно на выходе из паза. Попадание на поверхность изоляции обмотки посторонних металлических предметов, например, стружки, приводит к их вибрации в магнитном поле и повреждению изоляции.
- Электрические воздействия: в процессе работы генератора обмотка подвергается воздействию электромагнитных сил, приводящих к перемещению обмотки.

Контроль изоляции обмотки статора генератора методом измерения активности частичных разрядов системой мониторинга MONGEMO

Как правило, результатом внешних воздействий является появление местных дефектов, охватывающих небольшую площадь изоляции обмотки статора генератора. Такие дефекты, как истирание изоляции, трещины, расслоения и воздушные включения – увеличивают местную напряженность электрического поля и вызывают появление частичных разрядов (ЧР) – искровых разрядов малой мощности внутри изоляции или на ее поверхности. Дальнейшее ухудшение состояния изоляции по причинам тепломеханических воздействий увеличивает активность ЧР: мощность и частота появления разрядов увеличивается. Следовательно, ЧР являются симптомом большинства разрушающих процессов, и путем постоянной регистрации уровня ЧР можно контролировать состояние изоляции. Наряду с этим, ЧР разрушают отдельные слои изоляции за счет теплового эффекта и механического расщепления. В конечном итоге, этот процесс завершается полным пробоем изоляции, приводя к короткому замыканию между обмотками, фазой и землей.

В настоящее время контроль состояния изоляции статора турбо- и гидрогенераторов путем измерения уровня активности ЧР широко применяется на электрических станциях. Измерение уровня ЧР выполняют как на выключенной машине (при вводе генераторов в эксплуатацию, после замены или выполнения капитальных ремонтов обмотки статора), так и на включенных в сеть генераторах, работающих в нормальных усло-

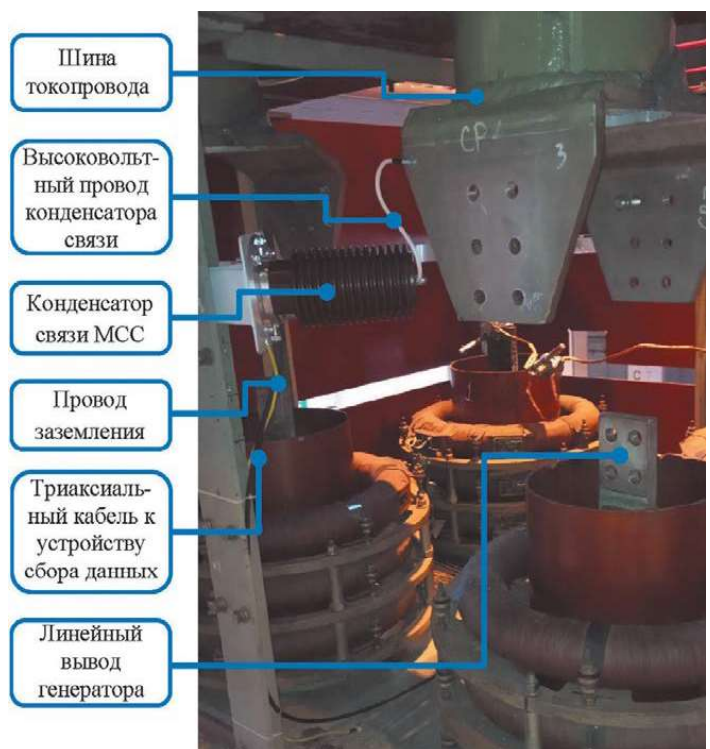


Рис. 5. Пример установки и подключения конденсатора связи к шинопроводу турбогенератора (гибкие связи на момент съемки не подключены)

виях (онлайн-измерения). Преимуществом онлайн-измерений является то, что измерения ЧР производятся при рабочих условиях: генератор в это время находится под воздействием рабочих механических нагрузок и температуры, распределение напряжения по обмотке соответствует рабочему режиму. Кроме того, нет необходимости при каждом измерении выводить машину из эксплуатации, не требуется источник испытательного напряжения.

Одним из наиболее распространенных методов измерения ЧР в генераторах является электрический метод, основанный на применении емкостных датчиков – высоковольтных конденсаторов связи. Конденсаторы связи подключаются к каждой фазе шинопровода генератора, как можно ближе к выводам обмотки статора генератора. При этом вмешательство в конструкцию генератора не требуется. Установка может быть осуществлена как на новый генератор, так и на генератор, уже находящийся в эксплуатации (рис. 5). В отличие от других методов (визуального, оптического, акустического определения ЧР) данный метод позволяет наиболее точно измерить параметры ЧР, идентифицировать тип дефекта и определить его местоположение. Конденсаторы связи устанавливаются стационарно во время плановой остановки генератора и далее используются совместно с портативными устройствами пери-

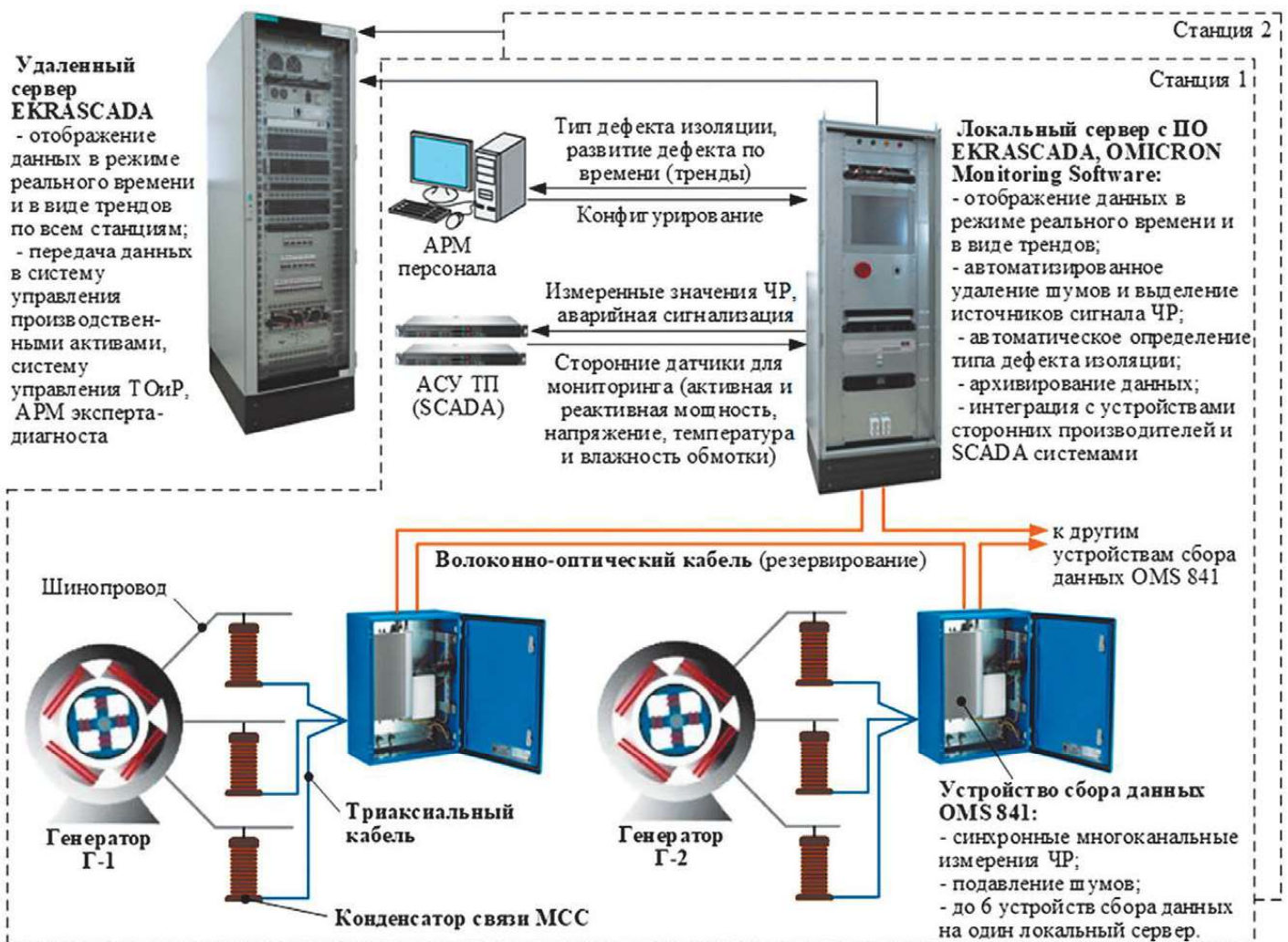


Рис. 6. Структурная схема системы мониторинга MONGEMO

одического мониторинга или стационарными системами непрерывного онлайн-мониторинга активности ЧР. На рис. 6 приведен пример структурной схемы стационарной системы мониторинга ЧР MONGEMO, входящей в состав системы мониторинга генераторов ПТК «ДиаМонт» НПП «ЭКРА». Система MONGEMO включает в себя высоковольтные конденсаторы связи для измерения ЧР, устройства сбора данных и сервер с установленным программным обеспечением (ПО) для мониторинга и анализа.

Сложностью онлайн-измерений ЧР является необходимость отстройки от электрического шума и помех от внешних источников, имеющих в сети промышленных объектов. Шумы и помехи могут существенно повлиять на измеряемые сигналы. Амплитуда и частота импульсов от помех могут быть больше, чем у импульсов от ЧР в обмотке статора генератора. Если такие импульсы не будут подавлены или определены как по-

мехи, то будут приняты как ЧР в обмотке статора, что исказит оценку результатов измерений.

В MONGEMO фильтрация от шумов и помех производится как на аппаратном, так и на программном уровне. Общий порядок классификации типа дефекта представлен на рис. 7.

Амплитуда ЧР в высокочастотном диапазоне значительно превышает амплитуду шума. Высоковольтные конденсаторы связи действуют как фильтр верхних частот: пропускают высокочастотные импульсы ЧР для измерения и блокируют напряжение промышленной частоты 50 Гц, тем самым достигается оптимальное соотношение сигнал/шум. В реализации решений применяются конденсаторы связи повышенной емкости (1000 пФ), что дополнительно повышает чувствительность работы оборудования и позволяет регистрировать ЧР в удаленной от конденсаторов связи части обмотки статора генератора.

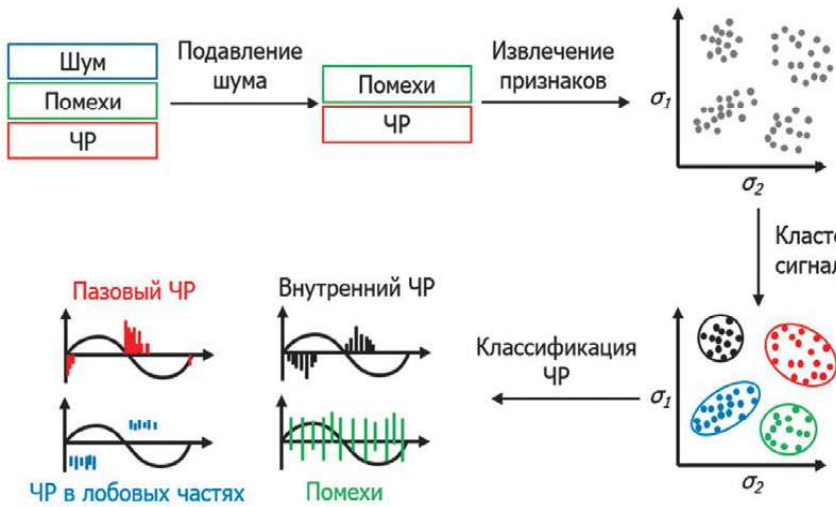


Рис. 7. Автоматическая система классификации дефектов ЧР

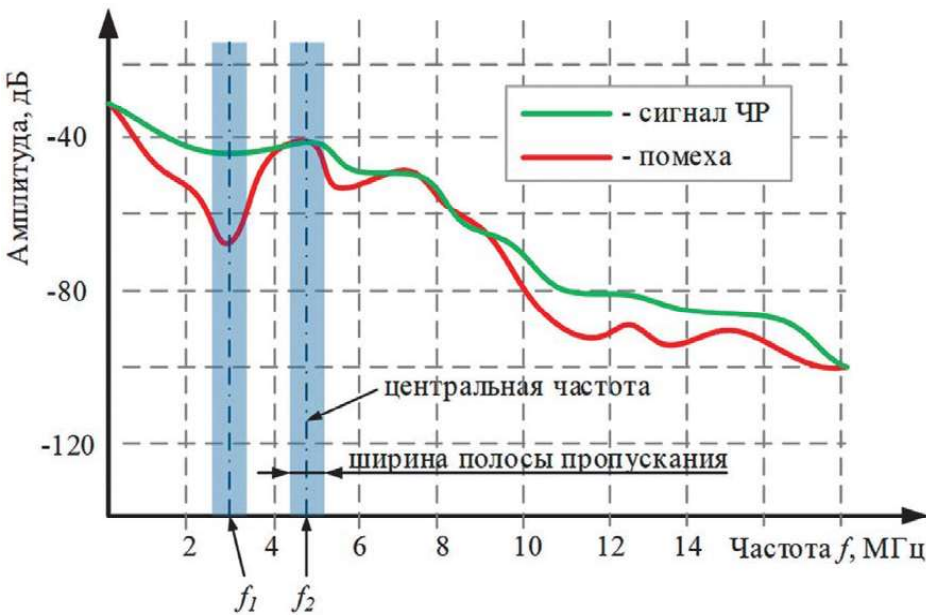


Рис. 8. Выбор оптимальной центральной частоты и полосы пропускания при измерении ЧР

Для сокращения длины измерительных кабелей устройство сбора данных размещается рядом с конденсаторами связи. От устройства сбора данных до сервера данные передаются по волоконно-оптическому кабелю. Волоконно-оптическая связь обеспечивает передачу данных на большие расстояния, не чувствительна к внешним сигналам и электромагнитным помехам, при этом гарантирует безопасность персонала благодаря полноценной гальванической развязке.

События ЧР могут перекрываться помехами на определенных частотах. Система мониторинга MONGEMO

позволяет задать параметры измерения, выбрав оптимальную центральную частоту и полосу пропускания (полосовой фильтр). На рис. 8 отображены спектры сигнала ЧР и помехи, а также два полосовых фильтра с центральными частотами f_1 и f_2 . Как видно из рисунка, на частоте f_1 амплитуда помехи ниже амплитуды сигнала ЧР, а на частоте f_2 амплитуды примерно равны. Таким образом, отношение «сигнал/помеха» на частоте f_1 будет выше, чем на частоте f_2 , что уменьшает риск ошибочной индикации ЧР. Перемещая центральную частоту между помехами наибольшей амплитуды, влияние помех можно значительно ослабить. Это позволяет исключить частоты, содержащие значительные помехи, и заняться поиском реальных ЧР.

Импульс ЧР, возникший непосредственно в зоне дефекта определенной фазы обмотки статора, далее распространяется электромагнитным или электрическим способом, поэтому также отражается и на других фазах обмотки статора. Для обнаружения отражения исходного импульса ЧР в MONGEMO применяется технология синхронного многоканального измерения ЧР. Измерение производится синхронно на всех трех фазах, каждый единичный импульс, обнаруженный устройством сбора данных, оцифровывается в соответствии с меткой времени и передается по оптоволокну на сервер мониторинга, где обрабатывается ПО системы мониторинга. Для определения типа дефекта и его приблизительного рас-

положения ПО MONGEMO осуществляет построение диаграмм фазового распределения ЧР (PRPD) и диаграмму соотношения по амплитуде трех фаз (3PARD).

Диаграмма PRPD показывает зависимость ЧР от фазы приложенного переменного напряжения. Импульсы ЧР в виде точек наносятся на двумерную плоскость с координатами: амплитуда – фаза питающего напряжения, цветом показывается плотность зарегистрированных импульсов. Каждому конкретному типу дефекта в изоляции статора генератора соответствует свой образ на диаграмме PRPD, что позволяет достаточно точ-

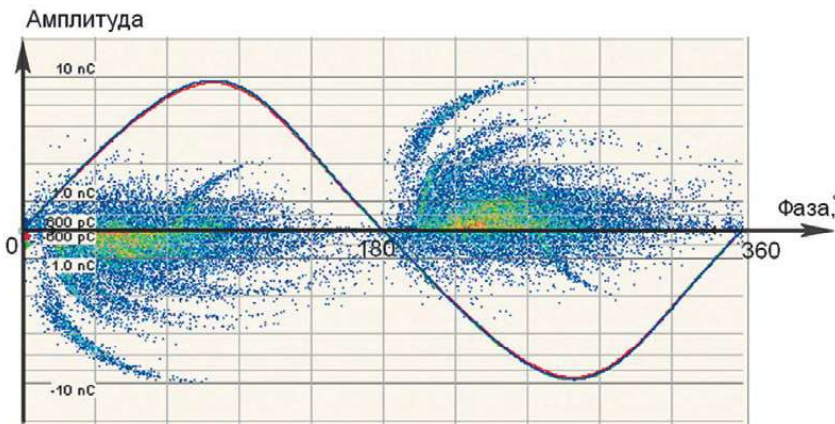


Рис. 9. Пример PRPD диаграммы для изоляции статора, имеющей расслоения (микроразрывы)

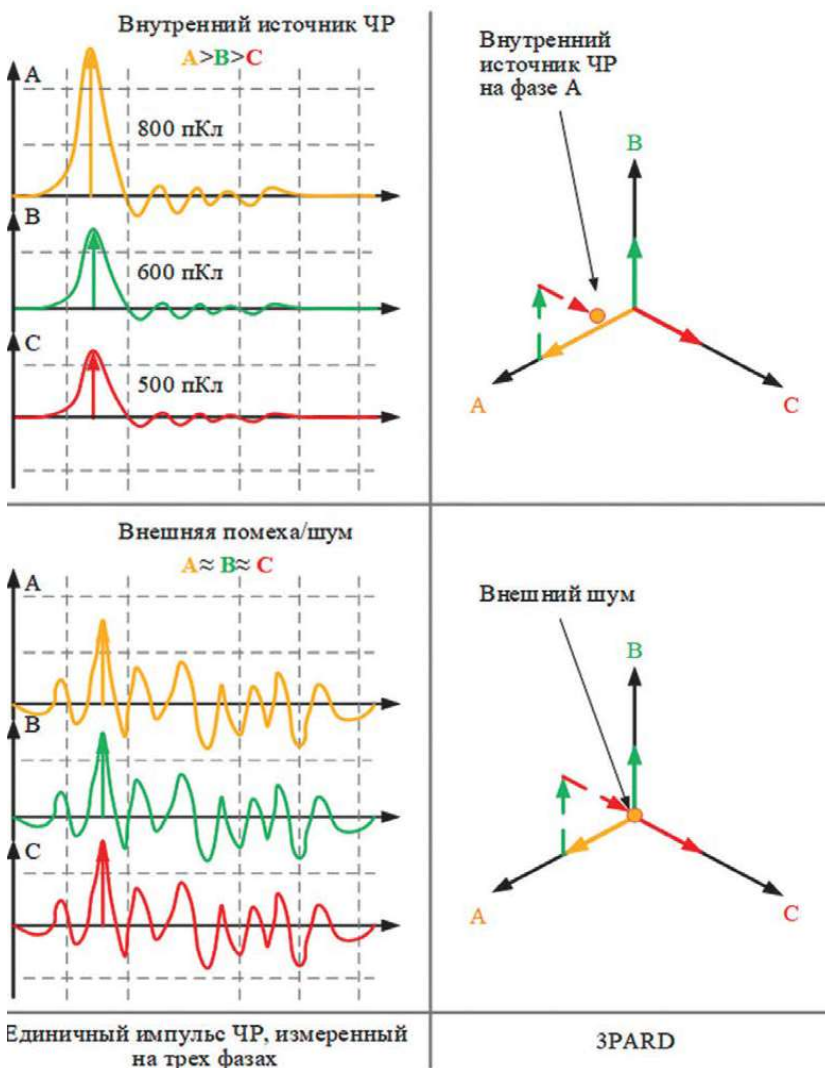


Рис. 10. Построение диаграммы ZPARD

но определить тип дефекта, который вызвал появление импульсов ЧР (рис. 9).

При наличии в изоляции нескольких дефектных зон, а также высокого уровня шума, на диаграмму PRPD накладывается сразу несколько образов источников ЧР, что усложняет PRPD диаграмму и затрудняет ее анализ. Для разделения различных источников ЧР в MONGEMO применяется синхронный многоканальный метод оценки ZPARD. Диаграмма ZPARD визуализирует взаимосвязь между амплитудами определенного импульса ЧР в одной фазе и генерируемых им перекрестных сигналов в двух других фазах. Амплитуды ЧР, синхронно измеренные на трех фазах, складываются, и результирующая величина ЧР наносится на единую диаграмму (рис. 10).

Каждый источник ЧР имеет определенный путь распространения до точек измерения (конденсаторов связи), что приводит к разным амплитудам измеренных значений и, соответственно, другому расположению точек на ZPARD диаграмме. Отдельные источники ЧР, а также шумы, отображаются на ZPARD диаграмме в виде скопления точек. ПО MONGEMO автоматически группирует эти точки в отдельные кластеры. Внутренние источники ЧР в основном расположены в скоплениях рядом с осью на диаграмме, импульсы шума в основном располагаются близко к оси координат в центре. ПО MONGEMO позволяет выбрать на ZPARD диаграмме отдельный кластер и увидеть для данного кластера PRPD диаграмму, построенную из импульсов ЧР только данного кластера без наложения импульсов от других источников ЧР. На рис. 11 показан пример разделения различных источников ЧР и шума с помощью ZPARD. В левой части рисунка отображены диаграммы PRPD с шумовыми сигналами и ЧР (не разделенные), в центре рисунка – диаграмма ZPARD с 11 кластерами, в правой части рисунка для примера выделены три кластера и показаны их «очищенные» PRPD диаграммы (без наложения сигналов от других источников ЧР).

Анализируя «очищенные» PRPD диаграммы ПО MONGEMO определяет фазу источника сигнала ЧР и автоматически формирует отчет с указанием типа дефекта и его расположения (рис. 12). Перечень типов дефектов, автоматически определяемых ПО MONGEMO, представлен в табл. 1.

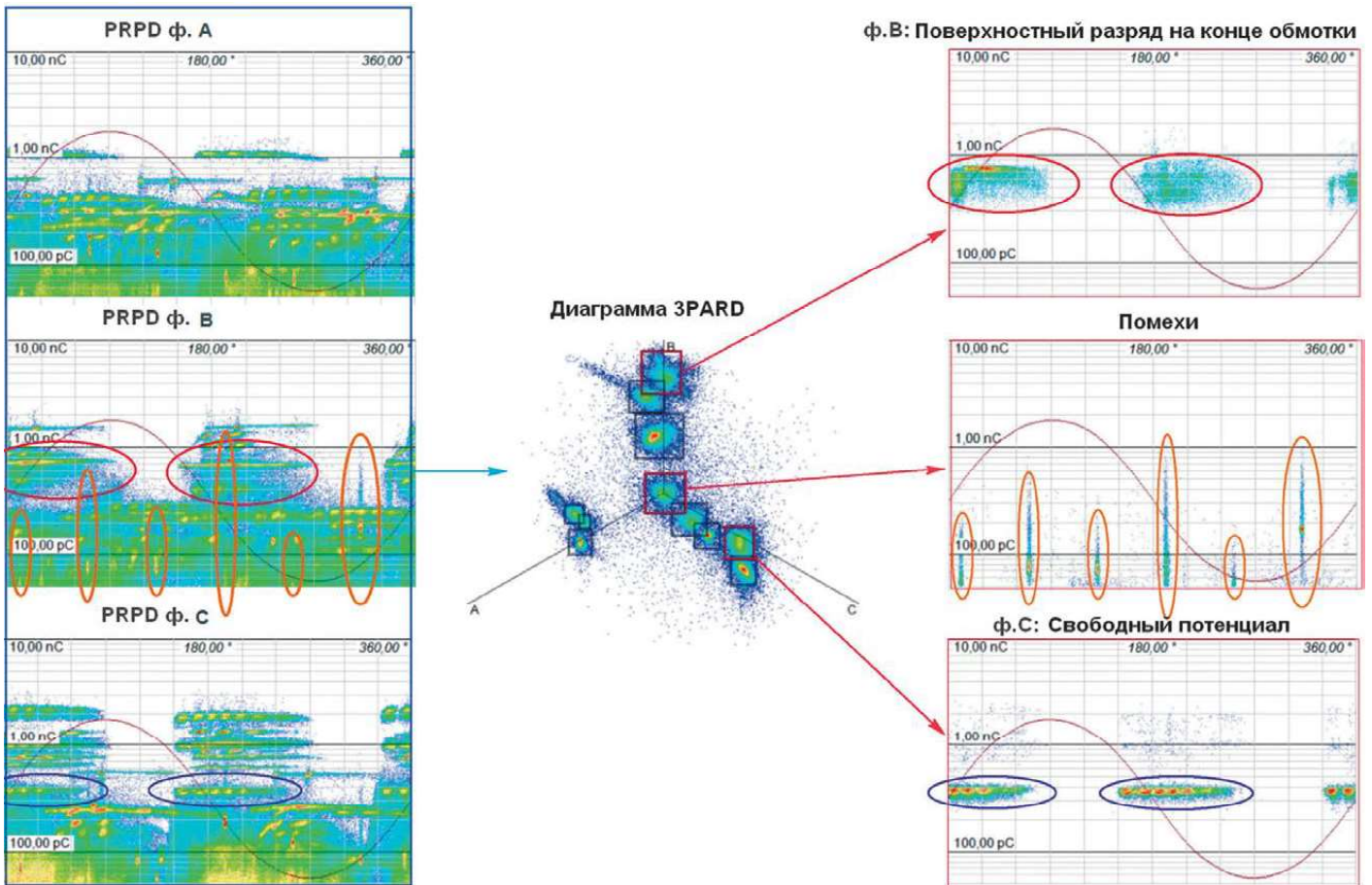


Рис. 11. Разделение источников ЧР с помощью 3PRD

Таблица 1. Перечень дефектов, автоматически определяемых ПО MONGEMO

Обозначение	Тип дефекта – источник ЧР	Степень опасности для изоляции
S1	Расслоения (полости из воздуха, газа) между основной изоляцией и медным проводником обмотки статора (отслоение от проводника)	Высокая
S2	Расслоения в изоляционных слоях (полости в основной изоляции, удлиненные в продольном направлении) обмотки статора	
S3	Отсутствие или плохой контакт между выравнивающим слоем изоляции обмотки статора и стенкой паза статора, истирание изоляции, защищающей от короны в пазу статора (пазовый ЧР)	
S4	Микрополости внутри основной изоляции обмотки статора	Низкая
E1	Наличие на поверхности изоляции обмотки статора проводящих загрязнений или поврежденных выравнивающих покрытий	Средняя
E2	Корона на концах обмотки/искрение	
E3	Разряд между пазовой защитой от короны и защитой от короны на конце обмотки (выравнивающей потенциал).	
N1	Шум (асинхронный шум)	Низкая
N2	Возбуждение/ шум конвертора	

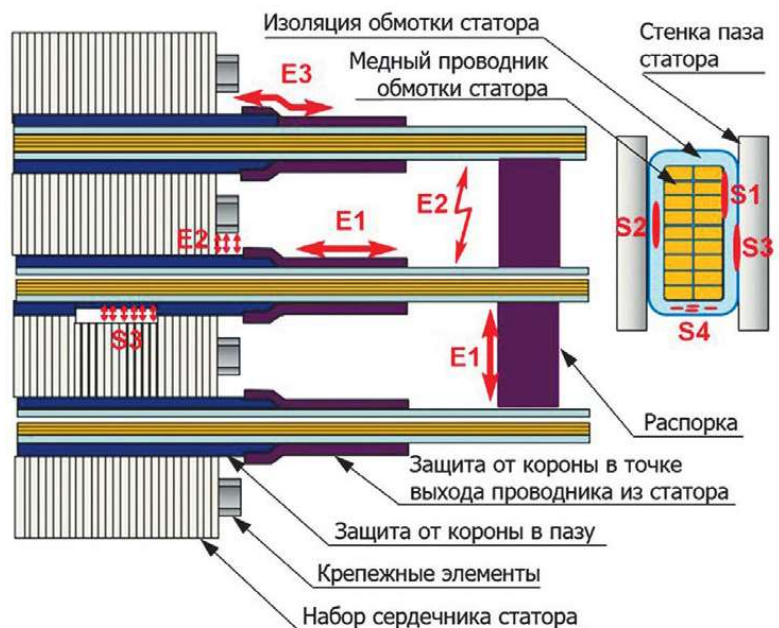


Рис. 12. Типы дефектов, определяемые MONGEMO, и их расположение

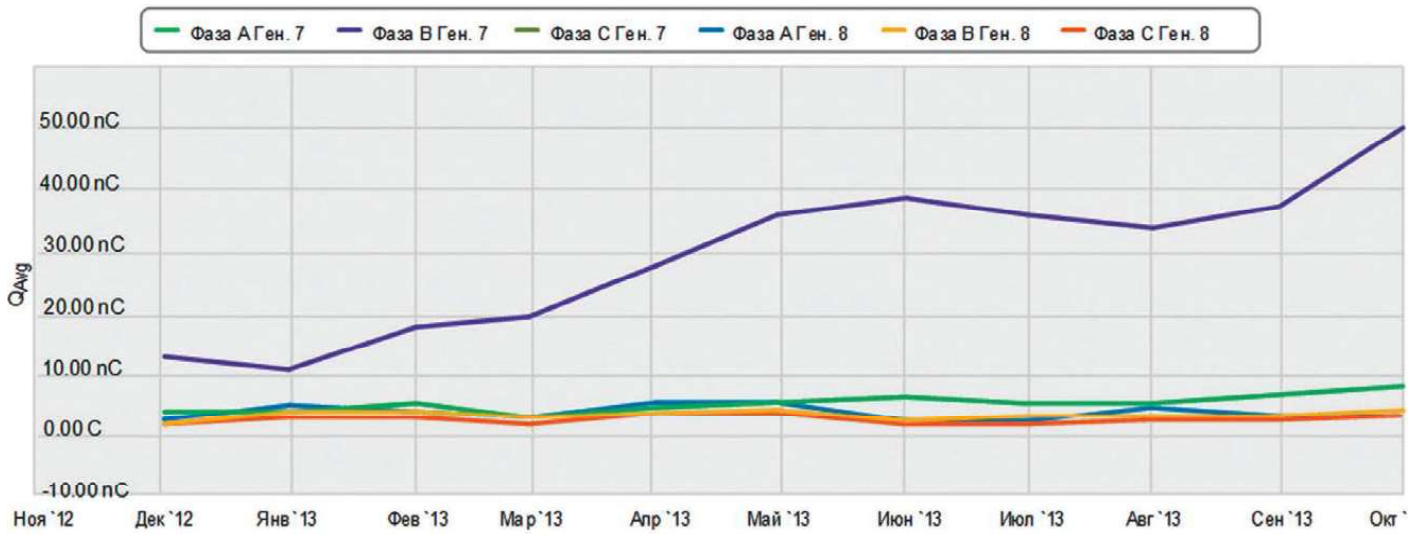


Рис. 13. Возрастающий тренд уровня ЧР на одной из фаз гидрогенератора 126 МВА [8]

Как видно из табл. 1, различные типы дефектов, вызывающие ЧР, имеют разную степень опасности для изоляции обмотки статора генератора. Например, при одинаковой амплитуде и частоте событий ЧР, риск разрушения и пробоя изоляции от поверхностного ЧР (дефект E1) ниже, чем от ЧР, вызванных расслоением внутри основной изоляции (дефект S1). Если поверхностный ЧР может быть вызван загрязнением или повышенной влажностью, то второй тип ЧР является следствием перегрева или чрезмерных механических сил, что приводит к отделению больших площадей изоляционных слоев друг от друга [7].

Благодаря высокой чувствительности, MONGEMO позволяет обнаружить дефект на ранней стадии его появления, а путем построения трендов – определить динамику развития каждого из дефектов, оценить общее состояние изоляции в зависимости от источника и расположения ЧР. На рис. 13 представлены результаты измерений активности ЧР на гидрогенераторе 126 МВА. На одной из фаз гидрогенератора системой мониторинга был зарегистрирован рост трендов активности ЧР. ЗПАРД сепарация и PRPD анализ показали наличие поверхностного разряда в пазах статора, что было подтверждено при визуальном осмотре после вывода генератора из работы (рис. 14).

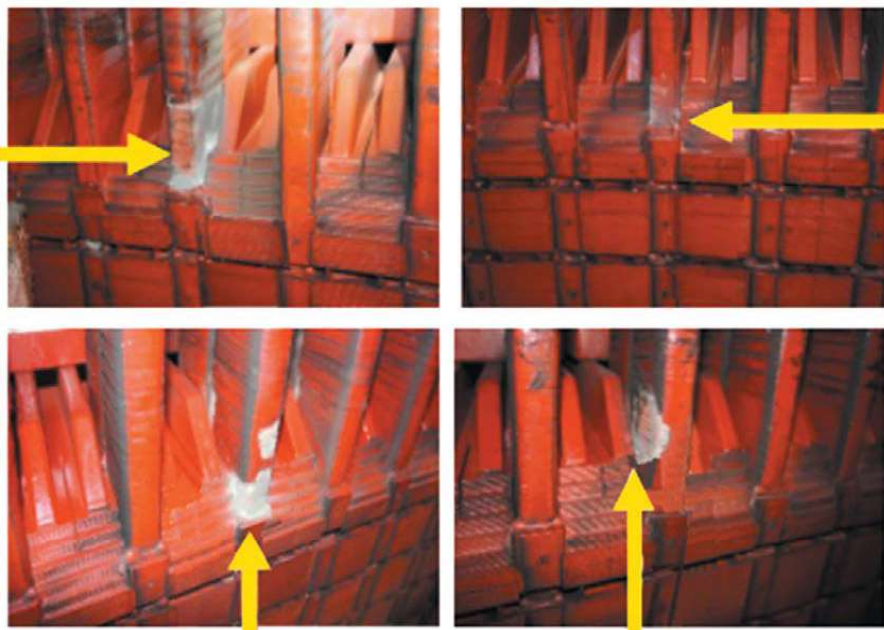


Рис. 14. Поверхностный ЧР в пазах статора [8]

Определение с помощью системы мониторинга ЧР типа дефекта изоляции статора позволяет выбрать оптимальный вариант технического обслуживания (ТО) генератора и запланировать график, объем и финансирование ремонтных работ. На основании результатов мониторинга ЧР, полученных до и после ТО генератора, можно оценить эффективность программы ТО. На рис. 15 представлен график активности ЧР на турбогенераторе 180 МВА, где видно, что в определенный период времени на одной из фаз начался рост активности ЧР. PRPD диаграммы показали наличие загрязнений на поверхности изоляции в лобовой части обмотки статора. Генератор был выведен из работы, проведено ТО: очистка от грязи и пыли, другие работы не проводились. После включения генератора уровни

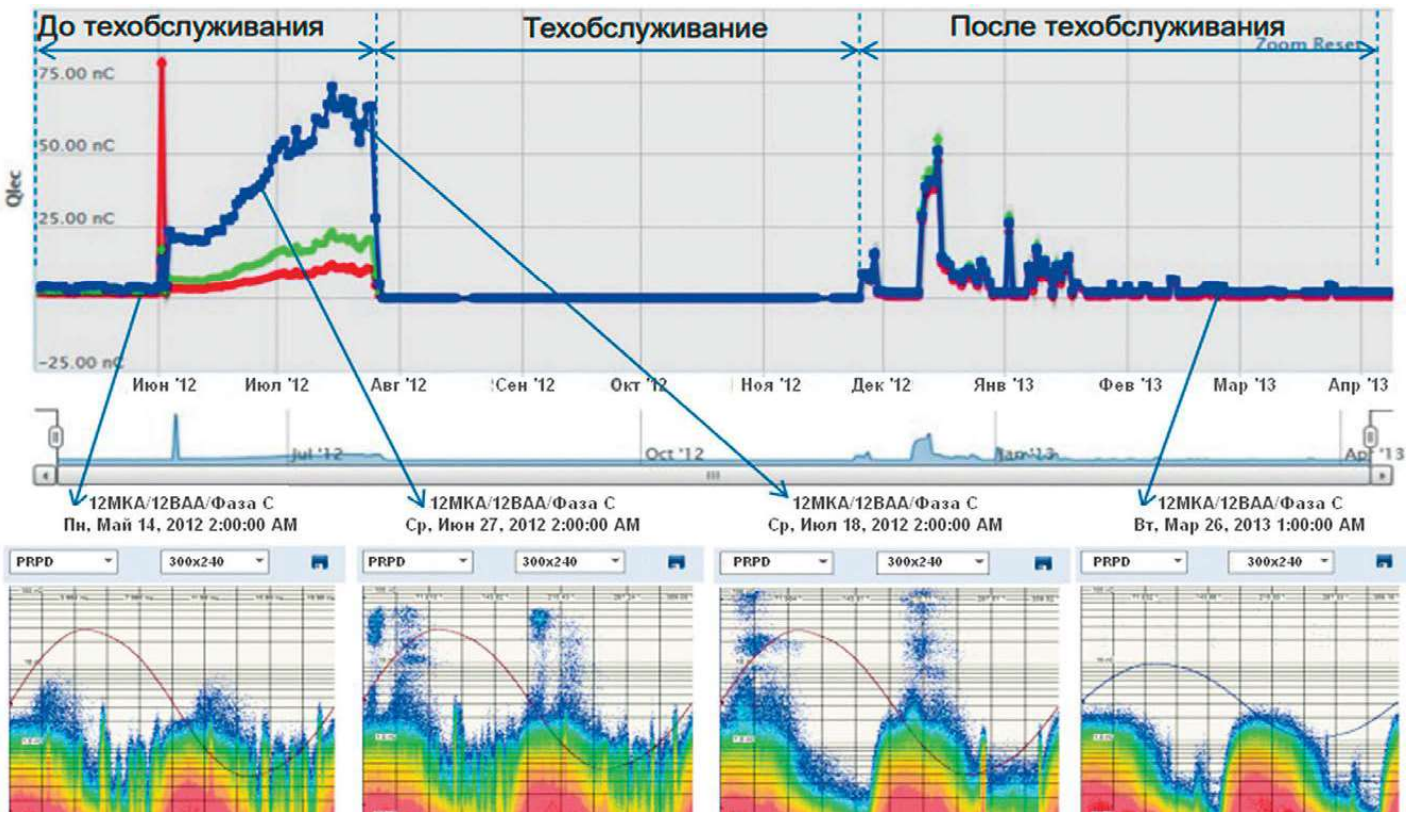


Рис. 15. Обслуживание на основе мониторинга ЧР [8]

ЧР вернулись к нормальным стабильным значениям, на PRPD диаграмме пропали скопления точек, указывающие на наличие поверхностного ЧР, что говорит о том, что данные системы мониторинга помогли верно установить причину роста активности ЧР, а ТО было проведено эффективно и качественно.

Активность ЧР может зависеть от условий работы генератора. Для более глубокого анализа изменения активности ЧР и получения полной картины состояния генератора ПО MONGEMO обеспечивает вывод многочисленных контролируемых параметров в одном графике (рис. 16). Например, на один график с ЧР можно вывести:

- ток и напряжение статора;
- активную и реактивную мощность;
- температуру обмотки;
- температуру и давление охлаждающего газа и т.д.

Опыт применения системы мониторинга ЧР турбогенераторов филиала «Северо-Западная ТЭЦ им. А.Г. Бориса» АО «Интер РАО – Электрогенерация»

Мониторинг активности ЧР получает все большее признание со стороны крупных электроэнергетических компаний всего мира. В качестве примера реализации проектов в РФ можно отметить проект внедрения системы мониторинга ЧР MONGEMO на Северо-Западной ТЭЦ им. А.Г. Бориса», входящей в состав АО «Интер РАО – Электрогенерация». В 2020 г. НПП «ЭКРА» завершила второй этап поставки и наладки системы мониторинга: к системе подключены еще четыре турбогенератора [9]. Система успешно прошла опытную эксплуатацию и осуществляет мониторинг активности ЧР одновременно на шести турбогенераторах типа

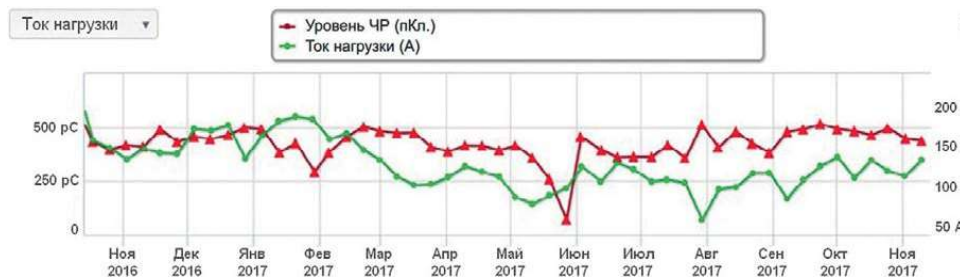


Рис. 16. Вывод уровня ЧР (пКл) и тока генератора (А) на едином графике

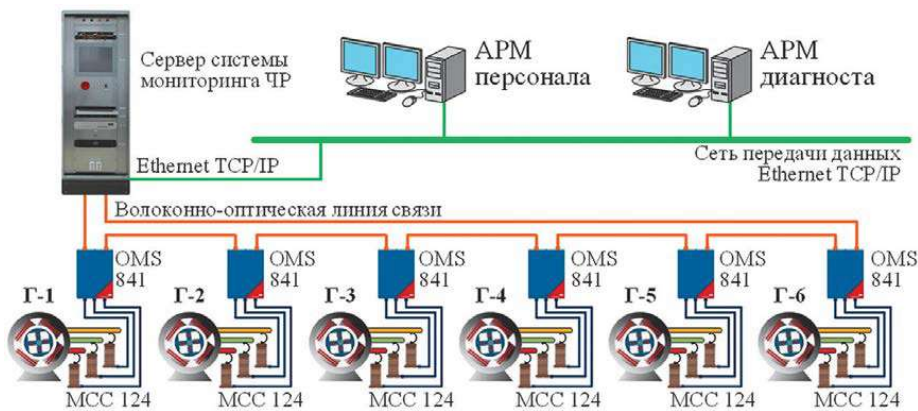


Рис. 17. Структурная схема системы мониторинга ЧР MONGEMO на «Северо-Западной ТЭЦ им. А.Г. Бориса»

ТФГ-160-2УЗ (рис. 17). Следует отметить, что Северо-Западная ТЭЦ – первая в России электростанция нового поколения с высокоэкономичной и экологичной технологией производства электрической и тепловой энергии, работающая по парогазовому бинарному циклу. Она является одной из самых современных станций не только в России, но и во всей Европе.

Разработка проектной и рабочей документации осуществлялась Проектным Центром «ЭКРА» (ПЦ «ЭКРА») в соответствии с типовыми проектными решениями по созданию системы мониторинга MONGEMO [10]. Монтаж конденсаторов связи производился во время проведения плановых технических обслуживаний и ремонтов (ТОиР) генераторов. Для каждого генератора использовались по три конденсатора связи МСС 124 – по одному на каждую фазу. Конденсаторы связи установлены на экранах токопроводов генераторов и подключены к шинам токопроводов в непосредственной близости от высоковольтных выводов генераторов (рис. 18). Применение конденсаторов связи МСС 124 с максимальным рабочим напряжением 24 кВ позволяет проводить регламентированные периодические высоковольтные испытания обмотки статора генератора повышенным напряжением ($>1,5 U_{ном}$) без отключения конденсаторов связи от токопроводов генератора. Подключение конденсаторов связи МСС 124 к устройству сбора данных OMS 841 осуществляется с помощью триаксиальных кабелей. Для уменьшения длины кабелей и снижения влияния шума и помех устройство сбора данных установлено рядом с конденсаторами связи в защитном шкафу (класс защиты IP 65). Калибровка измерительных каналов устройства сбора данных выполнена на расшинованном генераторе путем подачи непосредственно на конденсаторы связи калибровочных импульсов величиной заряда, равной 1 нКл. Для цифрового фильтра устройства сбора данных установлена

центральная частота 3,5 МГц и порога пропускания 600 кГц.

Устройства сбора данных непрерывно осуществляют сбор сигналов от конденсаторов связи, обработку и передачу данных на сервер системы мониторинга по волоконно-оптическому кабелю. На сервере осуществляется сбор, обработка, хранение и отображение долгосрочных данных ЧР по каждому генератору, формирование предупредительной и аварийной сигнализации. Сервер подключен к сети Ethernet станции и предоставляет удаленный доступ к текущим и сохраненным данным ЧР доверенным пользователям АРМ через веб-интерфейс.

Веб-интерфейс в режиме онлайн отображает данные по ЧР каждого генератора (рис. 19) по принципу светофора. Если полученные значения ниже предваритель-



Рис. 18. Установка конденсаторов связи и шкафа устройства сбора данных СМ ЧР Северо-Западной ТЭЦ

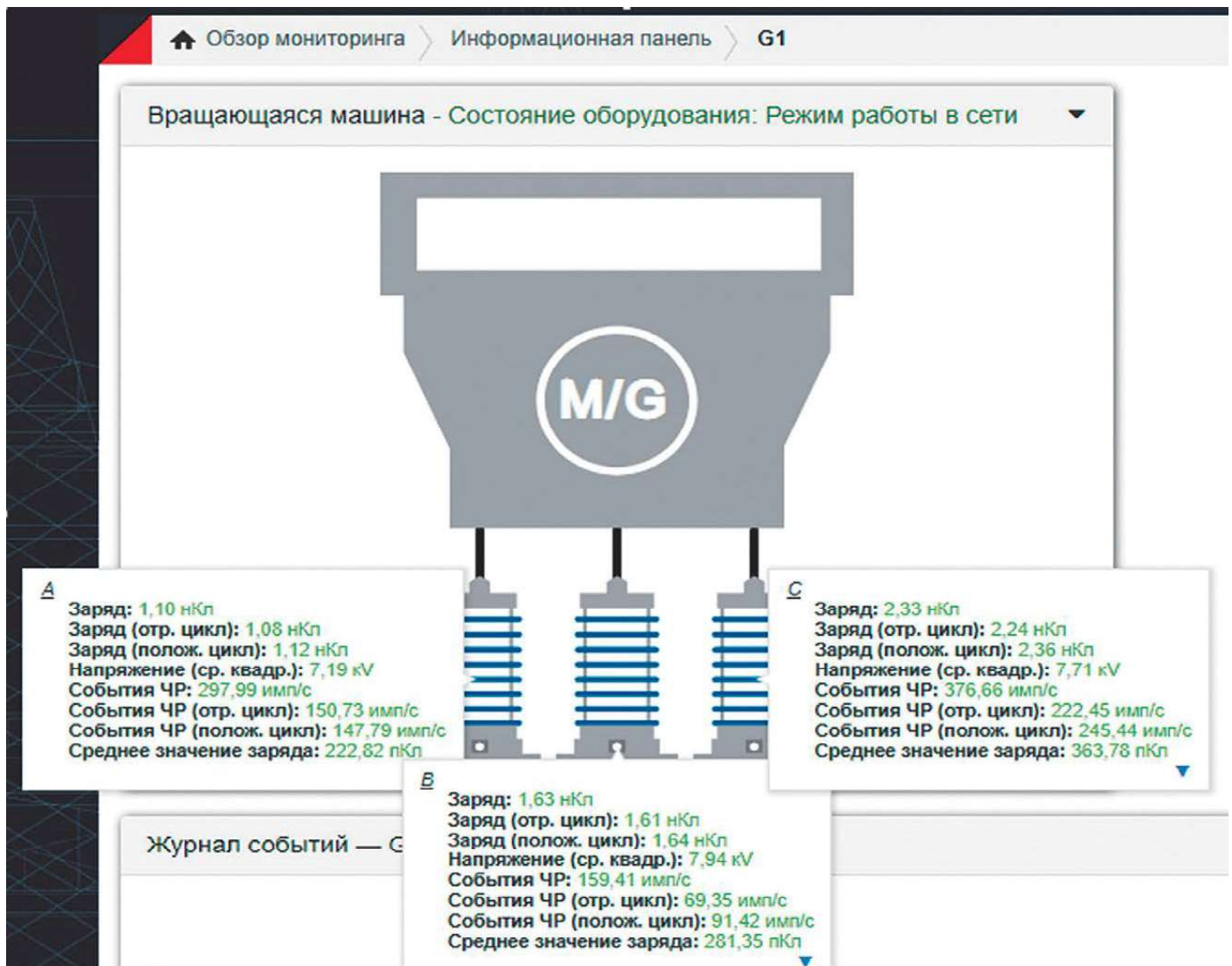


Рис. 19. Отображение текущих значений параметров ЧР объекта в веб-интерфейсе ПО MONGEMO

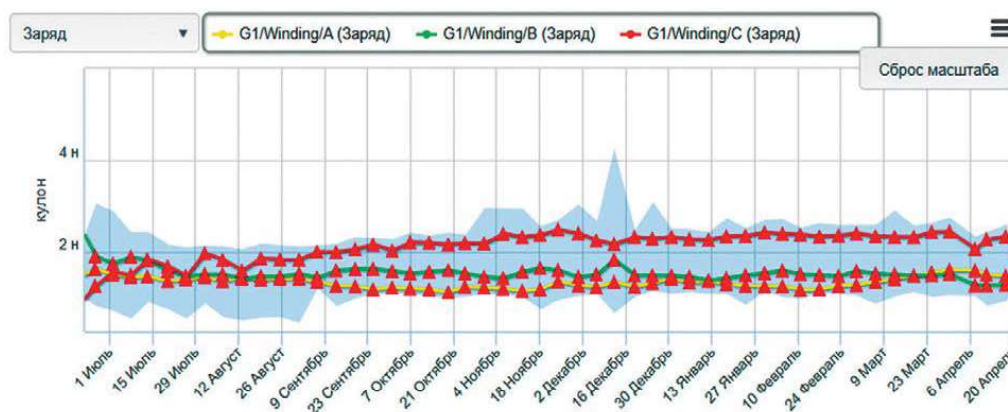


Рис. 20. Отображение тренда ЧР в веб-интерфейсе MONGEMO

но заданных пороговых значений, они окрашиваются в зеленый цвет. В случае, если измеренные значения превышают заданные пороговые значения, они окрашиваются в желтый (предупреждение) или красный (превышение порога аварийной сигнализации) цвета. Есть возможность отправки оповещения о срабатывании сигнализации по e-mail и в АСУ ТП станции.

Для отображения трендов (рис. 20) в соответствии с за-

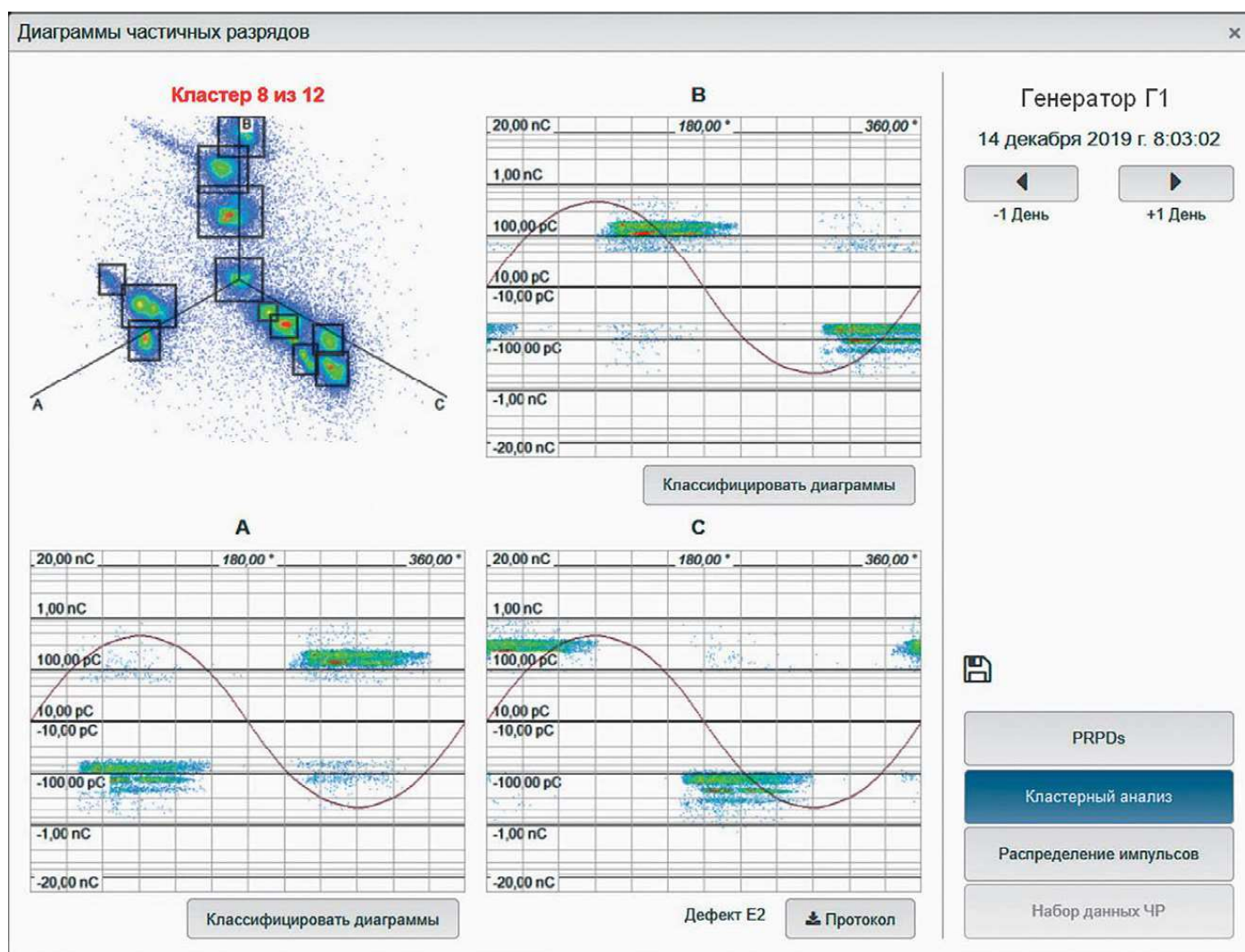


Рис. 21. Кластер на диаграмме ЗАРД

данным периодом, например, раз в час, по каждой фазе генератора осуществляется запись скалярных величин параметров ЧР, а также набор данных для диаграмм PRPD и ЗАРД для последующей обработки и визуализации.

Наборы данных отмечаются на тренде в виде красных треугольников, при выборе которых отображается ЗАРД диаграмма с автоматически разделенными кластерами – источниками ЧР (рис. 21).

По каждому кластеру можно посмотреть очищенную от других источников ЧР PRPD диаграмму и сформировать систематизированный отчет (рис. 22).

С самого начала эксплуатации системой мониторинга MONGEMO была зафиксирована повышенная активность ЧР в генераторах Северо-Западной ТЭЦ. Анализ результатов измерений показал, что источниками ЧР являются разряды/искрения в лобовой части обмотки

статора. При этом амплитуда и частота возникновения ЧР оставались за все время наблюдения на одном уровне. При данном уровне амплитуды ЧР не представляют большой опасности для обмотки статора. Поэтому генераторы с такими ЧР могут продолжить эксплуатацию до последующего планового ТОиР.

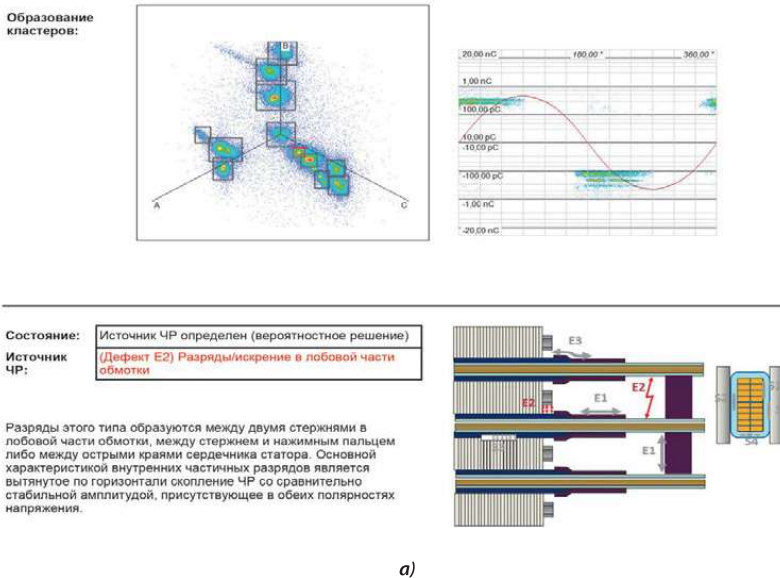
Выводы

1) Надежность работы турбо- и гидрогенераторов, продление их срока службы могут быть обеспечены путем оснащения генераторов системами онлайн-мониторинга и технической диагностики. Применение систем мониторинга оборудования позволяет отслеживать дефекты до появления критических повреждений, перейти на обслуживание и ремонты оборудования по ТС, повысить эффективность и предсказуемость их эксплуатации.

ОТЧЕТ-классификация диаграмм РФЧР (вращающиеся машины)

G1/Winding/C

14.12.2019 8:03



Анализ базы знаний

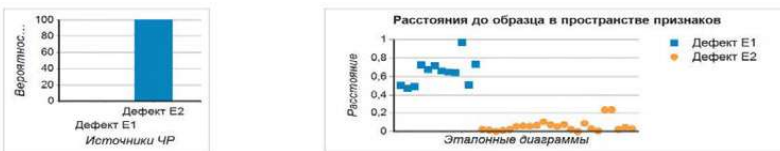
На решение влияют указанные ниже атрибуты PRPD.

Имя атрибута	Значение атрибута
Разброс импульсного заряда в положительной части	Узкий
Симметрия импульсного заряда в положительной части	Смещение вниз
Состояние импульсного заряда в положительной части	Пик
Пропорция полярности	Равная полярность
Симметрия импульсной фазы в положительной части	Смещение влево
Регулярность заряда фазы в положительной части	Неравномерная
Симметрия заряда фазы в положительной части	Смещение влево

Детерминистическое решение не получено. Для завершения анализа применяется точное распознавание диаграммы.

Распознавание диаграмм (PatRec5)

Источник ЧР	Короткое имя	Вероятность
Разряд/отслеживание поверхности концевой обмотки	Дефект E1	0%
Разряды/искрение в лобовой части обмотки	Дефект E2	100%



Получено вероятностное решение.

b)

Рис. 22. Фрагменты листов автоматизированного отчета ПО MONGEMO по источнику ЧР:

- a) отображение для выделенного кластера ZPARD диаграммы «очищенной» PRPD диаграммы, информации о типе дефекта источника ЧР и его локализации;
- b) отображение результатов анализа базы знаний

2) Достоверная оценка ТС оборудования достигается при использовании комплексной системы диагностического мониторинга, охватывающей контроль всех значимых узлов и деталей оборудования. Примером такой системы является система мониторинга турбо- и гидрогенераторов в составе ПТК «ДиаМонт», включающая в себя подсистемы мониторинга состояния ротора, статора и иных элементов и технологических систем генератора.

3) Система мониторинга ЧР – одна из ключевых подсистем мониторинга генераторов, выявляющая дефекты и повреждения в начальные моменты времени их возникновения. Сложность применения систем мониторинга ЧР, существовавшая ранее, была связана со сложностью анализа результатов измерения ЧР. В предлагаемой системе мониторинга ПТК «ДиаМонт» анализ автоматизирован: система выдает готовые решения по местам возникновения ЧР и их интерпретации в соответствии с международными стандартами и требованиями ГОСТ IEC/TS 60034-27-1, ГОСТ IEC/TS 60034-27-2 [7].

Литература

- Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы» (АО «СО ЕЭС») [Электронный ресурс]. <https://so-ups.ru> (дата обращения: 10.12.2020).
- Акционерное общество «Техническая инспекция ЕЭС» [Электронный ресурс]. <https://www.ti-ees.ru/functioning/analytics/time/> (дата обращения: 10.12.2020).
- Мамиконянц Л.Г., Самородов Ю.Н., Шейко П.А. и др. Методы и результаты обследований длительно работающих турбо- и гидрогенераторов электростанций России; критерии для оценки возможности продления сроков их эксплуатации. Тезисы докладов открытой научно-практической конференции «Оценка технического состояния электрооборудования энергосистем. Определение перспектив надежности работы ЕЭС России». - М.: ЭНАС, 1999.
- Самородов Ю.Н. Дефекты генераторов. - М.: ЗАО «Энергетические технологии», 2005.
- Материалы технической конференции «Дефекты и неисправности турбогенераторов мощностью 500-1000 МВт, мероприятия по их определению и устранению». г. Санкт-Петербург, Филиал ОАО «Силловые машины» «Электросила», 26-28 апреля 2004 г.
- CI-RE: Survey of Hydrogenerator Failures. WG A1.10 [Электронный ресурс]. <https://e-cigre.org/publication/392-survey-of-hydrogenerator-failures> (дата обращения: 21.01.2021).
- ГОСТ IEC/TS 60034-27-2-2015 Машины электрические вращающиеся. Часть 27-2. Измерения частичного разряда на изоляции статорной обмотки включенных в сеть вращающихся электрических машин.
- Кравченко М.И. Опыт и особенности применения системы мониторинга ЧР MONGEMO в статоре генератора. [Электронный ресурс]. <http://www.cigre.ru/activity/conference/a1/papers/19.%20A1-MONGEMO-Maksim%20Kravchenko-OMICRON.pdf> (дата обращения: 21.01.2021).
- ПЦ «ЭКРА». Внедрение системы онлайн-мониторинга частичных разрядов генераторов Северо-Западной ТЭЦ. Рабочая документация.
- НПП «ЭКРА». Типовые проектные решения на создание (модернизацию, замену) системы мониторинга частичных разрядов в изоляции вращающихся машин на оборудовании OMICRON. Типовые проектные решения MONGEMO.