

Информационное агентство
Энергопресс

4'2011

Новое в российской электроэнергетике



НОВОЕ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Ежемесячный электронный журнал

№ 4 апрель 2011 г.

Объединенный редакционный совет издательств ООО «Стрижев-Центр»
и ООО «Информационное агентство «Энерго-пресс»

Председатель – Серебрянников Сергей Владимирович, ректор Московского энергетического института
(Технического университета)

Заместитель председателя – Михайлов Сергей Алексеевич, заместитель генерального директора ОПК «Оборонпром», главный редактор газеты «Энерго-пресс»

Заместитель председателя – Паули Виктор Карлович, председатель Совета директоров ЗАО «Наставник-ТехЭнерго», председатель Правления НП «Союз инженеров-электриков», заведующий кафедрой инженерного менеджмента МЭИ (ТУ), главный редактор журнала «Охрана труда за рубежом»

Члены Совета

Шульгинов Николай Григорьевич, первый заместитель председателя Правления ОАО «СО ЕЭС»

Зубакин Василий Александрович, заместитель начальника Главного управления энергетики ОАО «Лукойл»

Загретдинов Ильяс Шамилович, заместитель генерального директора – технический директор ОАО «Группа Е-4»

Громогласов Александр Аркадьевич, главный редактор издательств «Стрижев-Центр» и «Энерго-пресс»

Воронов Виктор Николаевич, заведующий кафедрой Московского энергетического института (Техни-

ческого университета), главный редактор журнала «Новое в российской электроэнергетике»

Росляков Павел Васильевич, проректор Московского энергетического института (Технического университета)

Пильщиков Аркадий Павлович, доцент Московского энергетического института (Технического университета)

Громогласов Сергей Александрович, заместитель директора агентства «Энерго-пресс» – ответственный секретарь

Редколлегия

Главный редактор –
Воронов В.Н., д.т.н., профессор
Первый заместитель главного редактора –
Зорин В.М., д.т.н., профессор
Заместитель главного редактора –
Громогласов А.А., д.т.н., профессор
Ответственный секретарь –
Галтеева Е.Ф., к.т.н.

Члены редколлегии:

Аракелян Э.К., д.т.н., профессор
Богуш Б.Б.
Васин В.П., д.т.н., профессор
Верещагин И.П., д.т.н., профессор
Жуков Ю.И., к.т.н.
Загретдинов И.Ш.
Лавыгин В.М., к.т.н., профессор
Львов М.Ю., д.т.н.
Мелихов О.И., д.т.н., ст.н.сотр.
Мисриханов М.Ш., д.т.н., ст.н.сотр.
Паули В.К., д.т.н. профессор
Пильщиков А.П., к.т.н., доцент
Росляков П.В., д.т.н., профессор
Рыженков В.А., д.т.н., профессор
Рябов М.И., к.т.н.
Седлов А.С., д.т.н., профессор
Соляков В.К., к.т.н., доцент
Томаров Г.В., д.т.н., профессор

Содержание

Стр.

О подписке на электронные журналы «НОВОЕ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ» и «ОХРАНА ТРУДА ЗА РУБЕЖОМ»

3

Общие вопросы электроэнергетики

Повышение надежности и эффективности действующего оборудования ТЭС. Д.т.н. В.Ф. Резинских, д.т.н. А.Г. Тумановский (ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт»)

5

Концепция модернизации электроэнергетики и пути ее реализации (обзор публикаций) Д.т.н. Васин В.П. (МЭИ-ТУ)

14

Проблемы создания комплекса электрооборудования для повышения надежности и грозоупорности воздушных линий и подстанций распределительных сетей 6–110 кВ. К.т.н. М.А. Шамис (ЗАО «ЧЭАЗ»), к.т.н. Р.Н. Шульга (ФГУП ВЭИ)

26

В помощь производству

Повышение эффективности расстановки устройств ограничения токов короткого замыкания в сетях мегаполисов. К.т.н. О.В. Фролов, д.т.н. Н.Ш. Чемборисова (ОАО «НИИПТ»)

33

Акустические сигналы и аварийность высоковольтного энергооборудования. К.ф.-м.н. С.К. Цветаев (НПО «Техно-сервисэлектро»)

41

Журнал перерегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций, Свидетельство о регистрации: ИА № ФС77-41829 от 14.09.2010.

Согласно постановлению Правительства РФ от 20 апреля 2006 г. № 227 «К опубликованным работам, отражающим основные научные результаты диссертации, приравниваются публикации в электронных научных изданиях, зарегистрированных в Федеральном государственном унитарном предприятии «Научно-технический центр «Информрегистр». Журнал зарегистрирован в НТЦ «Информрегистр» на 2011 год под № 0421100097.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ И АВАРИЙНОСТЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

К.ф.-м.н. С.К. Цветаев (НПО «Техносервисэлектро»)

Опасные дефекты, приводящие к аварии, могут возникать на всех этапах существования энергооборудования: при производстве, при транспортировке и монтаже, и при эксплуатации. Конечно, самое главное – не допустить дефектов при производстве. Поэтому на всех трансформаторных заводах существуют испытательные подразделения, которые используют и акустические методы. Испытания на наличие частичных разрядов (ЧР) проводятся при повышенном напряжении в соответствии с ТУ на изделия. Акустические датчики для поиска места дефектов с ЧР используют Московский электрозавод, Тольяттинский трансформаторный завод, Раменский завод «Энергия», и был опыт применения их на заводе «Запорожтрансформатор». В эксплуатации контроль энергооборудования проводится в соответствии с [1]. Эти нормы не содержат акустический метод как обязательный, однако он давно и успешно применяется для поиска дефектов, и в настоящее время готовится международный стандарт IEC 62478 по обнаружению разрядов акустическим методом.

Аварийность силовых трансформаторов (СТ) и их вводов в эксплуатации приводится в [2] и определяется подсчетом числа технологических нарушений, не сопровождавшихся внутренними КЗ, но приведших к отключению защитными устройствами или персоналом по аварийной заявке, и технологических нарушений с внутренним КЗ. Существует также аварийность измерительных трансформаторов, концевых и соединительных муфт кабельных линий, комплектных распределительных устройств элегазовых КРУЭ, токопроводов и др. Причины аварий разнообразны – от неправильной эксплуатации и развития заводских дефектов до загрязнения и старения изоляции и контактных соединений, и механического повреждения. Почти все дефекты, приводящие к внутреннему КЗ, и большинство дефектов, приводящих к отключению без внутреннего КЗ, сопровождаются разрядными процессами до того, как произойдет авария. Это могут быть ЧР в изоляции, искровые или дуговые разряды в подгорающих контактах или между потерявшими изоляцию металлическими частями конструкции. Разрядные процессы сопровождаются звуками, которые можно обнаружить при диагностическом акустическом обследовании, и тем самым можно предсказать и предотвратить аварию.

По правилам эксплуатации треск скользящих разрядов, звуки пробоев и перекрытий, как и пожар, требуют вывода оборудования из работы. Современные акустические датчики значительно чувствительнее человеческого уха и позволяют зафиксировать звуки разрядов на начальных стадиях, когда разряды не опасны. У сотрудника МЧС при виде приведенных

в статье микроскопических точек, конечно, не возникнут ассоциации с пожаром и девизом «Предотвратить...», однако именно эти точки – предвестники пожаров и системных аварий. Если в газовой промышленности за каждую найденную акустическим методом трещину трубы полагается премия, то в энергетике наоборот – при аварии полагается страховка, и очевидна замена сгоревшего оборудования. А метод и датчики акустической эмиссии применяются одни и те же. Конечно, существуют граничные нормы ряда показателей (хроматографический анализ растворенных газов ХАРГ, $\text{tg } \delta$, перегрев, отклонение от паспортных данных), когда эксплуатация должна быть прекращена, и развитие разрядных процессов иногда отражается этими показателями. Но, к сожалению, существующие обязательные методы контроля не всегда предсказывают аварию. Поэтому важно сформулировать критерии опасности акустических сигналов от разрядных процессов.

Электрические разрядные процессы можно подразделить на частичные и искровые. Частичные разряды (ЧР) возникают в изоляции энергетического оборудования и шунтируют часть изоляционного промежутка. Искровые разряды возникают между различного рода металлическими элементами высоковольтной конструкции.

Согласно [3] ЧР возникают:

- во включениях в твердой и жидкой изоляции, например разряды в бумажно-масляной изоляции (рис. 1, *a*);
- в триингах в полиэтиленовой изоляции;
- в резко неоднородных полях;
- по поверхности твердой изоляции, в трещинах;
- в элегазе или масле (разряды на посторонние частицы).

Искровые (дуговые) разряды возникают:

- между элементами конструкции в силовом трансформаторе;
- в элементах заземления и крепления различных экранов;
- в дефектных контактах токопроводящих элементов.

Считается, что ЧР опаснее искровых разрядов, так как именно они прокладывают путь для КЗ в основной изоляции, но дуга, вызывающая перегорание проводника, не менее опасна. Важнейшим моментом для определения опасности разряда является его местоположение. Разряды в районе обмотки СТ опасней, чем плохой контакт магнитного шунта. Акустический метод позволяет установить место разряда и классифицировать разряд.

При электрических разрядах происходит образование импульсов давления [4], которые становятся затем звуковой волной. Разряды – это плазменные образования, возникающие в дефектах изоляции под действием электрического поля. Они имеют энергию от 10^{-3} до 10^{-7} Дж, происходят в малых объемах (до 10^{-6} см³) за время примерно 10^{-9} с. Звук от разряда образуется значительно медленнее в результате пульсаций газовой полости. Этот процесс является взрывным кипением, когда в малом объеме жидкости быстро выделяется значительная тепловая энергия, переводящая жидкость в газ с высоким давлением. Под влиянием этого давления канал разряда расширяется. Это расширение происходит до тех пор, пока потенциальная энергия полости не перейдет в кинетическую энергию расширяющейся

жидкости и давление в полости не станет меньше гидростатического. Канал охлаждается, и под действием гидростатического давления жидкость начинает двигаться обратно. Это приводит к увеличению давления в газовой полости, которая снова под действием этого давления начинает расширяться. Процесс повторяется в форме нескольких последовательных затухающих пульсаций. Таким образом, полость с ЧР излучает волны сжатия и разрежения, энергия которых составляет значительную долю энергии разряда [4], а период пульсации порядка 10^{-5} с. Аналогичный звук можно вызвать в жидкости при импульсном воздействии лазера или при быстром разогреве током тонкой проволоочки.

В энергооборудовании могут быть простые и сложные условия распространения ультразвука. В высоковольтных вводах, измерительных трансформаторах, токопроводах обычно имеются простые условия распространения ультразвука, при которых звук от разряда распространяется в почти однородной среде на расстояния порядка сотни длин волн и поэтому затухает незначительно. В силовых трансформаторах, в элегазовом оборудовании источник электрического разряда может находиться в глубине оборудования. В этом случае ультразвук проходит ряд преград и значительно затухает. Если у небольших маслонеполненных объектов величина акустического сигнала практически одинакова в любой точке поверхности, то при обследовании, например, силового трансформатора это отличие более значительно, и необходимо, перемещая датчик, искать область поверхности с максимальным сигналом.

Вообще говоря, чтобы определить по акустическому сигналу энергию разряда (а именно она указывает на разрушительную способность дефекта), нужно знать условия распространения или «акустический портрет» объекта, что, как правило, не известно. На моделях разрядов установлена примерная связь между звуковым давлением, энергией разряда и его кажущимся зарядом. На реальном объекте, когда есть только звук разряда, энергию разряда можно указать приблизительно. Кроме того, целенаправленная работа по сопровождению каждого обнаруженного акустическим методом дефекта, как правило, не проводится. Поэтому в настоящее время в качестве ответа на вопрос: «Сколько времени до аварии?» – можно лишь привести ряд примеров.

На рис. 1, *а* показана промасленная бумага из увлажненной изоляции, на которой видны следы разрядов. Такой дефект приводит к аварии в течение нескольких дней. Электрический сигнал с измерительного вывода ввода СТ и акустические сигналы от 4-х датчиков на крышке или стенке СТ от этих разрядов фиксируются осциллографом (рис. 1, *б* и *в*). По времени между электрическим и акустическими сигналами можно вычислить расстояние до дефекта. Координаты дефекта можно также определить по взаимным задержкам 4-х акустических сигналов. Имеется примерно 30 примеров успешного применения такой акустической антенны для определения координат дефекта.

На рис. 2 *а*, *б*, *в* приведены фотографии гайки, упавшей с отвернувшегося из-за вибраций болта прессующего кольца. Следы искровых разрядов наблюдаются на гайке и на местах, где она лежала. Акустический сигнал фиксировался за несколько лет до планового ремонта

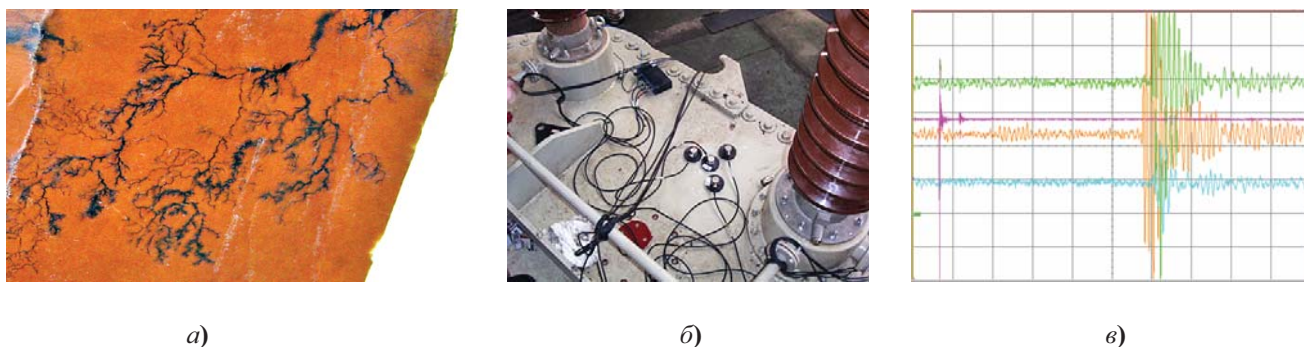
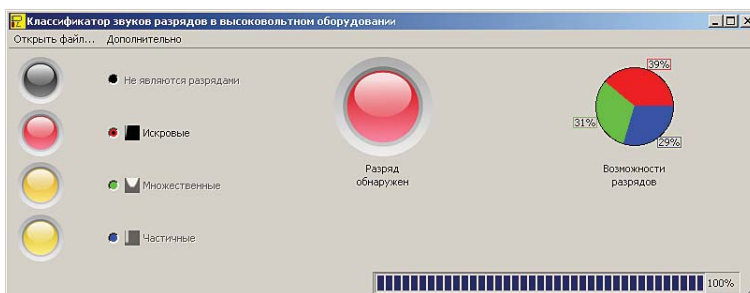
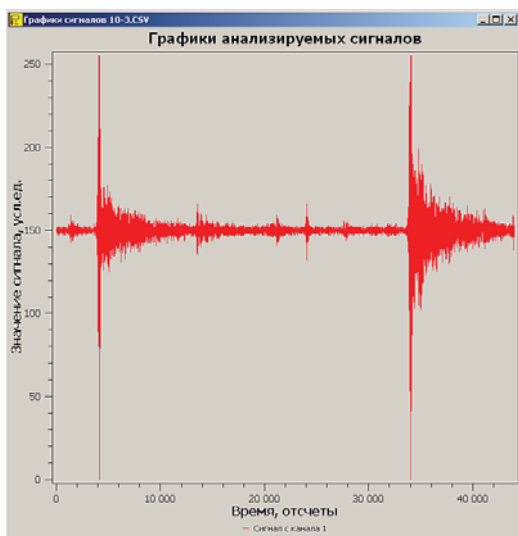
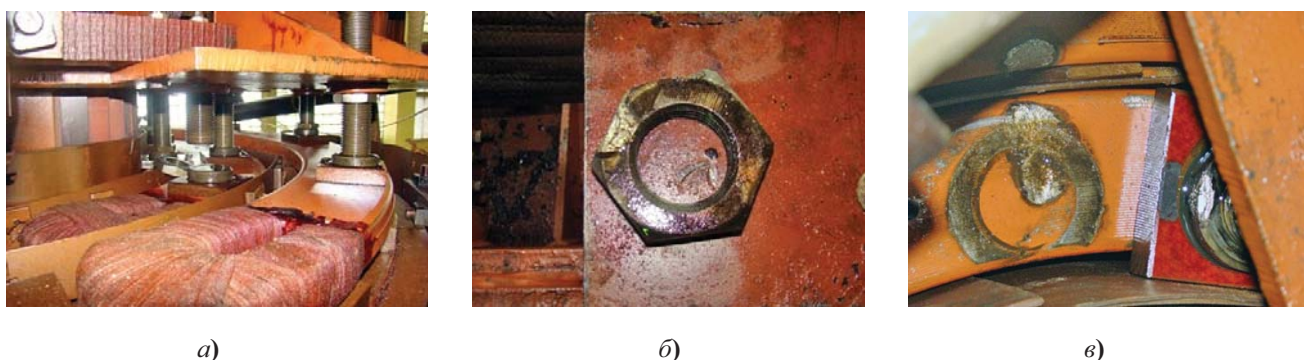


Рис. 1. Разряды в обмотке СТ

a – следы разрядов на бумаге; *b* – установка датчиков на крышке бака; *в* – осциллограмма электрического (красный луч) и акустических сигналов ЧР. По X – 0,1 мс/дел.



z)

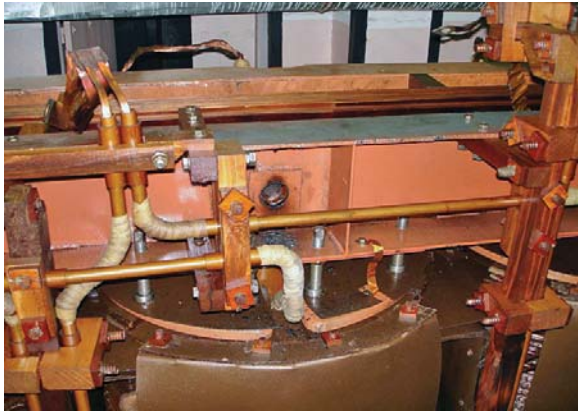
д)

Рис. 2

a, б, в – искровой разряд на гайку, упавшую с болта прессирующего кольца; *z* – осциллограмма сигнала за два периода сети; *д* – результат классификации звука – искровой разряд

(рис. 2, *z*), звук классифицируется программой распознавания как звук искрового разряда (рис. 2, *д*). Опасности нет.

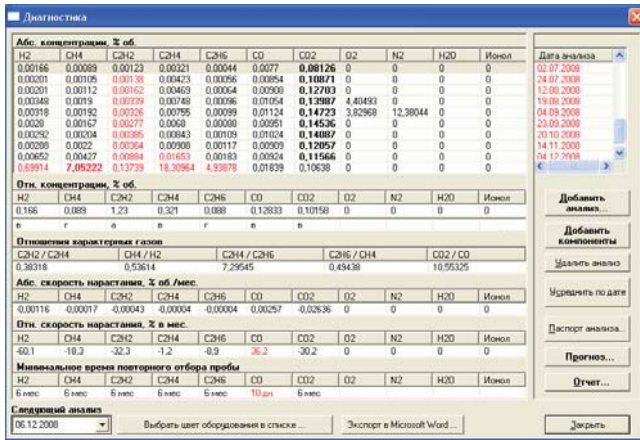
На рис. 3 *a, б* приведена стяжная шпилька, имеющая на концах следы дуговых разрядов. Эти разряды возникли в результате потери изоляции шпильки. Разрядный ток возникает в контуре, состоящем из шпильки, наружных листов магнитопровода и перемычек, соединяющих и заземляющих все листы магнитопровода. Максимум тока совпадает с максимумом магнитной индукции, который на холостом ходу СТ совпадает с переходом через



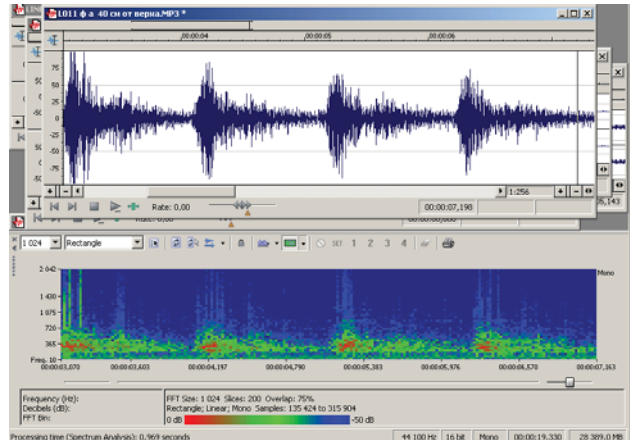
а)



б)



в)



г)

Рис. 3

а, б – следы дуги при замыкании стяжной шпильки; в – рост концентрации растворенных газов; г – акустический сигнал (вверху) и его спектр (внизу) за два периода сети

ноль фазного напряжения, в связи с чем разряды возникают при нуле фазного напряжения. В ряде акустических приборов фирмы Doble предусмотрено осциллографирование сигналов и напряжения, что помогает диагностике оборудования. Такой разряд сопровождается значительным ростом концентрации растворенных газов выше допустимых норм (рис. 3, в), и СТ должен выводиться в ремонт. В этом случае акустический сигнал разряда (рис. 3, г) является указанием для проведения анализа масла.

На рис. 4 приведены фотографии различных дефектов с разрядными процессами.

Эти дефекты опасны при их развитии. Опыта для прогноза развития таких дефектов нет. Как правило, в случае сравнительно небольших разрядов, известен только звук разряда. Например, в СТ типа ТРДНС-40000/220 на ТЭЦ-27 разряд был обнаружен при его пуске в 1994 году (случай опубликован в 1998 г. в [5]), а авария с КЗ обмотки произошла в 2004 г. Если в первые годы эксплуатации периодический контроль проводился, то в дальнейшем он был прекращен из-за трудоемкости. В настоящее время для таких случаев удобно применять акустические датчики мониторинга с радиоканалом, когда сигнал передается автоматически дежурному, и в случае роста сигнала можно запланировать ремонт СТ [7].

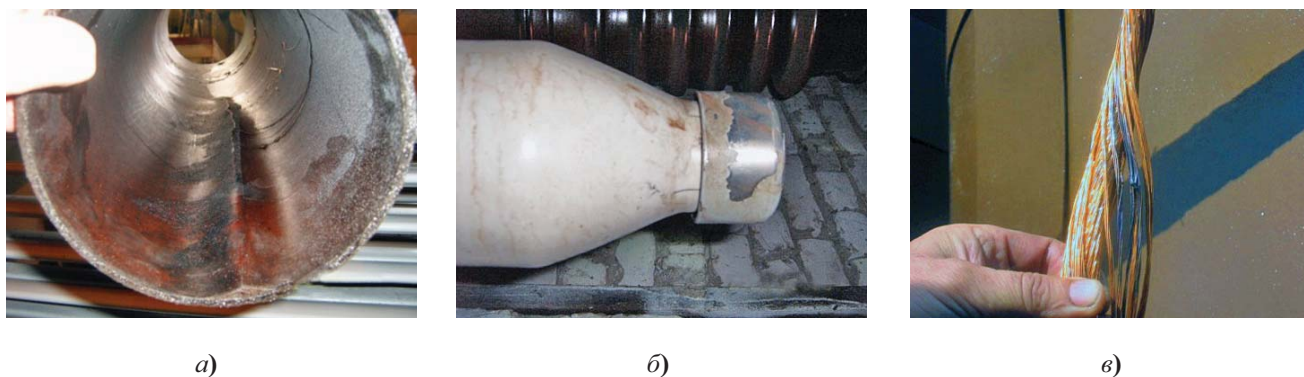


Рис. 4. Дефекты СТ с разрядными процессами
a – многочисленные следы разрядов на поверхности бакелитового цилиндра ввода 220 кВ;
б – трещина нижней фарфоровой покрышки ввода 220 кВ; *в* – обрыв проводников шлейфа

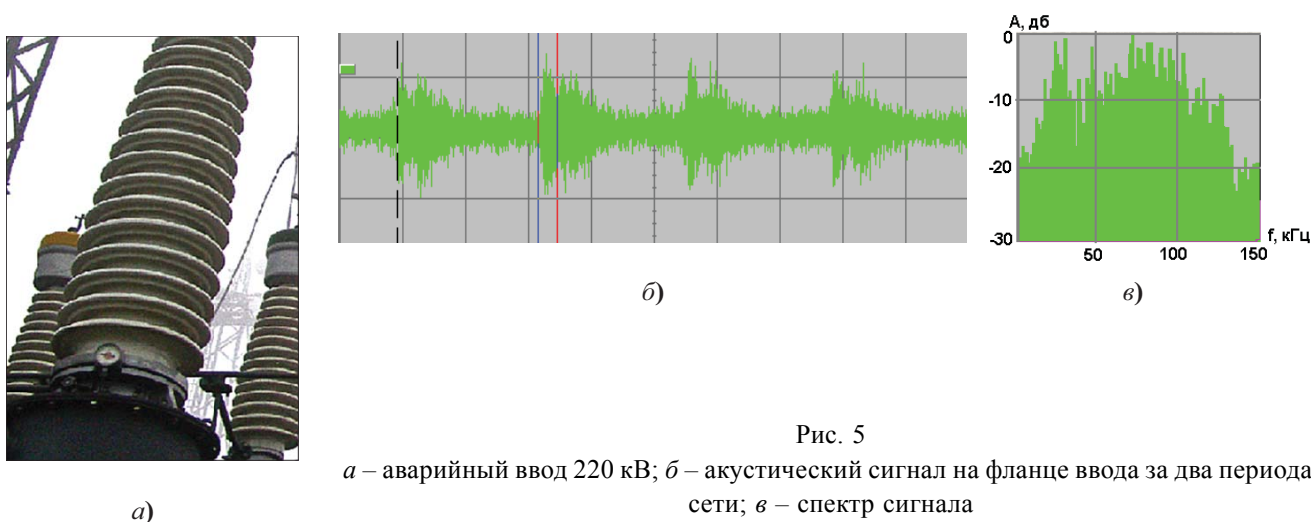


Рис. 5
a – аварийный ввод 220 кВ; *б* – акустический сигнал на фланце ввода за два периода сети; *в* – спектр сигнала

Встречаются дефекты СТ, которые возникают при определенных режимах работы. Например, в СТ типа АТДЦТН-250000/500/110 при положениях РПН с 13 по 19, что соответствует максимальной магнитной индукции, с 1997 года наблюдались значительные виброудары и разрядные процессы в магнитопроводе. Из-за дороговизны ремонта эксплуатация продолжалась, и в 2004 году произошла авария СТ. Отсутствие этого СТ способствовало развитию системной московской аварии 2005 года.

На рис. 5, *a* приведена фотография аварийного ввода 220 кВ, забракованного по акустическому сигналу на фланце ввода. При анализе масла из ввода содержание ацетилена в нем оказалось 64 ppm, что подтвердило результаты акустического обследования. Сигнал (рис. 5, *б*) возникает с частотой 100 Гц, имеет высокочастотный спектр (рис. 5, *в*) и соответствует многочисленным разрядам. В ОАО «Мосэнерго» существует инструкция, позволяющая браковать высоковольтные вводы не только по растворенным в масле газам, но и по амплитуде акустических сигналов.

На рис. 6, *a* фотография трансформаторов тока (ТТ) типа ТРЕ 11, которые применяются на подстанциях Сербии после длительного хранения. Их высокая аварийность вызвана ЧР в слоях клея, которым закрепляли бумагу при сборке. Акустическим методом были выявлены

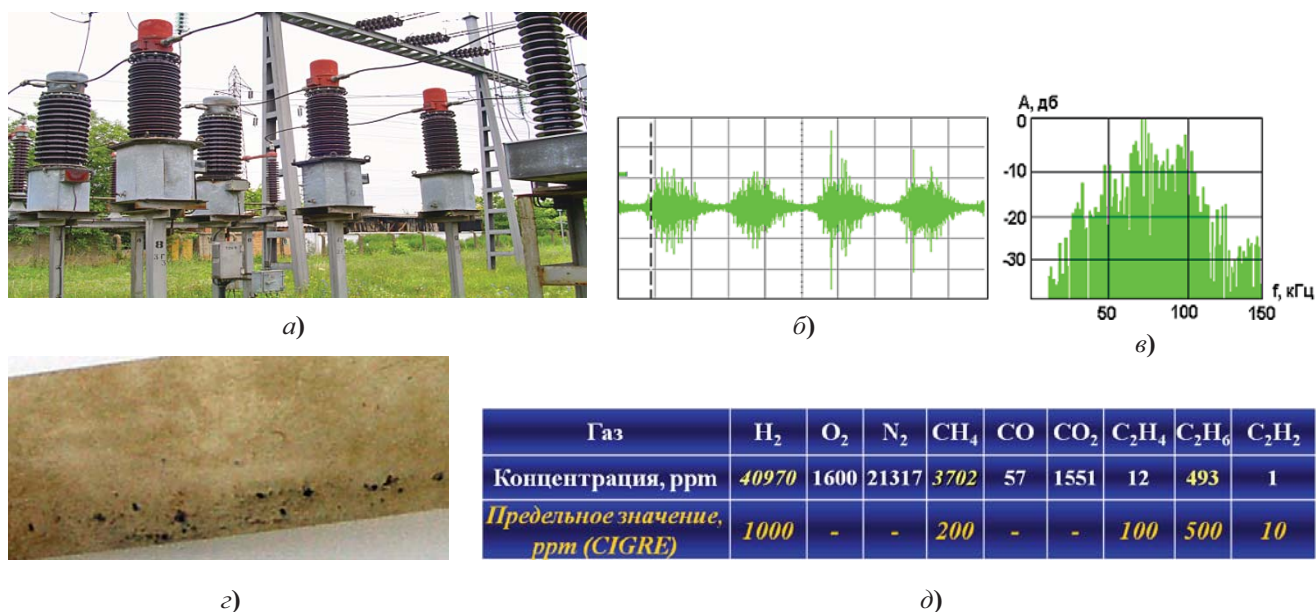


Рис. 6

a – измерительные трансформаторы тока типа ТРЕ 11; *б* – акустический сигнал многочисленных ЧР и *в* – его спектр; *г* – следы разрядов в бумажно-масляной изоляции; *д* – анализ растворенных в масле газов



Рис. 7. Диагностика акустическим датчиком с радиоканалом

десятки ТТ с сигналами многочисленных ЧР (рис. 6, б). Разборка (рис. 6, г) и анализ растворенных в масле газов (рис. 6, д) подтвердили правильность браковки [6].

В России наиболее аварийными являются ТТ типа ТФРМ 750 кВ. Жарким летом прошлого года в центральной части произошло 6 аварий этих ТТ. Один из аварийных ТТ удалось выявить, применив акустический датчик с радиоканалом на измерительной штанге 500 кВ [7] (рис. 7). Сложность обнаружения ЧР в этих ТТ заключается в том, что ЧР появляются после перенапряжений, вызванных коммутацией на присоединении, и могут существовать двое суток, а затем исчезнуть [8], что в меньшей степени наблюдалось и на ТТ типа ТРЕ 11 [6]. Аварийным считается сигнал с амплитудой 1 Па, что соответствует разрядам 10 000 пКл.

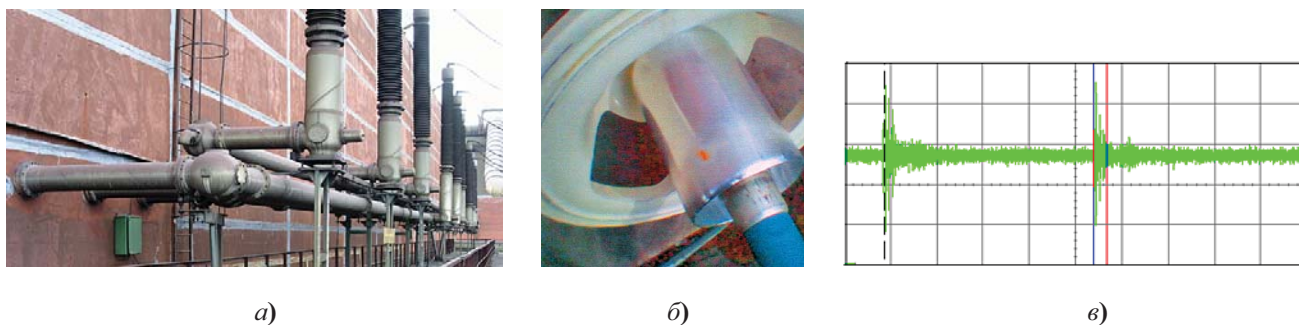


Рис. 8. Разряды в КРУЭ 330 кВ

На рис. 8, *а* фотография высоковольтных вводов 330 кВ (масло-элегаз) КРУЭ 330 кВ Оскольского электрометаллургического комбината. В результате утечки масла из ввода создались условия для разрядов в районе первого от ввода изолятора КРУЭ (рис. 8, *б*).

На рис. 8, *в* приведена осциллограмма акустических сигналов разрядов, следующих с частотой 50 Гц. Вовремя проведенная разборка помогла избежать аварии.

Для диагностики ЧР изоляции КРУЭ акустический метод является единственным. С 1985 года все отечественные КРУЭ 110–220 кВ производства завода «Электроаппарат» при пуске проходят высоковольтные испытания с регистрацией ЧР акустическим методом. Диагностика раз в год продолжается и в эксплуатации. Выявляются посторонние частички, появляющиеся при срабатывании выключателей, трещины в изоляторах, подгорающие контакты. Не все разряды являются опасными. В КРУЭ могут наблюдаться сигналы амплитудой до 0,02 Па, связанные с выгоранием мелких частиц, которые могут исчезнуть через месяц. Однако, если соотношение сигнал/шум более 6, то есть заряд ЧР более 100 пКл, разряды считаются опасными, и необходим ремонт КРУЭ.

На рис. 9, *а* фотография установки акустического датчика на опорную плиту концевой муфты 110 кВ (КМ) типа АРЕСВ 1452Р фирмы АВВ для диагностики с помощью акустического прибора «Дельфин». На рис. 9, *б* приведены результаты аварии КМ 110 кВ с полиэтиленовой изоляцией отечественного производства типа МКАПВ 64/110. Таких аварий в Москве в 90-е годы было более 10 в год. Причина – в возникновении ЧР в газовых пузырьках (рис. 9, *в*), образовавшихся на границе полиэтилена и полупроводящего слоя в кабеле при изготовлении стресс-конуса в пресс-форме с нагревом. Удалось проследить за несколькими КМ, в которых были обнаружены акустические сигналы ЧР (рис. 9, *г*), до аварии. Время до аварии не более одного года. В 2006 году такая авария вызвала системную аварию на Оскольском электрометаллургическом комбинате. В настоящее время используется более надежная технология производства кабеля и импортные КМ, но и на них случаются аварии. Считается, что для КМ опасен любой обнаруживаемый акустикой уровень ЧР.

Несколько слов об акустических сигналах. Главными признаками сигналов ЧР являются повторяемость с частотой 100 или 50 Гц и высокочастотный спектр сигнала. Такую осциллограмму за два периода сети можно привести в отчет, но кроме амплитуды она содержит мало информации о самом звуке разряда. Разряды целесообразно определять на

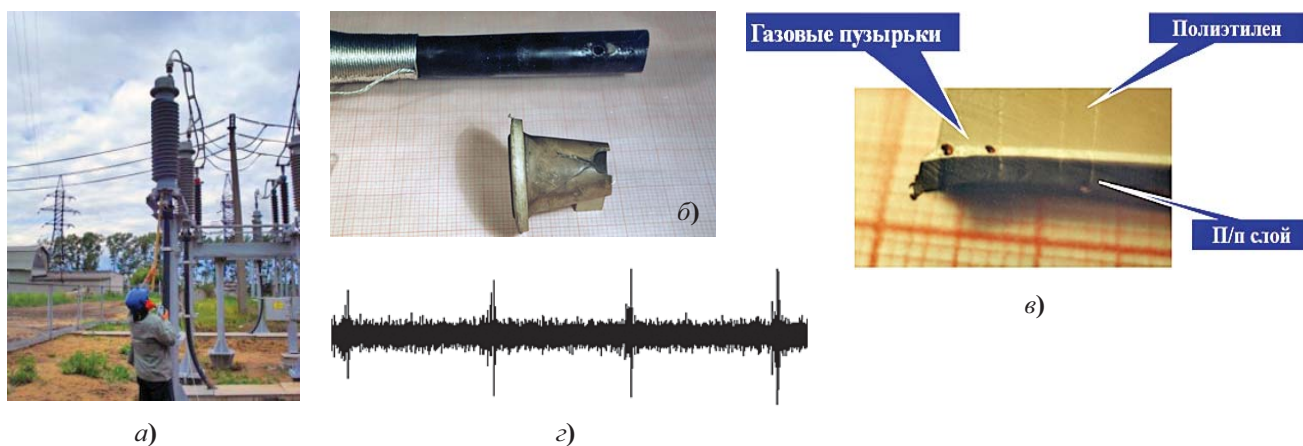


Рис. 9

а – акустическая диагностика КМ; *б* – результаты аварии; *в* – причина аварии; *г* – предаварийный сигнал

слух, подключая для диагностики возможности человеческого мозга. Замедленные в 100 раз и слышимые звуки разрядов – это щелчки, как правило, с периодом 1 с. Осциллограмма такого звука содержит до 15 периодов затухающих колебаний. Этот звук короткий (~ 5 мс), не музыкальный и не речевой. Классификация осциллограммы звука или ее вейвлет-преобразования производится математическими методами распознавания образов [9]. Причем для распознавания важны не столько частота и тембр звука, сколько признаки, именуемые признаками максимального правдоподобия. В настоящее время и человеком, и программой проводится следующая классификация: одиночный частичный разряд в масле и элегазе, одиночный искровой разряд, многочисленные разряды, виброударный механический процесс.

Программа «Классификатор звуков разрядов в высоковольтном оборудовании» оперирует с цифровым звуком, как правило, с частотой дискретизации 1 МГц и длительностью два периода сети – 40 мс, записанным как файлы форматов CSV, WAV, RAW, MP3, TXT. Для достоверности предсказаний программы нужно учитывать, что реверберация изменяет форму звукового сигнала. Поэтому, переставляя датчик по корпусу, следует найти точки, наиболее близкие к месту разряда, и анализировать звук в этих точках.

Накоплены десятки звуков разрядов, обнаруженных в увлажненной основной изоляции силового трансформатора, в подгорающем контакте, в замкнутой на магнитопровод стяжной шпильке, в изоляции ввода 220 кВ, в КРУЭ 330 кВ при поверхностном разряде на экране, в трещине изолятора элегазового выключателя 110 кВ, в концевой муфте кабельной линии 110 кВ с полиэтиленовой изоляцией, в переходной стопорной муфте 110 кВ с увлажненным маслом, в трансформаторах тока и напряжения 500 кВ с частичными разрядами в бумажно-масляной изоляции и др. Указанные дефекты подтверждались при ремонте оборудования, а данная программа всегда указывает правильный тип разряда по его звуку. Программа полезна как для акустических приборов периодического контроля, так и для систем акустического мониторинга.

Заключение

В настоящее время акустическая диагностика для измерительных трансформаторов, высоковольтных вводов, КРУЭ, концевых муфт кабельных линий может быть достаточной для принятия решения о необходимости ремонта. В ряде случаев для силовых трансформаторов она должна совершенствоваться. Возможности акустической диагностики в энергетике, несомненно, надо развивать.

Литература

1. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: ЭНАС, 2001.
2. Львов Ю.Н. и др. О надежности силовых трансформаторов и автотрансформаторов электрических сетей // Электрические станции. 2005. № 11.
3. Хренов С.И., Цветаев С.К., Рошупкин М.Д. Акустическая диагностика электрооборудования на наличие разрядных процессов. Труды Всероссийской научно-практической конференции «Энерго 2010». Т. 2. С. 58.
4. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. М.: Наука, 1971.
5. Пинталь Ю.С., Цветаев С.К. и др. Компьютерная система диагностики изоляции силовых трансформаторов по акустическим сигналам частичных разрядов. Труды IV Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-98, Новосибирск, 1998. Т. 8. С. 52. ISBN 0-7803-4938 1998 IEEE.
6. Долин А.П., Цветаев С.К., Поночко Ч., Попович А. Акустическая локация электрических разрядов в измерительных трансформаторах // ЭЛЕКТРО. 2005. № 2.
7. Смекалов В.В., Рошупкин М.Д., Цветаев С.К. Акустические регистраторы разрядных процессов в изоляции трансформаторов тока с радиоканалом // ЭЛЕКТРО. 2007. № 2.
8. Вдовико В.П. Образование и развитие частичных разрядов в бумажно-масляной изоляции высоковольтного оборудования в условиях эксплуатации // ЭЛЕКТРО. 2004. № 1.
9. **Morphological Analysis of Acoustic Signals of Discharge Processes** Chulichkov A.I., Dr. Sc. (Phys.-Math.), professor, Tsybulskaya N.D., Surkont O.S. (Moscow State University, physics faculty) Roschupkin M.D., Tsvetaev S.K., Dr. Sc. (Phys.-Math.) (NPO Technoservice-Electro) – CIGRÉ 6TH SOUTHERN AFRICA REGIONAL CONFERENCE, Paper P110, Somerset West (Cape Town), 17–21 August 2009.
10. Сайты www.ts-electro.ru, www.ah-servis.ru. E-mail: stsvetaev@mail.ru.