

Развитие методологии диагностики высоковольтного оборудования в системах непрерывного контроля **SAFE - T[®]**

Сахно А.А. – заместитель директора по развитию, к.т.н.,
Конограй С.П. – главный инженер,
Спица А.Г. – начальник отдела систем мониторинга.
ООО «Энергоавтоматизация»

ООО «Энергоавтоматизация» предлагает готовые передовые технические решения в области мониторинга, управления и контроля высоковольтного оборудования классов напряжения 35-1150кВ. Компания выполняет полный спектр работ от разработки, проектирования и изготовления до монтажа, наладки и сопровождения собственных систем непрерывного контроля:

Системы **SAFE - T[®]** - полностью отвечают современным требованиям к диагностике высоковольтного оборудования и аттестованы в ОАО «ФСК ЕЭС». С 2001 года системами **SAFE - T[®]** были оснащены более 200 единиц силового трансформаторного оборудования в России, Казахстане и Украине. Системы **SAFE - T[®]** - предназначены для контроля основных видов высоковольтного оборудования: силовые трансформаторы (автотрансформаторы), шунтирующие реакторы, вводы, переключающие устройства, измерительные трансформаторы тока, нелинейные ограничители перенапряжений, при этом, непрерывные научные исследования, проводимые специалистами ООО «Энергоавтоматизация», позволяют постоянно расширять перечень контролируемого оборудования, а также совершенствовать методики непрерывного контроля и диагностики. Постоянно повышающиеся требования к системам непрерывного контроля требуют повышения эффективности методов и методик диагностики, а также развитие новых методов, применяемых в системах контроля.

Одним из новых методов диагностики оборудования, опытно применяемый в системах **SAFE - T[®]** является метод регистрации характеристик импульсных напряжений на шинах высоковольтного оборудования. Регистрация количества и характеристик импульсных напряжений даст возможность определять ресурс оборудования. Метод заключается в регистрации высокочастотных импульсов перенапряжений при помощи постоянного контроля тока проводимости вводов. В системах **SAFE - T[®]** реализована запись осциллограммы перенапряжения при достижении определенной уставки, задаваемой пользователем, при этом осциллограмма включает в себя период времени 20% до возникновения события и 80% после его возникновения, частота дискретизации – 60МГц. Пример зарегистрированного импульса приведен на рис. 1.

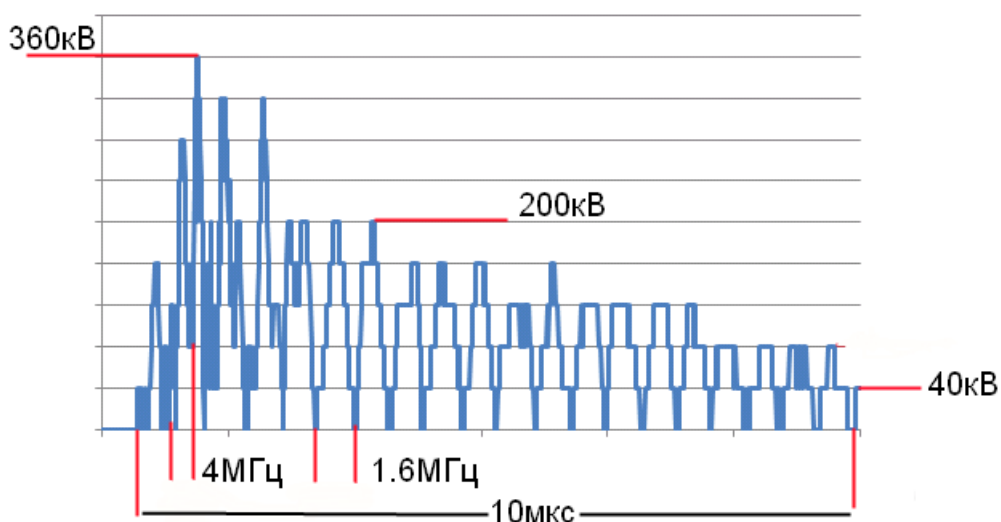


Рисунок 1 – Пример регистрации импульса перенапряжения

Для регистрации импульсных напряжений используются адаптеры, установленные на измерительные выводы (ИВ) высоковольтных вводов стороны ВН автотрансформаторов или адаптеры вводов шунтирующих реакторов. Для понижения амплитуды импульса используются высокочастотные импульсные трансформаторы тока. Полученные по такой схеме характеристики импульсов пересчитываются автоматически на основании теоретических зависимостей при помощи автоматического алгоритма подсистемы регистрации.

Данный метод является экспериментальным и находится на стадии освоения способов регистрации и методов расчета характеристик импульсов, после чего планируется разработка методов оценки влияния таких перенапряжений на ресурс оборудования.

Другим направлением исследований является повышение эффективности методов и алгоритмов обработки результатов контроля для обеспечения выдачи достоверных аварийных сообщений, так как эксплуатационный контроль часто осложнен различными факторами, искажающими реальные значения диагностических параметров. Так, например, основными контролируемыми диагностическими характеристиками для изоляции вводов являются тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции ($\text{tg}\delta_1$) и емкость основной изоляции (C_1) [1]. Измерение емкости является более простой задачей, и контроль ее с необходимой точностью, как правило, не вызывает трудностей, даже в условиях эксплуатации, а вот результаты измерений $\text{tg}\delta_1$ требуют высокой точности и более подвержены влияниям эксплуатационных факторов. Одним из основных источников погрешности, при измерении в эксплуатации, являются паразитные токи. Величина паразитных токов зависит от степени загрязнения поверхности изоляционной конструкции и от ее увлажненности. Паразитные токи, совпадая по фазе с активной составляющей тока проводимости основной изоляции, приводят к колебаниям тангенса угла диэлектрических потерь. Для устранения подобных влияний системы **SAFE - T[®]** имеют автоматический алгоритм распознавания этой ситуации. Алгоритм фильтрации мгновенных значений тангенса угла диэлектрических потерь основан на отслеживании корреляционных зависимостей с влажностью окружающей среды и предположении о невозможности резкого изменения значения этого параметра [2].

Результаты работы алгоритма представлены на рис.2. Значения тангенса угла диэлектрических потерь, измеряемые системой непрерывного контроля, имеют явно выраженную зависимость от значений влажности окружающей среды, при этом тренд в показаниях отсутствует, что и видно на обработанных данных (зеленая линия). В результате работы предлагаемого алгоритма отображаемые в системе данные ($\text{tg}\delta_1$) будут иметь вид зеленой линии, приведенное к 20°C значение будет иметь вид фиолетовой линии.

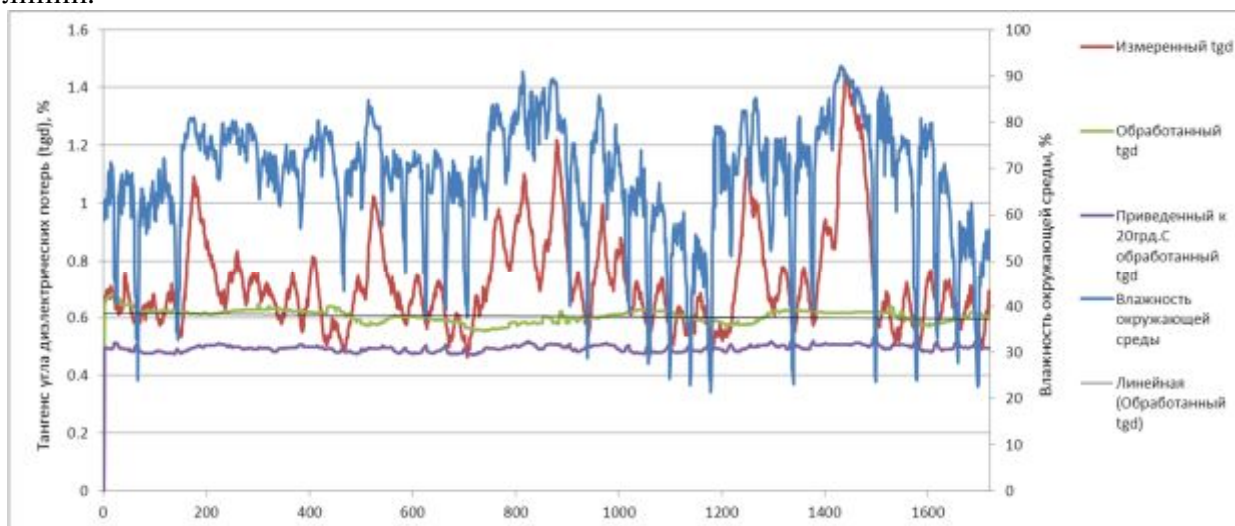


Рисунок 2 – Пример обработки данных

Основной момент, который необходимо учитывать при подключении такого алгоритма, это задержка в отображении тренда в показаниях в случае его реального появления.

На основании п.23.7 РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытания электрооборудования» (табл. 23.3) опасным изменением тангенса угла диэлектрических потерь считается изменение значения параметра на 0.5% за срок 3 месяца. Гипотетически изменения значения могут происходить плавно или скачкообразно. На рисунке 3 представлен пример обработки данных, сопровождающихся плавным небольшим ростом значения параметра, с суммарным ростом в конце анализируемого интервала 0,085% (скорость нарастания 0,17% за 3 месяца, что меньше нормируемой РД). Алгоритм выявляет тренд на фоне изменяющихся паразитных влияний.

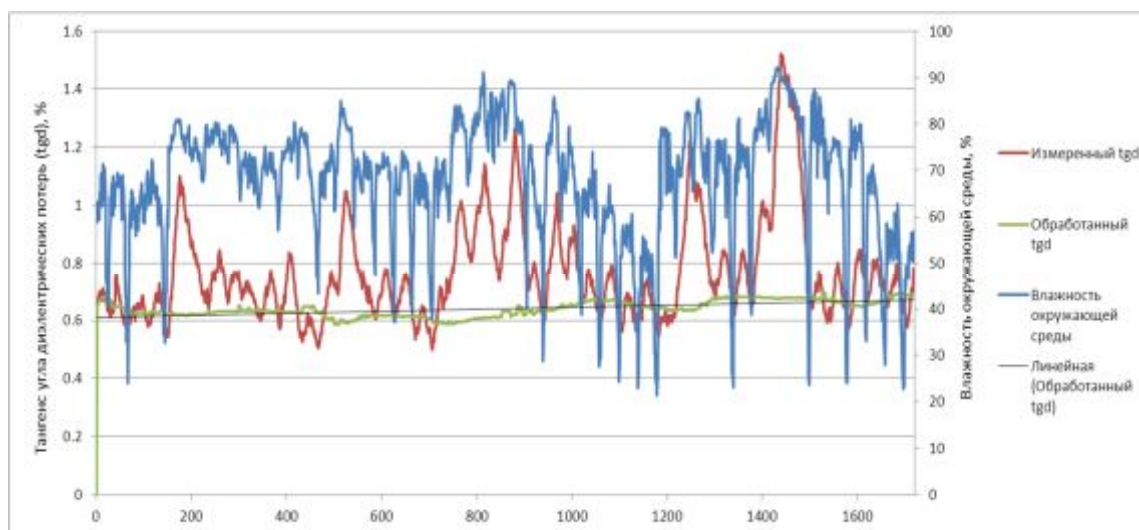


Рисунок 3 – Пример обработанных данных с плавным ростом значения параметра (скорость нарастания 0,17% за 3 месяца).

Таким образом, если реальные изменения значения параметра $tg\delta\%$ будут не более 0,04% при влажности окружающей среды менее 65%, то система будет отображать такие изменения с задержкой не более 1-х суток. Изменение значения параметра $tg\delta\%$ на 0,045% при влажности 75% выявятся системой с задержкой не более 3-х суток.

Внедрение алгоритма обеспечивает фильтрацию ложных значений, вызванных паразитными искажениями исходных сигналов токов проводимости, однако приводит к отставанию реакции системы в случаях скачкообразного роста, особенно если изменение попадает в длительный период высокой влажности. При этом граничная скорость среза фильтра при влажности менее 80% в разы выше скорости изменения параметра при развитии дефекта, указанной в РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытания электрооборудования». Вероятность не зафиксировать дефект при использовании фильтра равняется вероятности того, что влажность окружающей среды на объекте будет непрерывно более 75% на протяжении хотя бы 2-х месяцев, что маловероятно.

Примеры реакции системы на скачкообразное изменение значения параметра, которое маловероятно, при использовании реальных данных о влажности на объекте представлены на рисунке 4. Момент имитации изменения параметра отмечен красной вертикальной линией.

Таким образом, внедрение алгоритма позволяет значительно уменьшить степень паразитных влияний, не внося критических задержек в реакцию системы на реальный рост значения параметра.

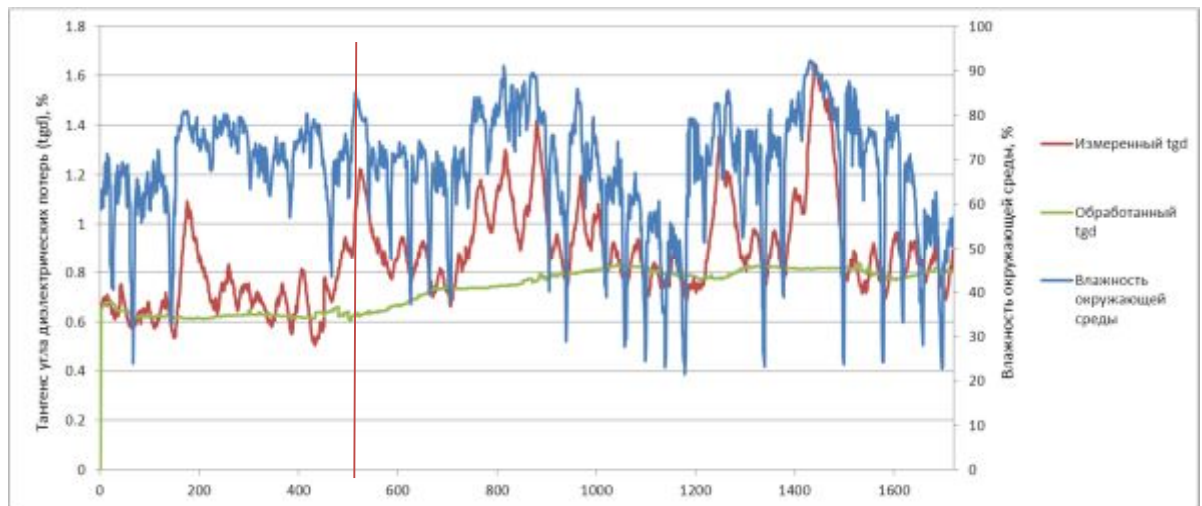


Рисунок 4 – Резкий рост (на 0.2%) совпадает с ростом паразитных влияний и длительным периодом высокой влажности.

Характеристики частичных разрядов в изоляции оборудования, являются важными диагностическими критериями, однако, контроль разрядов в изоляции в процессе эксплуатации высоковольтного оборудования весьма затруднен, что заставляет применять различные аппаратные и программные алгоритмы, позволяющие выделить реакцию в изоляции оборудования на частичные разряды на фоне эксплуатационных помех [3]. Основным алгоритмом фильтрации при электрическом методе контроля является перевод частотного диапазона измерения в высокочастотную область – 8-10МГц. При таком подходе контроль значения кажущегося заряда частичных разрядов затруднен. На основании совместных исследований ООО «Энергоавтоматизация» со специалистами КО «ЗЗВА» и фирмой Omicron. Исследованиями установлено, что контроль характеристик ЧР в области высоких частот для маслонаполненного трансформаторного оборудования не обоснован [4]. Исследования, проведенные другими учеными, например, А.Е. Монастырским свидетельствуют о том, что длительность ЧР в процессе развития дефекта увеличивается от единиц нс до единиц мкс, что может привести к значительным ошибкам в измерениях [5].

Однако, опыт эксплуатационного контроля подтверждает невозможность контроля характеристик ЧР в низкочастотном диапазоне электрическими методами, а опыт контроля характеристик в высокочастотном диапазоне подтверждает наличие связи состояния изоляции оборудования с характеристиками, полученными в высокочастотном диапазоне (рис.5 и 6).

При этом, в ряде случаев эксплуатационные факторы оказывают влияние на результаты контроля даже в высокочастотном диапазоне, например, было зафиксировано влияние влажности окружающей среды на результаты контроля в некоторых случаях (рис. 7).

Схема распределительной установки часто оказывает влияние на характеристики разрядной активности. Пример снижения размаха колебаний, но рост абсолютного значения амплитуды разрядной активности была зафиксирована при отключении одной из ячеек на ОРУ (рис.8).

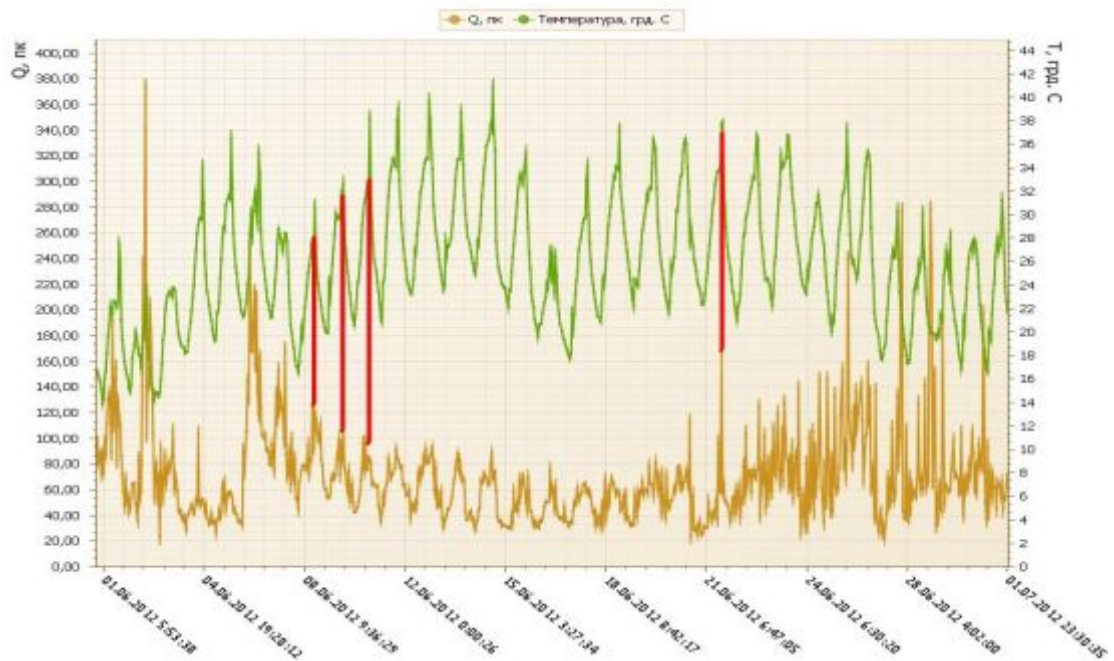


Рисунок 5 - Корреляция значений разрядной активности с температурой изоляции трансформатора тока (ТФКН-330, зав.№ 82ЭА, негерметичный, дата изготовления: 1962 г., дата ввода в эксплуатацию: 1971 г.

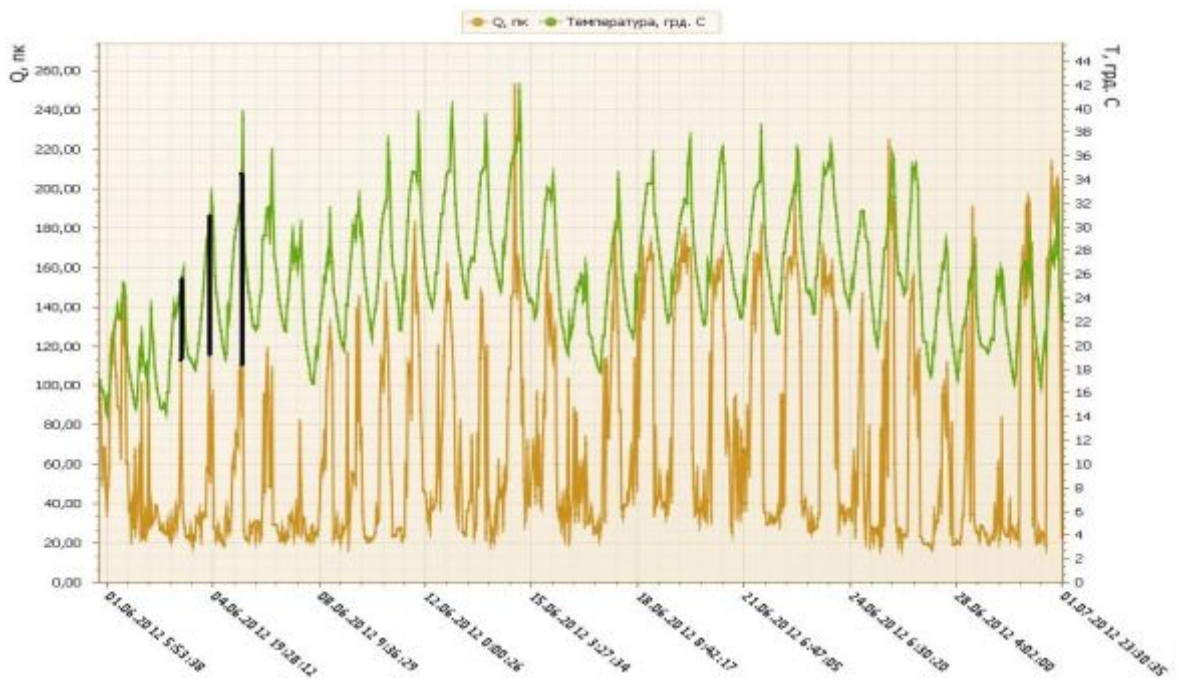


Рисунок 6 - Корреляция значений кажущегося заряда с температурой элегазовой изоляции (ТОГ-330, элегазовый, $\text{tg}\delta_1 = 0.112\%$ (от ЭТЛ-35), $\text{tg}\delta_1 = 0.37\%$ (под рабочим напряжением))

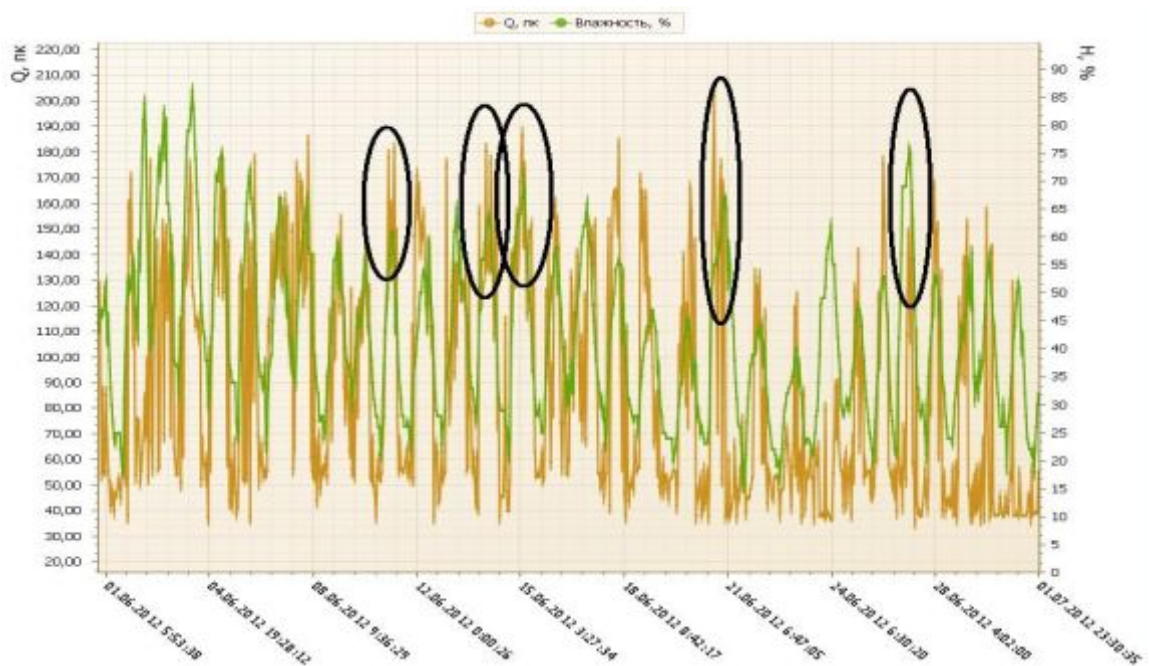


Рисунок 7 - Корреляция значений кажущегося заряда с влажностью окружающей среды (ТФРМ-330, герметичный, дата изготовления: 1992 г., дата ввода в эксплуатацию: 1992 г.)

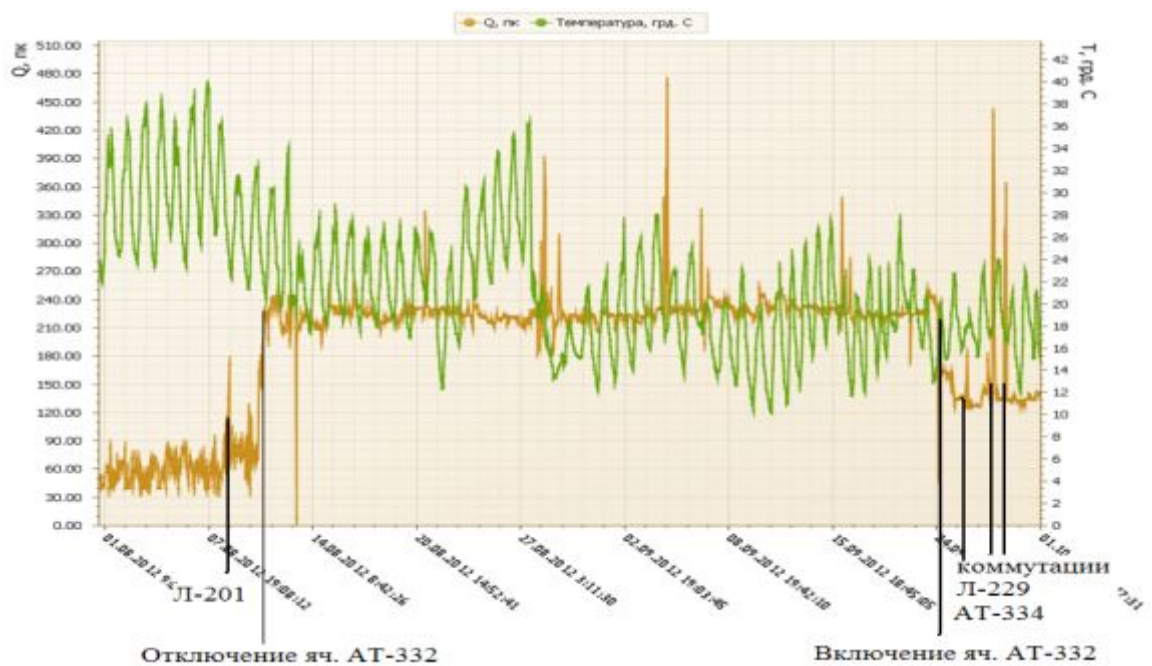


Рисунок 8 – Пример снижения размаха колебаний, но рост абсолютного значения измеряемого кажущегося заряда при отключении одной из ячеек на ОРУ.

В результате исследований установлено, что наличие температурной зависимости регистрируемых системой уровней разрядной активности и корреляция значений разрядной активности со значениями тангенса угла диэлектрических потерь основной изоляции, свидетельствует о связи результатов диагностики системы непрерывного контроля с фактическим состоянием оборудования. Основные факторы, оказывающие паразитные влияния на результаты: влажность окружающей среды (в некоторых случаях, возможно, из-за загрязненности поверхности изолятора), влияние перенаводок разрядной активности в соседнем оборудовании, влияние схемы распределительного устройства на абсолютное значение уровня активности. Бездефектные аппараты имеют неизменное

среднее значение уровня разрядной активности, при этом, ступенчатое изменение абсолютного значения уровня разрядной активности не является признаком развития дефекта. Контроль уровня разрядной активности, в эксплуатации, должен использоваться как индикатор плавного и планомерного роста уровня частичных разрядов в изоляции на протяжении длительного периода и должен применяться в системах непрерывного контроля маслонаполненного оборудования в комплексе с непрерывным контролем других параметров.

Системы непрерывного контроля являются эффективным инструментом для выявления дефектов и прогноза остаточного ресурса. Регистрация данных в непрерывном режиме открывает новые возможности для инженерного анализа и ранней диагностики состояния оборудования при этом системы должны постоянно совершенствовать свои методики и алгоритмы, аппаратную и программную базу для повышения своей эффективности.

Перечень ссылок

1. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П. М. Сви. — М. : Энергоатомиздат, 1992 — 240 с. : ил.

2. Рассальский А. Н. Источники погрешности при контроле характеристик основной изоляции трансформаторов тока и вводов 330-750 кВ под рабочим напряжением: «Трансформаторостроение— 2009»: XII междунар. науч.-техн. конф. [Электронный ресурс] / А. Н. Рассальский, А. А. Сахно, С. П. Конограй [и др.] // Энерго-инфо. — 2009. — Режим доступа к журналу: <http://www.energo-info.ru/content/view/12648/173/>

3. Русов В. А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования: методическое пособие / В. А. Русов. — Пермь: ПВФ «Вибро-центр», 2006. — 102 с.

4. Конограй С. П. Методы непрерывного контроля и оценки состояния высоковольтного оборудования подстанций: Материалы VII Международной научно-технической конференции «Силовые трансформаторы и системы диагностики» — Д39 [Электронный ресурс] / С. П. Конограй, А. Н. Рассальский, А. А. Сахно. — 80 Min / 700 MB. — Москва : МА ТРАВЭК, 2010. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; 12 см.

5. Монастырский А.Е. Возникновение и диагностика дефектов в изоляции в высоковольтных вводах различной конструкции.- Пермь, 2013. - Методы и средства контроля изоляции высоковольтного оборудования. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; 12 см.