

## **Системы непрерывного контроля состояния изоляции силовых трансформаторов высших классов напряжения СКИТ.**

**Монастырский А.Е.**

**ООО «Дизкон», г. С.- Петербург.**

Анализ аварийности силовых трансформаторов высших классов напряжения показывает, что более 80% отказов связано не с выработкой физического ресурса, а в результате образования и развития различных дефектов. По скорости развития эти дефекты могут быть разделены на три группы:

- медленно развивающиеся дефекты с временем развития измеряющимся годами;
- быстро развивающиеся дефекты с временем развития измеряющимся месяцами;
- внезапные отказы с временем развития от долей секунд до нескольких часов.

Существующая система периодического контроля позволяет выявлять лишь медленно развивающиеся дефекты в связи с тем, что минимальный период контроля не превышает 6 месяцев и таким образом не позволяет выявлять до 60% дефектов, развивающихся в трансформаторах, особенно с большим сроком эксплуатации. Для решения этой проблемы необходимо использование методов непрерывного контроля состояния трансформаторов. Необходимость непрерывного мониторинга оборудования сейчас уже общепризнанна, но тут возникают три проблемы. Во-первых, средства на мониторинговое оборудование выделяются лишь на вновь вводимое оборудование, для которого оно станет необходимо лишь через 10-20 лет, а для состаренного оборудования, находящегося в эксплуатации, для которого системы мониторинга "необходимы еще вчера", внедрения почти не происходит. Во-вторых, при создании (или выборе) систем мониторинга используют либо легко реализуемые, но не необходимые (скорее вспомогательные) измерительные системы, например, контроль уровня масла в расширителе, контроль температуры в различных (до 10) точках, напряжения и токи в фазах, влажность масла и т.д., либо весьма проблематичные аналитические системы, например, анализ остаточного ресурса твердой изоляции по расчету наиболее нагретой точки, расчет влажности твердой изоляции по влажности масла и др. И то и другое приводит к неоправданному удорожанию систем мониторинга и, следовательно, к невозможности их широкого применения для старого оборудования. Третьей является проблема анализа получаемой измерительной информации. Как правило в существующих системах мониторинга аналитическая часть ограничивается в лучшем случае сравнением полученных значений с некоторыми предельными, выбираемыми либо из нормативной документации, либо из опыта диагностики.

В Санкт-Петербургском Государственном Политехническом Университете разработана Система непрерывного Контроля состояния Изоляции силовых Трансформаторов высших классов напряжения СКИТ.

Комплекс СКИТ - предназначен для измерения параметров, определяющих процессы старения и разрушения изоляции и позволяет производить измерения следующих параметров:

- концентрация растворенных в масле газов 50...1000 ppm;
- влажность твердой изоляции 0...10 %;
- концентрация механических примесей с размерами в диапазоне 5...500 мкм до 100 000 шт. в 100 см<sup>3</sup>
- tgб высоковольтных вводов 0,1...10%
- емкость изоляции остова 100...3000 пФ
- частичные разряды в изоляции электрическим и акустическим методами с построением амплитудных спектров ч.р. и фазовых диаграмм по кажущемуся заряду в диапазоне  $10^{-11} \dots 3 \cdot 10^{-6}$  Кл и интенсивностью до  $10^5$  имп/с.

Помимо указанных характеристик дополнительно могут обеспечиваться измерения вспомогательных параметров, включающих уровень масла в расширительном баке, влажность трансформаторного масла, температуру масла (можно контролировать температуру верхних слоев масла, работу системы охлаждения – температура на входе и выходе охладителя), температуру воздуха, термограммы поверхности бака, давление масла во вводах и др.

Блок - схема комплекса диагностики представлена на рис.1, а внешний вид одного из вариантов на рис 2.

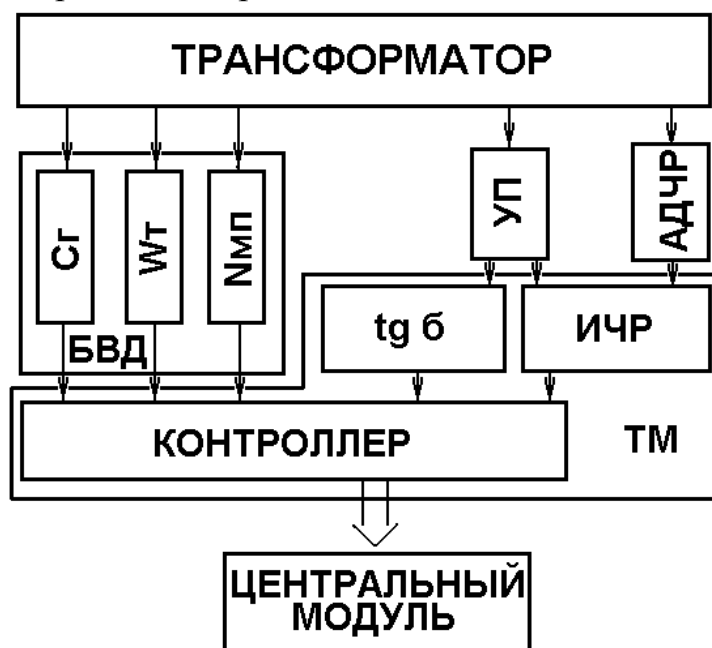


Рис.1 Блок – схема диагностического комплекса "СКИТ".

В состав комплекса входят:

- Блок встроенных датчиков (БВД), выполненный в виде герметичного блока, устанавливаемого на бак трансформатора или трубопроводы системы охлаждения, в состав которого входят: измерители концентрации растворенных в масле газов (условное обозначение Сг), влажности твердой изоляции (Вт) и концентрации механических примесей (Нмп).

- Комплект акустических датчиков со струбцинами крепления их на корпусе трансформатора.
- Трансформаторный модуль с размещенными в нем измерителями диэлектрических характеристик изоляции вводов ( $tg\delta$ ), частичных разрядов (ИЧР) и контроллером, осуществляющим управление трансформаторным модулем и передачу информации в центральный модуль.
- Центральный модуль (ЦМ) на основе компьютера с платой сопряжения и соответствующим программным обеспечением.



Рис.2. Внешний вид варианта комплекса.

В состав комплекса могут входить до 15 (по числу трансформаторов на объекте) трансформаторных модулей с первичными датчиками и измерителями, которые связаны оптоволоконными линиями с центральным модулем.

Блок встроенных датчиков представляет собой герметичную полость, соединенную медными трубопроводами через масляные вентили с трубопроводами системы охлаждения. В масляной полости устанавливаются датчики концентрации газов, влажности твердой изоляции и концентрации механических примесей в масле. Электронные схемы измерителей устанавливаются в водонепроницаемой крышке блока. Измерение концентрации газов в масле основывается на принципе равновесного газосодержания в системе масло-газ, разделенной полупроницаемым маслостойким капилляром. В комплексе измеряются концентрации водорода, окиси углерода и сумма углеводородных газов. Датчик представляет собой газовую полость с установленным в ней полупроводниковым и двумя электрохимическими чувствительными элементами, меняющим свое электрическое сопротивление в зависимости от концентрации газов окружающих его. Газовая полость отделена от масляного объема БВД полупроницаемым полимерным капилляром. Газы, проникая через капилляр, создают в газовой полости газовую смесь, равновесную с содержанием газа в масле. Измерив концентрацию газа в газовой полости и зная соотношение равновесия можно рассчитать концентрацию растворенных в масле газов.

Измерение влажности твердой изоляции основывается на принципе равенства относительной влажности компонентов системы. За счет миграции влаги при изменении температуры трансформатора из твердой изоляции в масло и обратно влажность целлюлозного материала, внесенного в трансформатор, уравнивается с влажностью основной изоляции. Влажность внесенного материала определяется по величине его диэлектрической проницаемости. Датчик влажности представляет собой конденсатор с картонной изоляцией, емкость которого зависит от влажности картона.

Измерение концентрации механических примесей производится световым методом. Прозрачная трубка, через которую при помощи плунжерного насоса с определенной скоростью прокачивается масло, освещается направленным источником света. Если примеси в масле отсутствуют, весь свет от источника попадает на фототранзистор, который обеспечивает протекание исходного тока. При попадании в поток частицы механической примеси часть света поглощается, а часть рассеивается. Световой поток на фототранзистор уменьшается, что приводит к снижению тока фототранзистора, причем величина снижения пропорциональна величине механической частицы. Измеряя количество и величину изменений тока при прокачке определенного объема масла, можно определить количество и величину механических частиц в этом объеме.

Акустические датчики состоят из пьезоэлектрического преобразователя и предварительного усилителя. Цилиндрический корпус датчика с помощью подпятника и струбины устанавливается на стенке бака трансформатора, плотно прижимается к стенке бака и имеет с ней акустический контакт. Для обеспечения акустического контакта поверхность бака трансформатора в



Рис.3. Внешний вид акустического датчика ЧР.

месте установки датчика зачищается от краски и шлифуется, а при установке датчика на его чувствительный элемент наносится несколько капель касторового масла. При частичных разрядах во внутренней изоляции трансформатора возникают акустические колебания, которые воздействуют

на пьезоэлектрический преобразователь, преобразующий акустический сигнал в электрический. Электрический сигнал поступает на предварительный усилитель. Предварительное усиление позволяет соединить акустический датчик с измерителем ЧР кабелем длиной до 100 м без снижения чувствительности измерений. Питание акустического датчика осуществляется от стабилизированного источника +12В, расположенного в измерителе ЧР. Измерение характеристик ЧР может производиться в непрерывном режиме. Внешний вид датчика показан на рис. 3.

Трансформаторный модуль размещается во влагозащищенном термостабилизированном шкафу, состоит из промышленного компьютера, блока коммутации, а также блоков питания, сопряжения с центральным модулем и других вспомогательных элементов. В трансформаторный модуль по коаксиальным кабелям и витой паре поступают аналоговые сигналы от датчиков, которые преобразуются при помощи платы АЦП в цифровой вид и передаются по волоконно-оптической линии связи в центральный модуль. Внешний вид трансформаторного модуля показан на рис. 4.



Рис.4. Внешний вид трансформаторного модуля.

Центральный модуль предназначен для сбора, обработки, анализа и архивирования измерительной информации, передачи ее на сервер хранения, формирования и передачи аварийной информации оперативному персоналу. Основными элементами ЦМ является компьютер, который соединяется с трансформаторными модулями с помощью оптоволоконных кабелей.

Компьютер оснащается устройством сопряжения и соответствующим программным обеспечением. Программное обеспечение обеспечивает автоматический сбор измерительной информации, предварительную обработку и архивирование ее, анализ получаемой информации и постановку диагноза состояния трансформаторов на основе измерительной информации комплекса. Одновременно измерительная информация может передаваться в сервер хранения по локальной вычислительной сети, а аварийная информация, сигнализирующая об аномальном состоянии трансформатора или сбоях в работе комплекса, передается оперативному персоналу по специальному каналу связи.

Основной рабочей программой для пользователя является программа отчетов. Данная программа предназначена для просмотра результатов измерения комплекса и устанавливается как на основном компьютере комплекса, так и на любом компьютере в локальной сети, с которого требуется получить информацию о состоянии трансформаторов. Основное окно программы показано на рис. 5.

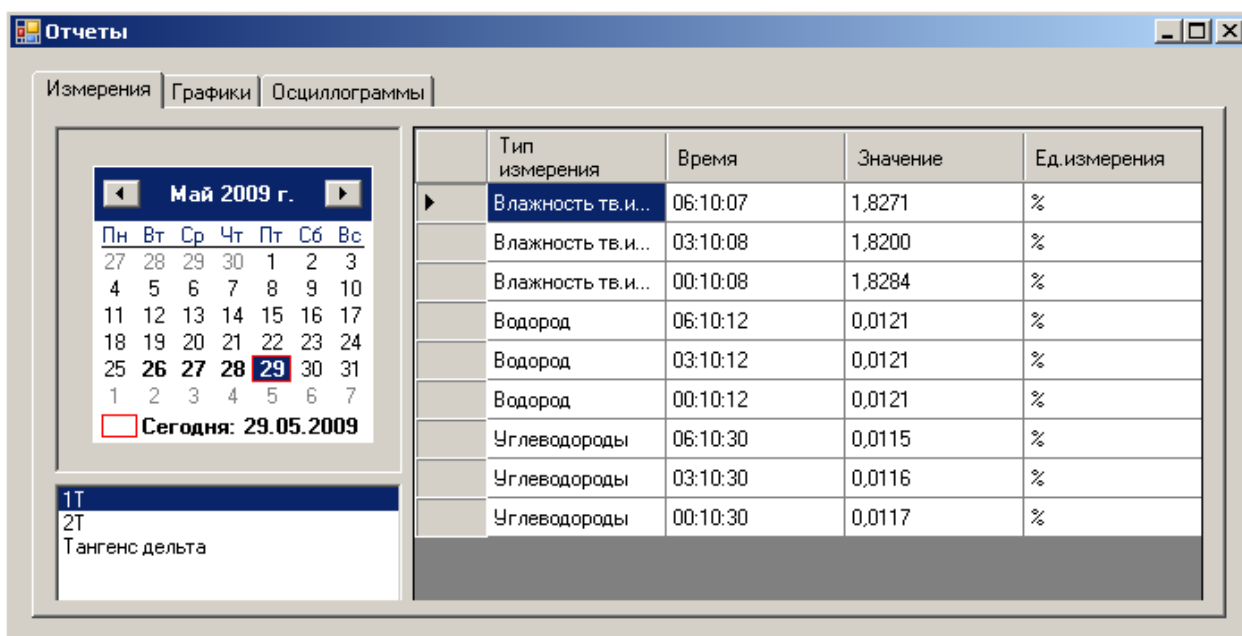


Рис.5. Основное окно программы отчетов.

Информация об измеряемых параметрах может представляться либо в виде таблиц с численными значениями параметров, либо в виде графиков изменения параметров во времени, либо в виде осциллограмм. Информация хранится в стандартной SQL базе и при помощи OPC сервера может быть передана в любую систему АСУ. Примеры представления информации показаны на рис. 6,7.

Графики и осциллограммы строятся на трехцветном зелено-желто-красном поле. Если измеренные значения располагаются на зеленой части, считается, что дефекты отсутствуют. Выход значений в желтую зону означает появление аномалий, а переход в красную зону означает либо появление опасных аномалий, либо появление дефекта. При необходимости переход в желтую или красную зоны может сопровождаться выработкой

аварийного сигнала, передаваемого по специальному каналу связи оперативному персоналу.

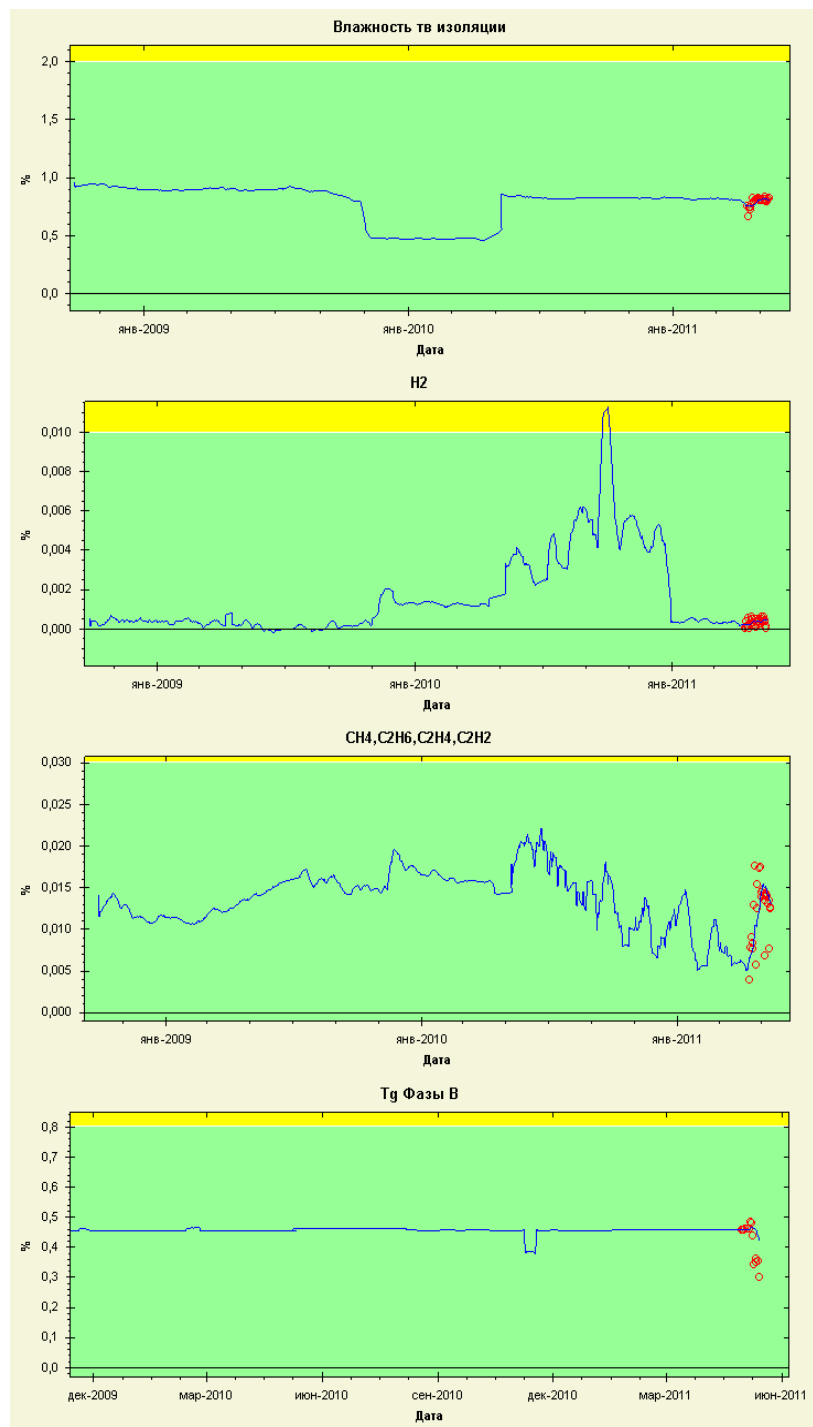


Рис.6. Вид графиков для диэлектрических характеристик вводов.

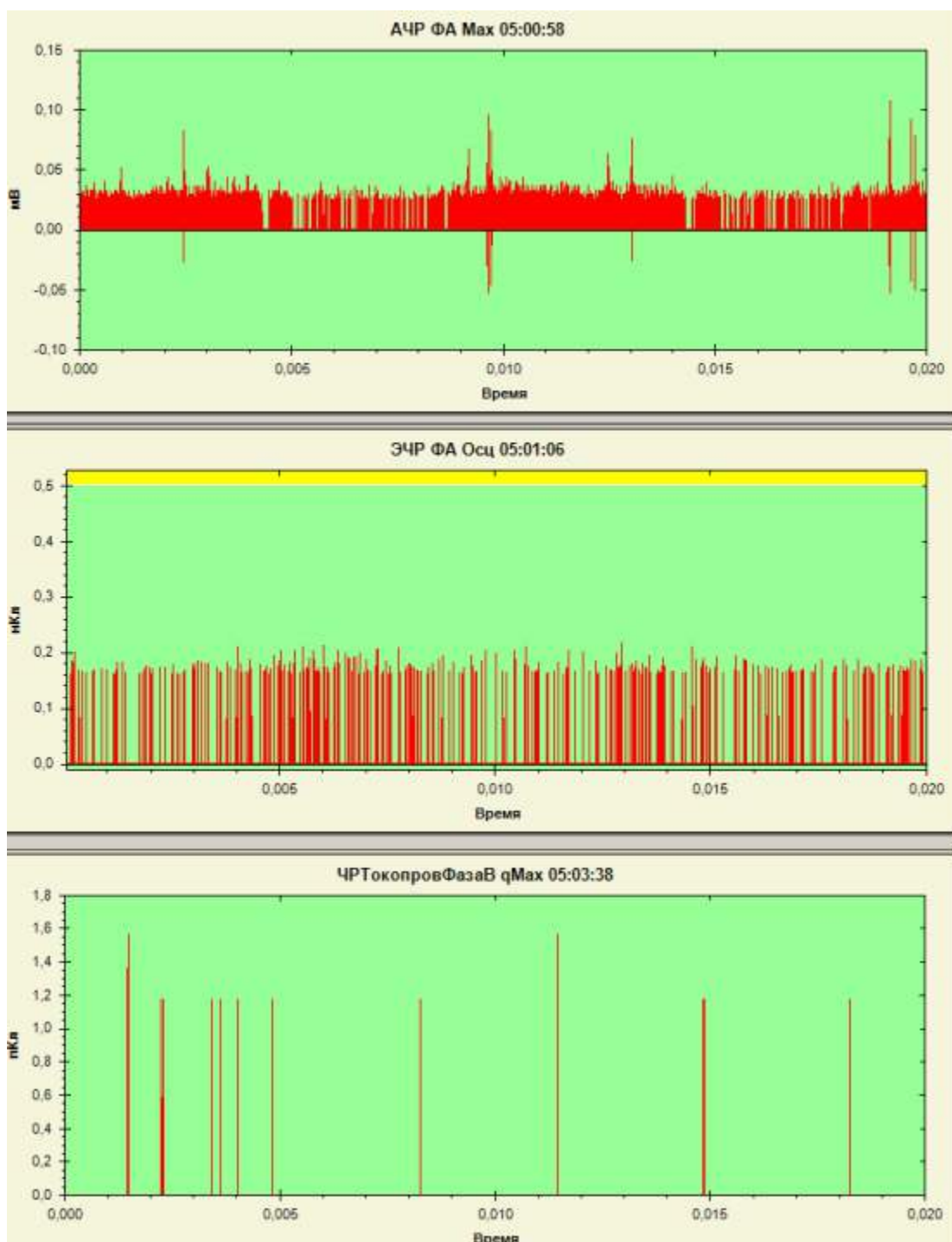


Рис.7. Вид осциллограмм.

Целесообразность применения систем мониторинга должна определяться исходя из экономических показателей с учетом снижения затрат на эксплуатацию, ремонт, повышение надежности оборудования, продление его ресурса. К сожалению, до настоящего времени экономистами не выработана корректная методика расчета экономической эффективности внедрения новой техники, а те методики, которые существуют, опираются на весьма приблизительные исходные данные, что приводит к результату: "Что хочешь, то и получишь". Поэтому при определении экономической целесообразности приходится использовать принцип экспертных оценок. Согласно этому принципу система оказывается экономически

целесообразной, если ее стоимость, при безусловной надежности выявления дефекта, не превышает определенного процента от стоимости основного оборудования. Оценка величины этого процента определяется по опыту эксплуатации аналогичных систем для других видов оборудования. По данным японских экономистов эта величина составляет 15%, в США она принимается равной 9%. Исходя из сложностей внедрения мониторинговых систем в России, особенно на начальном этапе, нами была принята величина 3%. При таком подходе экономическая эффективность системы оказывается очевидной: если установить системы непрерывного контроля на 50-ти трансформаторах со значительным сроком службы, то по крайней мере один отказ будет предупрежден, т.е. система себя окупит. Исходя из такого подхода и понимая, что для трансформаторов 110 кВ малой мощности стоимость описанной системы велика, был предложен ряд упрощенных систем: СКИТ А1, СКИТ А2, СКИТ С1.

Комплекс СКИТ А1 (автономный вариант с минимальной комплектацией) предназначен для трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов мощностью до 40 МВт, напряжением до 110 кВ. Комплекс имеет датчик растворенных в масле газов (водорода и суммы горючих газов), датчик влажности твердой изоляции, датчик температуры масла и представляет собой прибор, устанавливаемый на радиатор системы охлаждения или термосифонный фильтр. Данные, получаемые от датчиков, обрабатываются встроенным микроконтроллером и выводятся на внутренний дисплей. Также во встроенной памяти сохраняется краткая (1 мес.) предыстория с возможностью ее загрузки в память переносного компьютера, подключаемого через встроенный USB-порт. Для удобства обслуживающего персонала, на переднюю панель устройства выводятся крупные светодиоды для сигнализации о текущем состоянии оборудования.

Комплекс СКИТ А2 (автономный вариант с максимальной комплектацией) предназначен для трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов мощностью до 63 МВт, напряжением до 110 кВ. Комплекс имеет датчик растворенных в масле газов (водорода и суммы горючих газов), датчик влажности твердой изоляции, датчик температуры масла, датчики tg $\delta$  под рабочим напряжением НК-методом и датчик механических примесей в масле. Остальные функции такие же как и в СКИТ А1.

Комплекс СКИТ С1 (упрощенный без быстродействующего АЦП) предназначен для трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов мощностью до 125 МВт, напряжением до 220 кВ. Комплекс имеет датчик растворенных в масле газов (водорода и суммы горючих газов), датчик влажности твердой изоляции, датчик температуры масла, датчик tg $\delta$  под рабочим напряжением НК-методом, датчик механических примесей в масле, электрические датчики частичных разрядов (без снятия осциллограмм), акустические датчики частичных разрядов (без снятия осциллограмм). Комплекс представляет собой основной прибор, устанавливаемый на радиатор системы охлаждения или термосифонный фильтр, а также устройства присоединения к измерительным выводам высоковольтных вводов и акустические датчики частичных разрядов, устанавливаемые на бак

трансформатора. Данные, получаемые от датчиков, обрабатываются встроенным микроконтроллером и выводятся на внутренний дисплей. Также во встроенной памяти сохраняется краткая (1 мес.) предыстория с возможностью ее загрузки в память переносного компьютера, подключаемого через встроенный USB-порт. Для удобства обслуживающего персонала, на переднюю панель устройства выводятся крупные светодиоды для сигнализации о текущем состоянии оборудования. В этой версии СКИТ может быть предусмотрена возможность подключения в локальную вычислительную сеть с помощью волоконно-оптической (или любой иной) линии связи для передачи снятой с датчиков информации и аварийных сообщений на удаленный компьютер. Внешний вид СКИТ С1 показан на рис.8.



Рис.8. Внешний вид комплекса СКИТ С1.

Помимо представленных модификаций ООО «Дизкон» совместно с ООО «Димрус» может предоставить совместную систему мониторинга для контроля технического состояния силовых трансформаторов 110-330 кВ.

Системы представляют собой системы TDM ООО «Димрус» различной комплектации с интеграцией в них блока встроенных датчиков производимой ООО «Дизкон».

За десятилетие своей работы ООО «Дизкон» разработало, произвело и поставило более 50 систем контроля изоляции силовых трансформаторов для видных представителей в своих отраслях: Сургутская ГРЭС -2, Нижнекамская ГЭС, АС «Бушер», «Новгородэнерго», «Астраханьэнерго», «Нижевартовские электрические сети», «Казаньэнерго», «Тюменьэнерго», МРСК Северо-Запад, Ленэнерго, МРСК Волги, «Электросила», «Изолятор» и др. Все системы находящиеся под контролем ООО «Дизкон» по

дополнительным договорам регулярно проходят плановое обслуживание. Персонал заказчиков ООО «Дизкон», работающий с системами контроля изоляции, получают бесплатные консультации от наших специалистов.