Официальный сайт ЗАО "ФЕНИКС-88"
fenix88.com

Мониторинг состояния изоляции вводов под рабочим напряжением

Живодерников С.В., Овсянников А.Г.

Новосибирская СПБ Электросетьсервиса,
филиал ОАО «ФСК ЕЭС»

Введение. В силу увеличения возраста парка трансформаторного оборудования необходимо решать вопрос остаточного ресурса. В настоящее время с этой целью используются методики периодического обследования трансформаторов под напряжением и с отключением для того, чтобы оценить техническое состояние трансформаторов и дать рекомендации по продлению срока службы.

Высоковольтные вводы и трансформаторы тока – наиболее часто повреждаемые элементы в энергосистемах. Подвергаемые значительным температурным и электрическим нагрузкам, вводы являются одними из лидирующих элементов в отказах силовых трансформаторов.

В данной статье описывается результаты применения системы мониторинга (СМ) высоковольтных вводов, использующей метод суммы токов – измерение тока небаланса.

Внедрение подобных систем позволит решить следующие задачи.

1. Продлить ресурс действующего, но выработавшего свой ресурс оборудования за счет модернизации и проведения расширенных восстановительных ремонтов, учитывая, что одним из важнейших компонентов модернизации оборудования является установка недорогих и надежных систем мониторинга силового оборудования.

2. Исключить аварии с высоковольтными вводами, связанные с несовершенством существующего комплекта измерительно-диагностической аппаратуры, норм и методов обследования изоляции высоковольтных вводов.

3. Предотвратить полное разрушение ввода при достижении параметров изоляции критических значений и, как следствие, тяжелой аварии, своевременно подготовить замену и демонтировать дефектный ввод с возможностью восстановления его свойств до того, как в нем разовьются необратимые изменения.

4. На сегодняшний день имеется тенденция к закупке подобного рода систем за рубежом у известных производителей, например, Rockwell Automation (Allen Bradley), Hewlett Packard, Microsoft. Три комплекта системы мониторинга силовых трансформаторов этих фирм уже установлены на подстанциях МЭС Центра (п/с Арзамасская, п/с Михайловская и п/с Бологое). Отечественная продукция, практически не уступая по техническим характеристикам зарубежной значительно дешевле.

Описание метода измерений. В основе методики контроля изоляции, в частности, емкости ввода и тангенса диэлектрических потерь, лежат два явления.

- Ток через изоляцию ввода практически пропорционален емкости. Изменение емкости C_1 вызывает пропорциональное изменение тока.
- Изменение тангенса угла диэлектрических потерь изменяет активную составляющую тока через изоляцию ввода и также отражается в токе небаланса [1]:

$$\gamma = \frac{\Delta I}{I_o} = \sqrt{(\Delta \tan\delta)^2 + \left(\Delta C / C_o\right)^2} \qquad (1)$$

Кроме того, принцип метода суммы токов основан и на том факте, что в трехфазной системе напряжения на шинах равны и параметры вводов (или трансформаторов тока) идентичны, при этом векторная сумма токов чрез ИВ (измерительные выводы) вводов будет равна нулю (рис.1а). Ток ввода представляет собой токи утечки из-за емкостного тока или тангенса угла потерь. В действительности вводы всегда различаются, также как и напряжения на шинах. Как следствие, будет присутствовать малая начальная сумма токов, уникальная для каждой тройки вводов. Когда изоляция одного из вводов начинает ухудшаться, его емкость и/или тангенс будут изменяться и, соответственно, сумма токов будет отличаться от начального значения. Таким образом, состояние изоляции ввода среди тройки может быть определено оценкой изменения суммы токов.

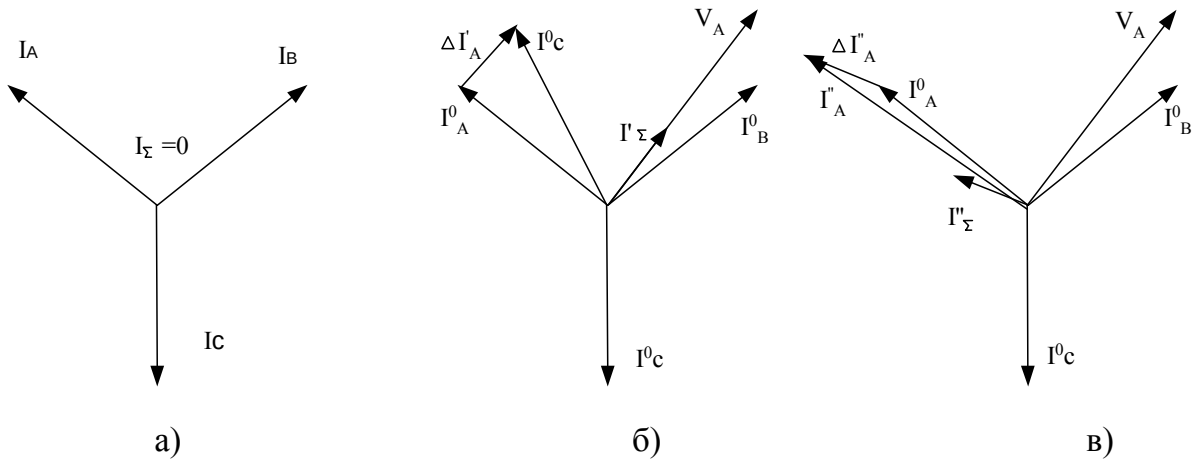


Рис. 1. К пояснению метода суммы токов

В простейшей форме метод суммы токов может быть объяснен рассмотрением двух изменений в С1 изоляции одного из вводов (пусть это будет фаза «А» на рис.1).

Примем начальную сумму токов равной нулю (рис.1а). Первое изменение – чисто резистивное, т.е. изменяется только одна составляющая тока из-за изменения тангенса изоляции ввода. Это изменение приведет к появлению векторной разности $\Delta I'_A = I'_A - I_A^0$ (рис.1б). Это изменение будет совпадать по фазе с вектором напряжения V_A и по величине будет равно I'_Σ.

Начиная снова с нулевой суммы токов, пусть второе изменение будет чисто емкостным, т.е. изменяется только нормальная составляющая тока ввода (рис.1в). В этом случае изменения приведут к появлению вектора $\Delta I''A = I''A - I_A^0$. Это изменение отличается от напряжения V_A на 90^0 и равно I''_{Σ}.

В реальности изменения изоляции ввода могут быть и активными, и емкостными из-за изменения тангенса и/или емкости изоляции ввода. Следовательно, если изменения положительны по отношению к начальным значения, угол вектора суммы токов будет расположен между нормальной составляющей вектора тока ввода и вектором напряжения. Этот критерий позволяет легко идентифицировать проблемный ввод, используя фазовый угол вектора суммы токов.

Описание системы мониторинга R-1500. Системой мониторинга, реализующий описанный выше метод измерения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости вводов маслонаполненных вводов под рабочим напряжением является R-1500 производства НПФ «Вибро-Центр» - система контроля токов проводимости и тангенса угла потерь. Общий вид прибора приведен на рис.2.

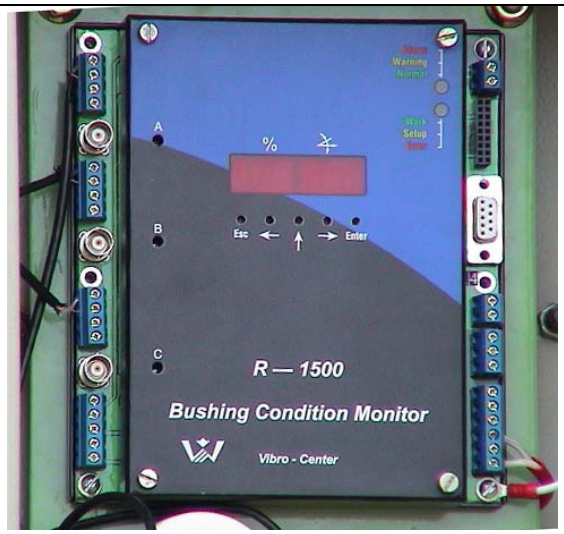


Рис.2. Общий вид микропроцессорного модуля R-1500 в защитном корпусе (Абаканская ТЭЦ, сетевой АТ 250 000/220/110, контроль вводов 220 кВ)

Определение тангенса угла потерь и емкости производится в двух режимах. Если на специальный вход прибора подключить опорное напряжение с известной фазой, например, от ТН или ТТ, то производится расчет истинных значений тангенсов углов вводов. Если опорное напряжение отсутствует (проблемы с прокладкой линий или отсутствие измерительных трансформаторов как таковых), то прибор рассчитывает разброс величины тангенса вводов относительно друг друга. Если при установке системы величины тангенсов и емкостей были определены с помощью какого-либо

другого метода и введены в память прибора, то в дальнейшем все расчеты будут опираться на эти значения, и будут рассчитываться истинные значения тангенсов.

Основные технические характеристики системы R-1500:

Контролируемых вводов	3
Количество входов по температуре	1
Рабочее напряжение вводов, кВ	110 - 750
Диапазон рабочих температур	-40 - +70
Габаритные размеры прибора, мм	300*250*150
Масса прибора, кг	5,0

Система состоит из трех датчиков, устанавливаемых на ИВ вводов, микропроцессорного модуля R-1500 в защитном корпусе и соединительных кабелей. Прибор R-1500 имеет встроенную цифровую индикацию амплитуды и фазы напряжения смещения с указанием того ввода, в котором произошли данные изменения, что позволяет контролировать состояние вводов на месте. Это целесообразно в тех случаях, когда система применяется на одном трансформаторе.

В то же время при контроле более двух трансформаторов требуется передача информации в системы верхнего уровня (центральный компьютер, служащий для сбора, обработки и отображения информации, сетевые серверы и т.д.). Для этого в приборе предусмотрена работа по интерфейсу RS-485. Кроме того, в приборе имеется выходное реле, включаемое при превышении определенного защитного порога.

Три сигнала с датчиков внутри прибора объединяются на нагрузочных сопротивлениях, соединенных в звезду. При монтаже прибора производится уравновешивание входных сигналов подстроечными сопротивлениями. Точность определения напряжения смещения - 0,1 % по амплитуде и 0,02 градуса по фазе. Благодаря применению фильтров прибор не чувствителен к наличию высших гармонических составляющих в напряжении с датчиков. Точность расчета тангенса угла потерь не хуже 5 % от истинного значения.

Используемые с прибором датчики марки DB-1 снимают с измерительного вывода комплексный сигнал, содержащий ток проводимости промышленной частоты и высокочастотный сигнал частичных разрядов. Это позволяет проводить регистрацию частичных разрядов во вводах, подключившись к разъему на микропроцессорной плате. Здесь же есть разъемы подключения моста для измерения тангенса угла потерь.

Погрешность измерений. Точность прибора заключается в способности своевременно зарегистрировать опасные изменения тангенса или емкости, могущие привести к аварии. Опыт показывает, что диапазон изменения тока небаланса должен находиться в пределах нескольких процентов (3% - уровень тревоги, 5% - уровень аварии). Сле-

довательно, декларируемая точность в 0,1% для относительных амплитуд и 0.1^{O} фазового угла вполне достаточна для проведения корректных измерений.

Влияние помех. Как показано выше, в основе СМ лежит измерение токов промышленной частоты с ИВ вводов. Высшие гармонические составляющие 50 Гц, особенно нечетные, можно рассматривать как помехи, поскольку нечетные гармоники с трех фаз не балансируются, а суммируются. Для уменьшения их влияния прибор снабжен ФНЧ.

Еще один вид помех, который необходимо учитывать, - разность потенциалов двух заземленных точек измерительной цепи. Измерительную цепь необходимо заземлять в двух местах и по двум причинам. Во-первых, корпус и металлические части прибора и защитного шкафа для обеспечения безопасности персонала. Второе требование связано с защитой самого ввода на случай, если будут оборваны линии связи датчиков с прибором и защита самого прибора откажет. В нормальном состоянии импеданс датчика параллелен земле и защитным элементам. Через этот импеданс протекает тока ИВ на землю, обеспечивая приемлемую величину падения напряжения при измерениях и на случай обрыва измерительных цепей по каким-либо причинам. Внутренние защитные элементы снижают импульсные помехи при грозовых и коммутационных воздействиях. Таким образом, вторая точка заземления схемы (с относительно высоким сопротивлением) – точка заземления датчика[1].

Установка и заземление прибора рядом с баком трансформатора приведет к небольшой разнице потенциалов в точке подсоединения датчиков и точке измерения, обусловленной протеканием небольшого током через бак трансформатора. Единственной проблемой может быть подключение прибора к группе однофазных трансформаторов. Группа может иметь разность потенциалов между баками, которая будет вносить постоянную ошибку в суммарный ток. Однако хорошее соединение с контуром заземления ПС и отсутствие повреждений самого ЗУ ПС приводит к разности потенциалов между баками в пределах всего нескольких десятых вольт. Например, в British Columbia Hydro прибор установлен на средней фазе трансформатора 500 кВ. Для этого случая на рис.4 схематично показано общее влияние помехи.

В общем виде источники помех – разность потенциалов между точками заземления датчиков в районе ПИН вводов и точкой заземления самого прибора. Эти источники обозначены как $\mathbf{V_{ab}}$, $\mathbf{V_b}$, $\mathbf{V_{cb}}$, поскольку прибор установлен на баке фазы «В».

Напряжение $\mathbf{V_b}$ пренебрежимо мало, два других имеют величины 100 – 200 мВ. Попытка соединить баки дополнительным проводником с малым сопротивлением не привела к заметным изменениям в напряжениях.

---

[1] Идея применения в датчике только элементов защиты от импульсных помех не совсем правильна с точки зрения обеспечения надежности. В случае нарушения линии связи защитные элементы должны пропускать ток до 150 мА (при 750 кВ) в длительном режиме. Несколько таких элементов различных типов и конструкций вышли из строя при лабораторных испытаниях в течение примерно недели.

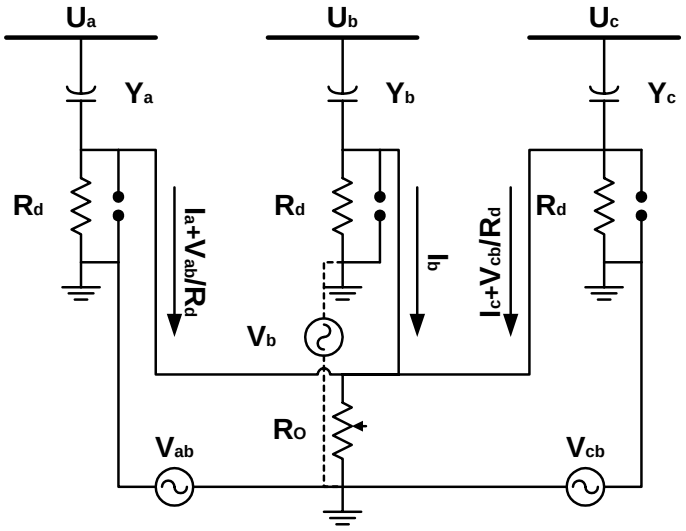


Рис.4. К влиянию разности потенциалов в точках заземления измерительной схемы

Эти напряжения создают дополнительный ток помехи (рис.4), который также измеряется СМ. Принимая напряжение помехи в 200 мВ и емкость ввода в 500 пФ, этот ток может быть оценен на уровне 0,1 % от общего, что является вполне приемлемой величиной.

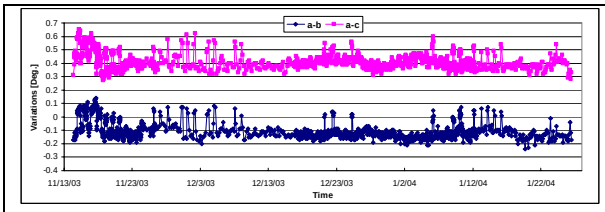
Изменение напряжения на шинах является одним из главных воздействующих факторов на точность метода в целом. Это влияние особенно критично, когда требуется получить точность в пределах 0.1 %. Изменения напряжения на шинах (амплитуды или угла между фазами) создает небаланс в СМ и может быть интерпретировано как изменение параметров изоляции: амплитуда – как емкость, угол – как тангенс.

Колебания напряжения на шинах наблюдались практически везде, где прибор был установлен, вне зависимости от области или страны. На рис. 4 показаны изменения углов между фазами А-В и А-С[2] для четырех трансформаторов в течение нескольких недель. На рисунках 4,а и 4,б показаны два разнотипных, а на 4,в и 4,г – два однотипных трансформатора, подключенных к одной и той же системе шин. Поведение напряжения на шинах весьма похожи в последних двух случаях, несмотря на то, что данные с этих трансформаторов не полностью синхронизованы: разность в считывании данных составляет около 10 мин.

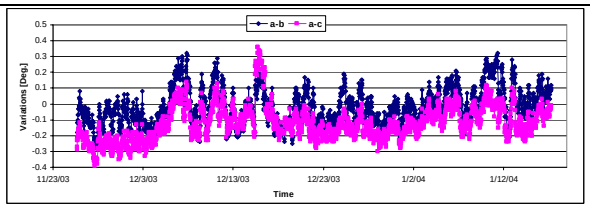
В таблице 1 приведены статистические данные, рассчитанные по рис.4.

В каждом месте установки прибора имеется локальное поведение напряжения на шинах: перекос фаз и разброс фазовых углов. Заметим, что перекос фаз может достигать $0{,}4^0$, разброс (два стандартных отклонения) - $0{,}24^0$ и соотношение максимального/минимального значений $0{,}75^0$.

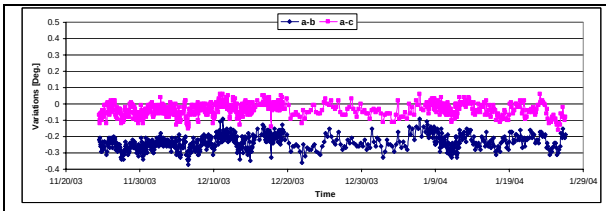
[2] Фазовые углы 120^0 и 240^0 вычтены из углов А-В и А-С соответственно для приведения данных к одному масштабу.



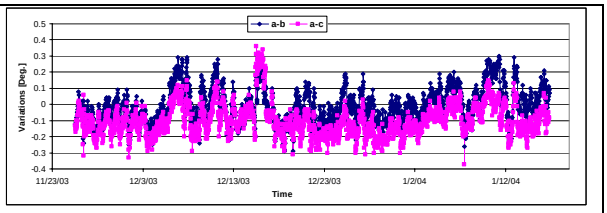
а) Unit #1, Location #1



в) Unit #3, Location #3



б) Unit #2, Location #2



г) Unit #4, Location #3

Рис.4. Изменение углов между фазными напряжениями

Таблица 1

Статистические данные изменения фазовых углов системы шин *(Расчет из рис.4)*

Трансфор-матор	**Unit #1 Loc. #1** ***рис. 4а***		**Unit #2 Loc. #2** ***рис. 4б***		**Unit #3 Loc. #3** ***рис. 4в***		**Unit #4 Loc. #3** ***рис. 4г***	
Фаза / Па-рам.	A - B	A - C	A - B	A - C	A - B	A - C	A - B	A - C
Среднее	-0.10	0.41	-0.24	-0.04	-0.02	-0.12	-0.01	-0.10
Стандартное отклонение	0.06	0.06	0.04	0.04	0.12	0.11	0.11	0.10
Минимум	-0.24	0.27	-0.37	-0.16	-0.28	-0.39	-0.29	-0.37
Максимум	0.14	0.65	-0.09	0.06	0.32	0.36	0.30	0.36

Учитывая возможные изменения напряжения, формула (1) может быть представлена в виде:

$$\gamma = \frac{\Delta I}{I_0} \approx \sqrt{(\Delta \tan \delta + \Delta \varphi)^2 + \left(\Delta C / C_0 + \Delta V / V_0 \right)^2}, \qquad (2)$$

где $\Delta V / V_0$ - относительное изменение напряжения на шинах,

$\Delta\varphi$(Rad) – изменение фазового угла.

При изменениях во всех фазах по выражениям (1) и (2) должны приводить к изменениям в суммарном векторе. Параметр «гамма» (небаланс) будет реагировать только на асимметричные изменения напряжения на шинах. Все симметричные изменения будут взаимно скомпенсированы, не влияя на ток небаланса. Следовательно,

точность метода зависит от статистики асимметричного изменения напряжения на шинах в данной точке и статистической обработки полученных данных.

Простейшим решением могло бы стать подключение дополнительных опорных сигналов с измерительных трансформаторов, конденсаторов связи, подключенных к той же самой системе шин, что СМ, но в некоторых случаях на ПС могут отсутствовать ТТ и ТН. В то же время из опыта [2] известно, что асимметричные колебания напряжения на системах шин носят кратковременный характер, не превышая одних суток. Хорошая визуализация программным обеспечением происходящих в этом случае процессов уверенно можно отличить колебания на системах шин от процессов происходящих в изоляции вводов. Кроме того, одновременная регистрация данных с двух или более аналогичных объектов, соединенных с одной и той же системой шин, также позволит повысить точность метода.

Результаты практического использования системы R-1500

1. Вводы силовых трансформаторов

Ниже приведены результаты практического использования системы R-1500, установленной на трех силовых трансформаторах типа ТДЦ-200000/220/20 ГПП-1 Саянского алюминиевого завода. Тип вводов - ГБМТ-45-220/2000 У1.

Для большей иллюстративности данные взяты за двухмесячный период, с 31 января по 31 марта 2003 г., когда наблюдались значительные суточные колебания окружающей температуры. Замеры производились четыре раза в сутки: в 04.00, в 10.00, в 16.00 и 22.00 часа.

На рис.5 приведена фазовая диаграмма трансформатора 1Т, где отражены результаты регистрации тока небаланса за указанный период времени. Хорошо видно, что точки замеров, в основном, располагаются вблизи друг друга, образуя своеобразное «пятно» на комплексной плоскости. В [3] уже предприняты попытки интерпретировать состояние изоляции вводов по форме и направлению движения такого «пятна». При накоплении определенного опыта этот подход можно применять и на данном трансформаторе. Отдельные «выбросы» в левом верхнем секторе диаграммы хорошо различаются и, вероятно, связаны со скачкообразным изменением напряжением на одной из шин.

Рисунки 6 – 8 иллюстрируют двухмесячные тренды при измерении tgδ, емкости и температуры отдельных вводов трансформатора.

Кратко комментируя эти графики, прежде всего необходимо отметить, что изменения емкостей вводов фаз В и С, а также tgδ фазы С хорошо прослеживаются, а отдельные отклонения находятся в пределах 0,1 - 0,2 % (±2 пФ при измерении емкости и ±0,001% при измерении тангенса) даже при изменении окружающей температуры в достаточно широком диапазоне от –26 до +15^{0}С.

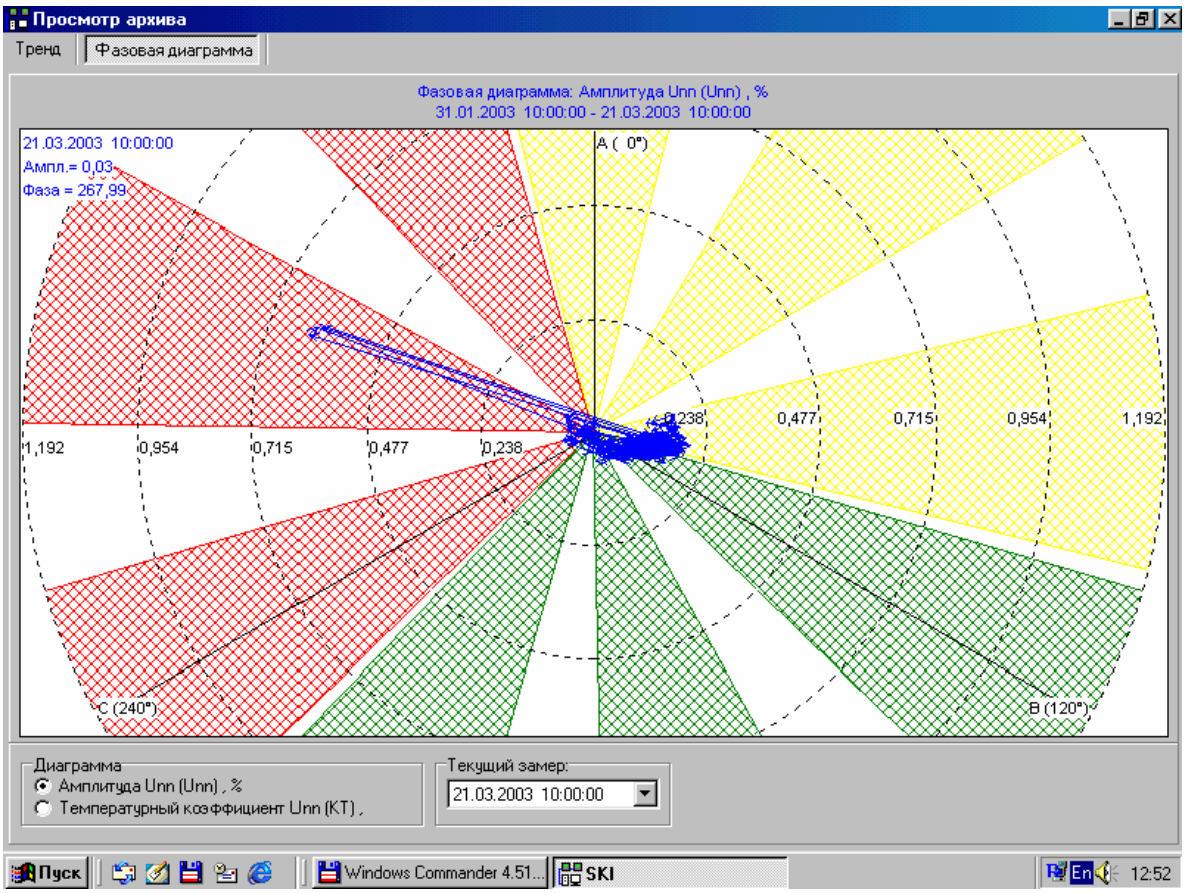


Рис.5. Фазовая диаграмма амплитуды небаланса вводов трансформатора 1Т

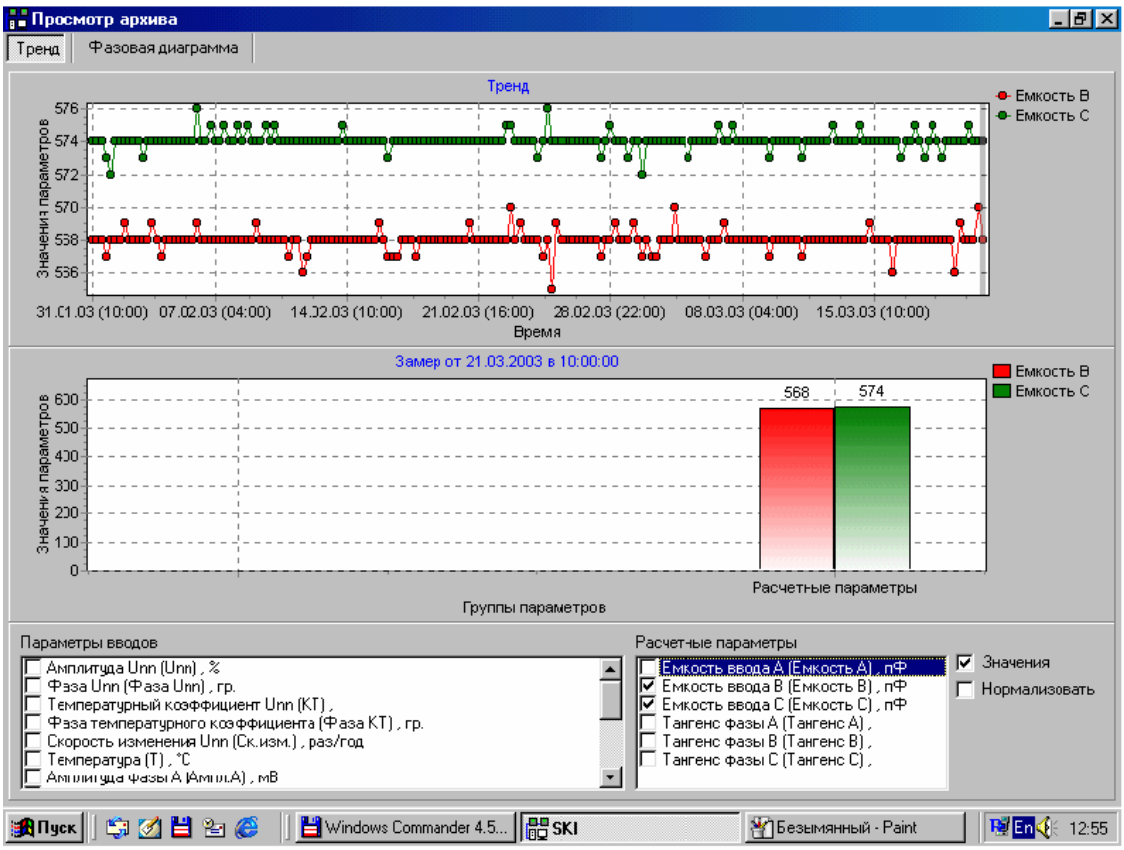


Рис.6. Тренд для емкостей вводов фаз B и C трансформатора 1Т

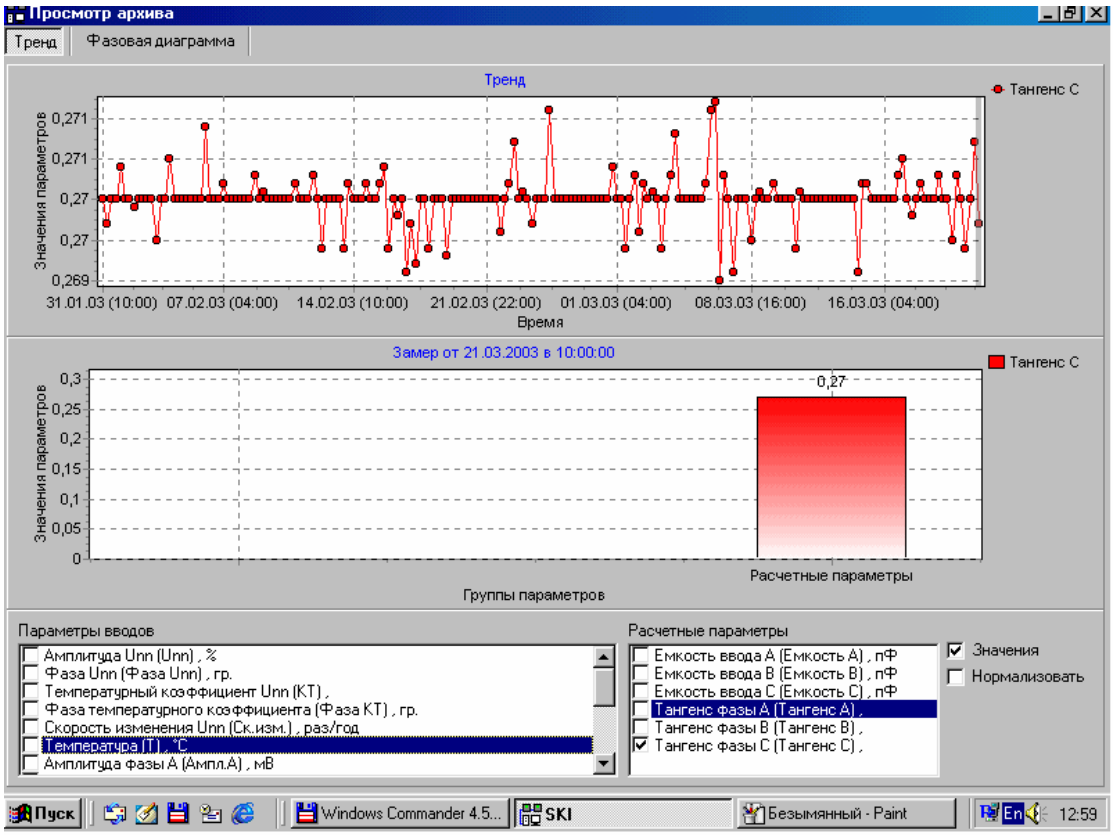


Рис.7. Тренд для tgδ ввода фазы С трансформатора 1Т

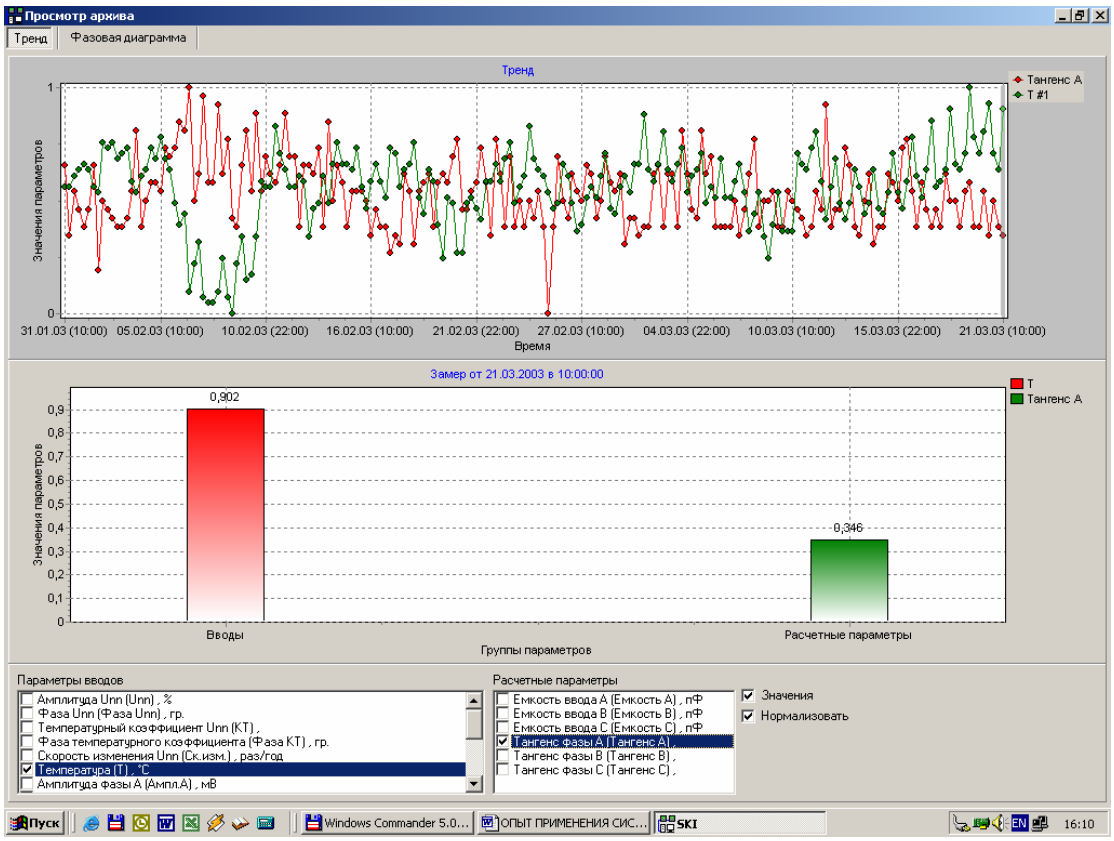


Рис.8. Тренд для tgδ ввода фазы А трансформатора 1Т и температуры окружающей среды

Немаловажным фактором в оценке состояния изоляции является сопоставление температуры ввода с его тангенсом дельта, описанные, например, в [4]. В частности, на рис. 8 приведены распределения температуры окружающей среды и tgδ во времени за тот же период. Хорошо видны колебания тангенса в зависимости от температуры, что может служить признаком старения изоляции ввода.

На сегодняшний день уже накоплен определенный опыт использования трендов тангенса угла потерь высоковольтных вводов, и качественно его можно обобщить, как это сделано на рис.9.

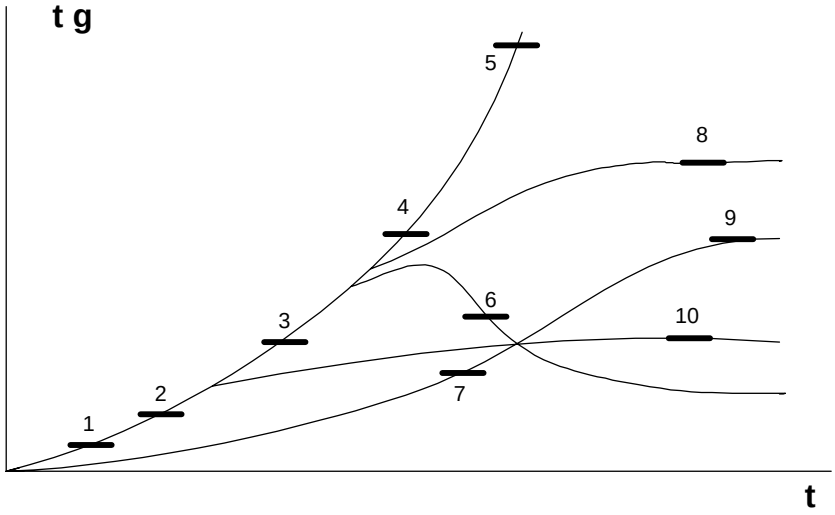


Рис. 9. Возможные изменения tgδ изоляции ввода во времени:

В качестве приложения для оценки состояния вводов и необходимости выполнения тех или иных действий на этом рисунке представлен график с кривыми изменения тангенса угла диэлектрических потерь во времени с рекомендуемыми операциями:

1 – незначительные изменения, продолжение мониторинга, в настоящее время ничего предпринимать не требуется;

2 – умеренное изменение, проведение дополнительных измерений при ближайшем регламентном отключении, применение тепловизионного контроля;

3 – значительное изменение, необходимы дополнительные испытания, если рост продолжается – замена ввода;

4,5 – аварийные изменения, ухудшение изоляции продолжается с опасной скоростью – замена ввода;

6 – замыкание обкладок, необходимо проведение измерений с отключением, если диагноз подтверждается – замена ввода;

7 - tgδ весьма высок, однако рост ухудшения изоляции незначителен, надежность снижена, проведение дополнительных измерений при ближайшем регламентном отключении;

8 – достигнута стабильность, но на опасном уровне, надежность значительно снижена, подготовиться к замене ввода;

9 – рост стабилизировался после значительного роста, надежность снижена;

10 - достигнута стабильность после небольшого роста, действия не требуются.

2. Вводы масляных выключателей

Система R-1500 установлена на трех вводах типа БМВП-110/1000У1 МВ 110 кВ линии С-14 ПС «Левобережная» ЦЭС ОАО «Томскэнерго» в следующем порядке: фаза А – сторона шин ПС; фаза В – сторона ВЛ; фаза С – сторона ВЛ. Выбор такого расположения подключения датчиков приборов диктовался состоянием изоляции вводов фаз В и С, где в течение последних лет наблюдаются увеличения тангенсов углов диэлектрических потерь.

Для начала рассмотрим итог работы системы в течение месяца, с 04.03.04 по 06.04.04, за два периода с 04.03.04 по 19.03.04 и с 19.03.04 по 06.04.04.

04.03.04 - 19.03.04

Фазовая диаграмма. Параметры амплитуды вектора небаланса трех указанных вводов за рассматриваемый период не выходят за границу установленного уровня «тревоги» (изменение 3% от первоначального, см. «Объем и нормы испытания электрооборудования», п.23.7) и, тем более, «аварии» (изменение 5% от первоначального, там же) (рис.10).

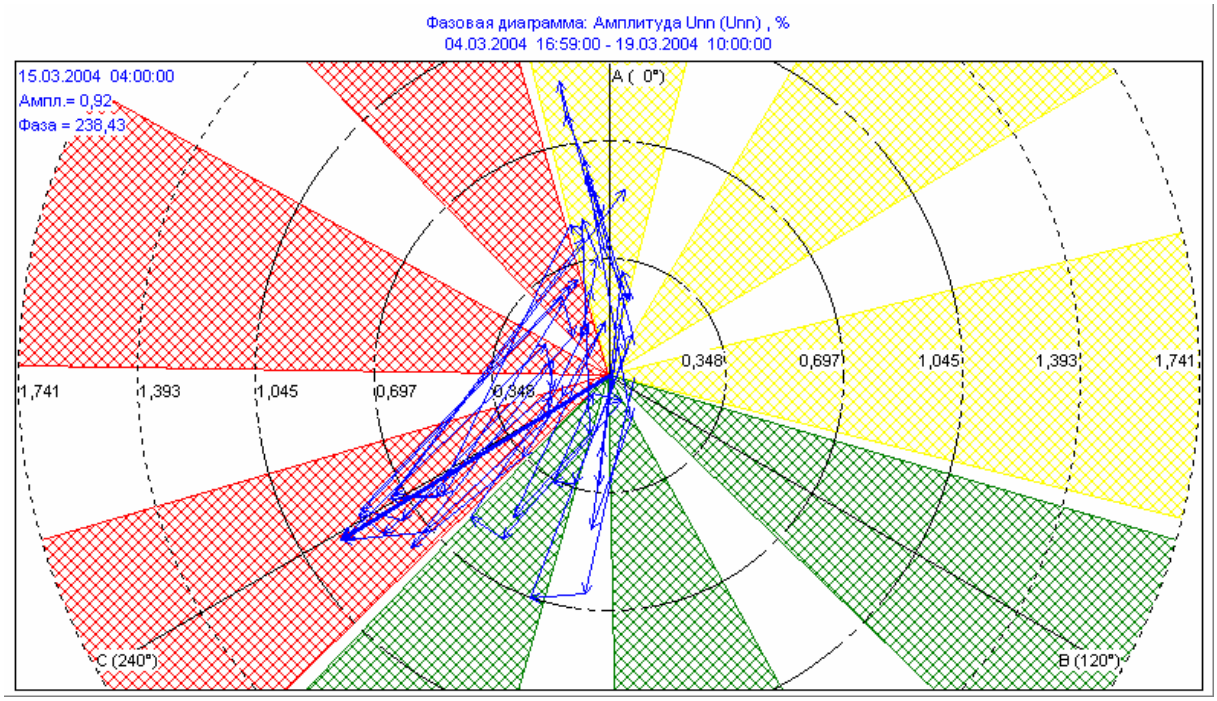
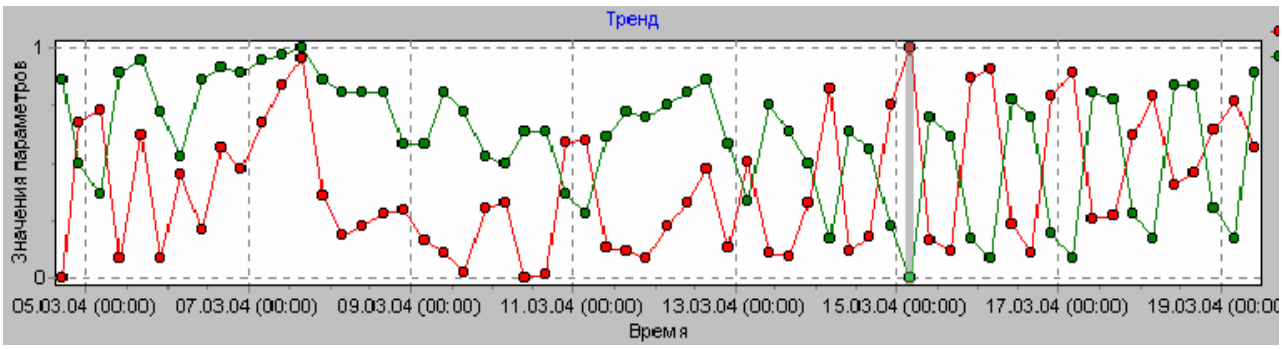
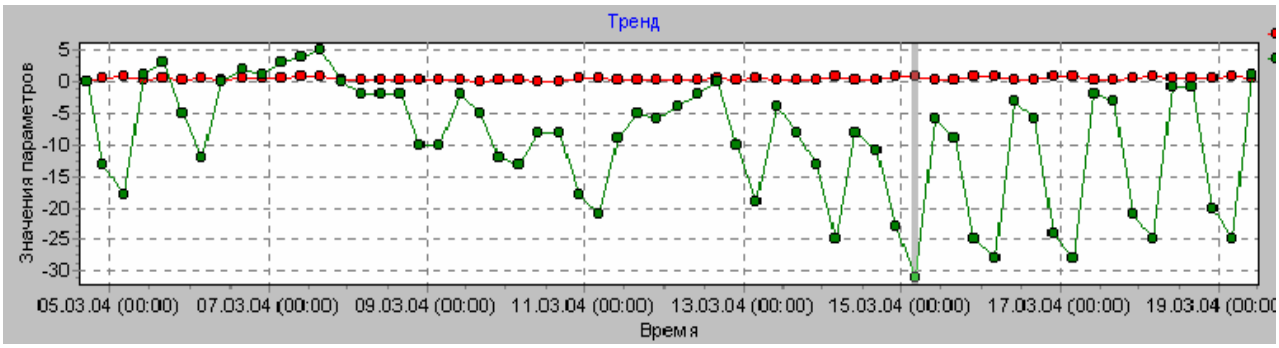


Рис. 10. Фазовая диаграмма изменения тангенса диэлектрических потерь

Максимальное значение составило 0,91% 15.03 в $4^{\underline{00}}$ и, вероятно, связано с минимальной температурой, полученной за все время регистрации –31^{0}С (рис.11, а и б).



а)



б)

Рис. 11. Графики изменений температуры окружающей среды (зеленый цвет) и амплитуды вектора тока небаланса (красный цвет): а – нормализованные значения (в о.е.); б – значения в абсолютных единицах

Установить тенденцию в движении т.н. «пятна», которое складывается из совокупности точек вектора небаланса на комплексной плоскости, и тем самым определить тренд развития возможных дефектов пока не представляется возможным в силу малого количества замеров из-за короткого времени регистрации (две недели).
В корректности регистрации температуры можно удостовериться, сравнив ход кривой графика температуры, зарегистрированной R-1500 (например, зеленая кривая на рис.11б), с графиком температуры в Новосибирске за этот же период (рис.12). Поскольку регионы Новосибирска и Томска практически идентичны по климатическим условиям, почти полное качественное совпадение графиков указывает на достоверное измерение температуры окружающей среды термодатчиками системы R-1500. Состояние изоляции вводов. Главный вывод, который можно сделать из анализа тренда тангенсов углов диэлектрических потерь вводов – заметное отличие в их поведении и величинах за период регистрации. Прежде всего, необходимо отметить, что тангенс ввода фазы «С» превышает значения всех остальных вводов, ввод «В» с этой точки зрения немного лучше, а ввод фазы «А» наиболее благополучен по тангенсу угла потерь (рис.13).

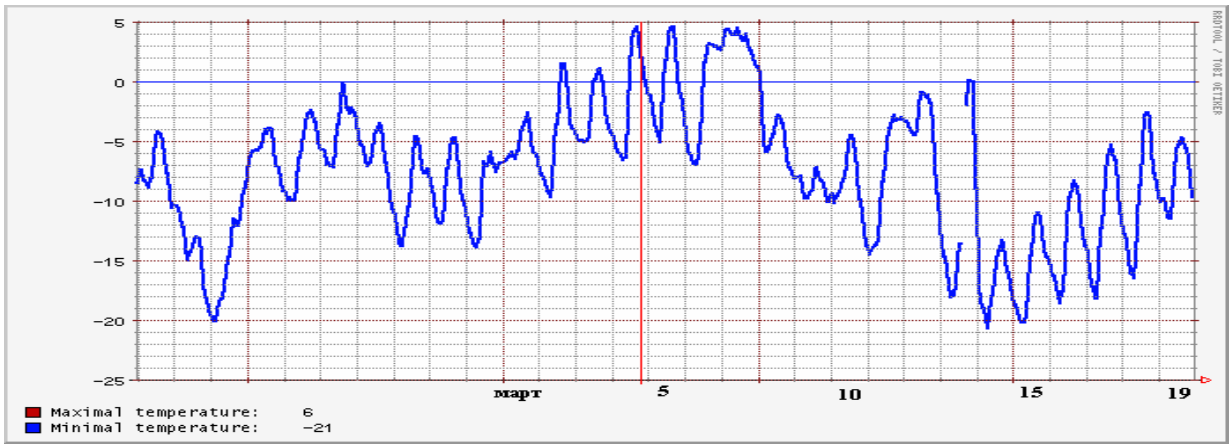


Рис. 12. Температура за последний месяц: данные на 19.03.04 по температурному мониторингу Новосибирска с сайта http://thermo.sibbereg.ru/

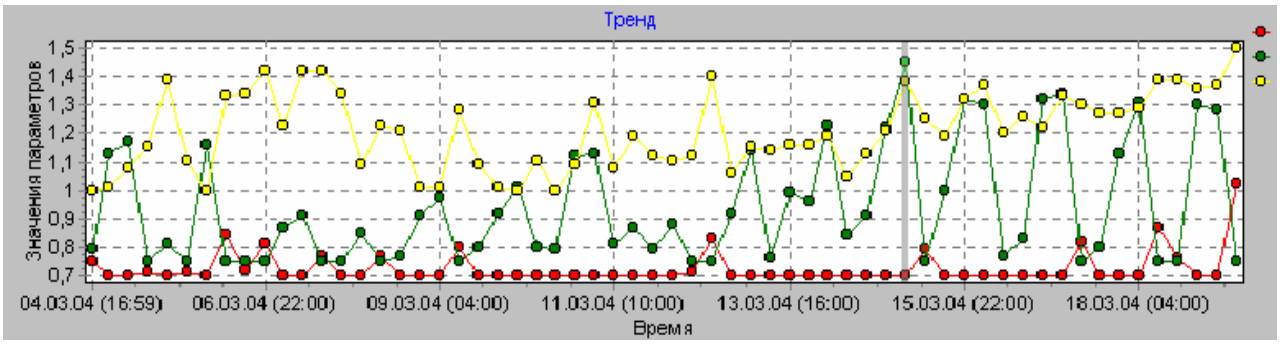


Рис. 13. Изменения *tgδ*: ф.А – красный, ф.В – зеленый, ф.С - желтый

Максимального значения тангенса фазы «С» достиг 19.03 в $10^{\underline{00}}$ (1,5%), фазы «В» 15.03 в $4^{\underline{00}}$ (1,45%).

Изменение емкости изоляции вводов в течение периода регистрации не выявил каких-либо заметных отклонений более чем на ±1 пФ, что может объясняться кратковременными колебаниями напряжения на шинах 110 кВ (рис.14).

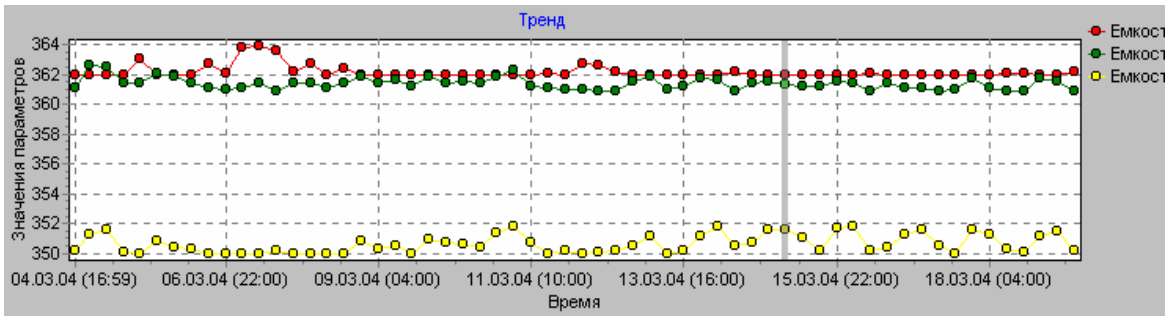


Рис. 14. Изменения емкости: ф.А – красный, ф.В – зеленый, ф.С – желтый

Если рассматривать влияние температуры на ход кривых, то настораживающим фактором является четкая корреляция между изменением тангенса фазы «В» и темпе-

ратурой, причем как бы «в противофазе» (рис.15). Этот факт требует дальнейшего анализа и наблюдений, сопоставления нескольких параметров.

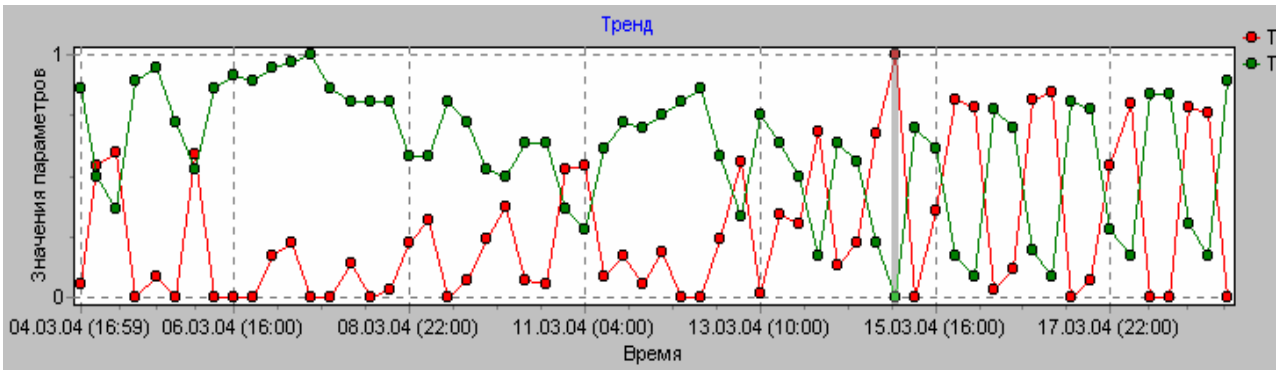


Рис. 15. Изменения температуры (зеленый) и *tgδ* (красный) ввода фазы «В»

В то же время на фазе «С» такая связь тангенса и температуры отсутствует (рис.16), но прослеживается в отношении емкости, хотя и в весьма небольших пределах (рис.17).

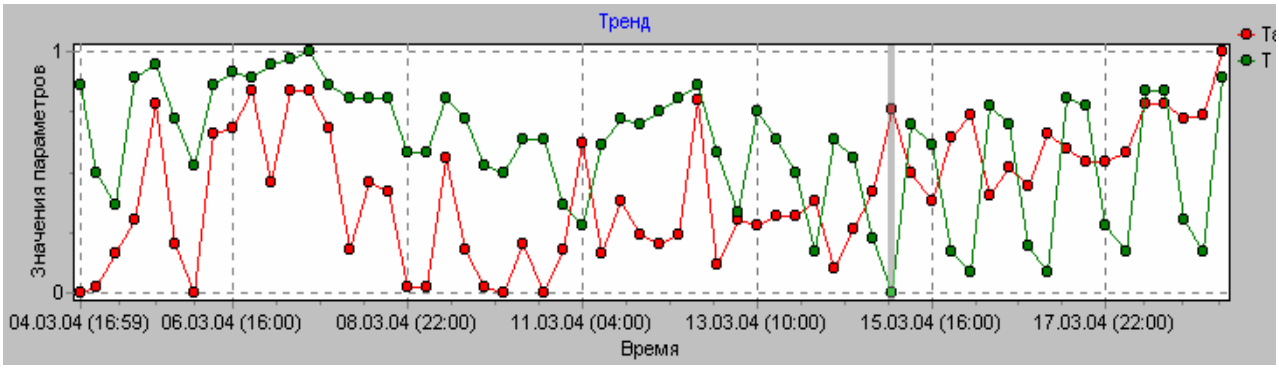


Рис.16. Изменения температуры (зеленый) и *tgδ* (красный) ввода фазы «С»

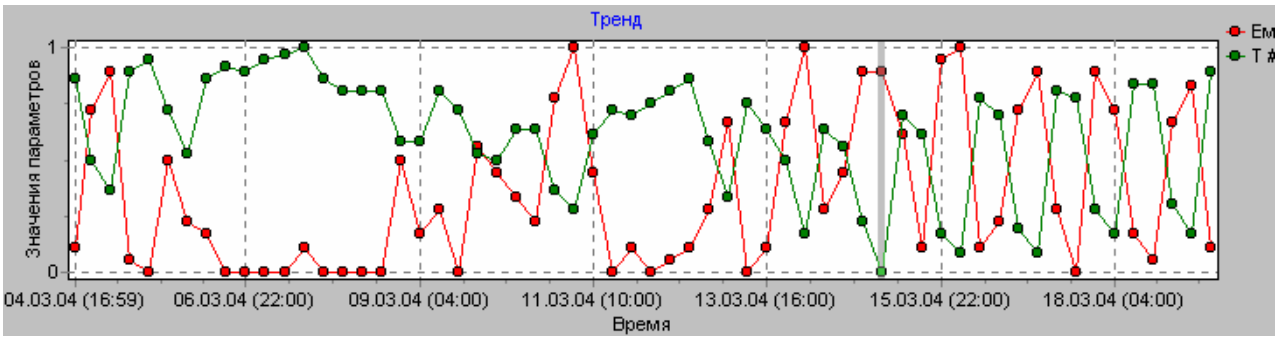


Рис.17. Изменения температуры (зеленый) и емкости (красный) ввода фазы «С»

Для этих целей в системе R-1500 предусмотрено введение контроля параметров изоляции вводов по температуре, и, при необходимости, после набора статистически корректных результатов измерений этот контроль может быть установлен.

Выводы

1. Система R-1500 уверенно распознала и наглядно отобразила с помощью программного обеспечения вводы с вероятными проблемами в изоляции и показала влияние факторов окружающей среды на процессы, происходящие в изоляции вводов.

2. По состоянию на 19.03.2004 г. состояние вводов следующее:

- Фаза «А» - изоляция в удовлетворительном состоянии;
- Повышенный тангенс угла потерь изоляции фаз «В» и «С» относительно фазы «А» позволяет предположить наличие дефектов. Необходим дальнейший контроль с помощью системы R-1500 и тщательный анализ получаемых данных.

19.03.04 - 06.04.04

1.Фазовая диаграмма за весь период измерений приведена на рис.18.

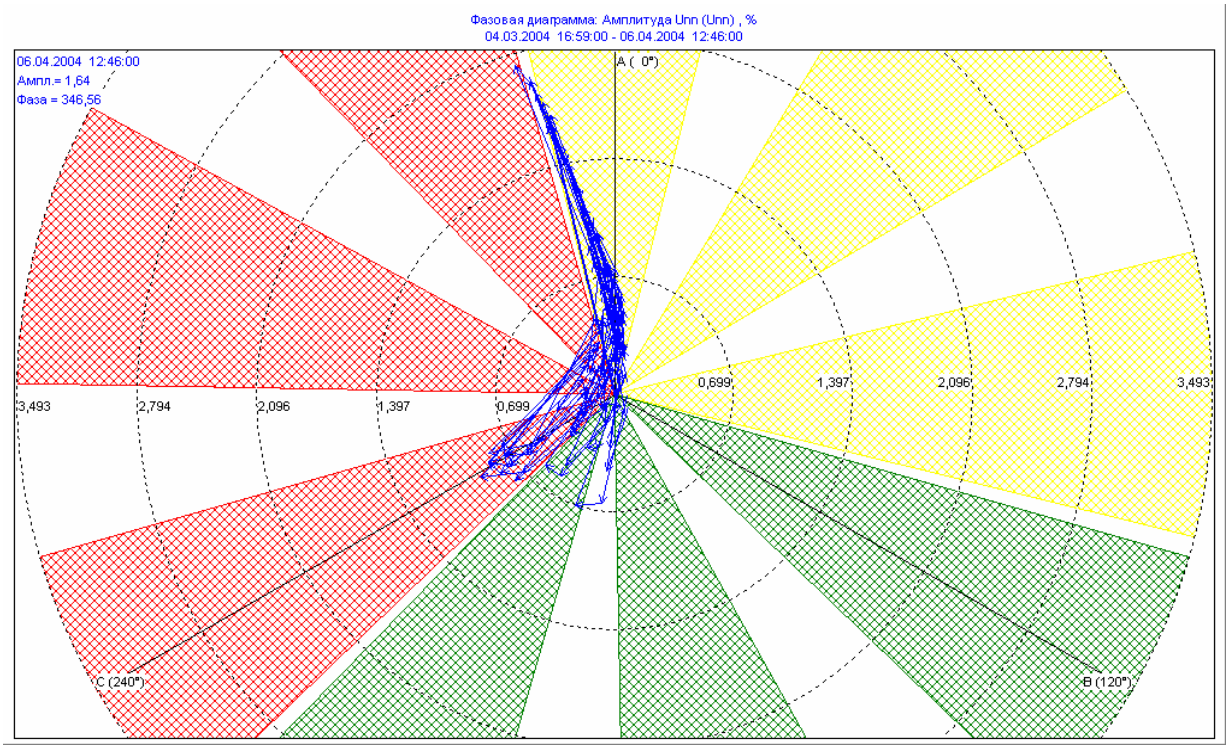
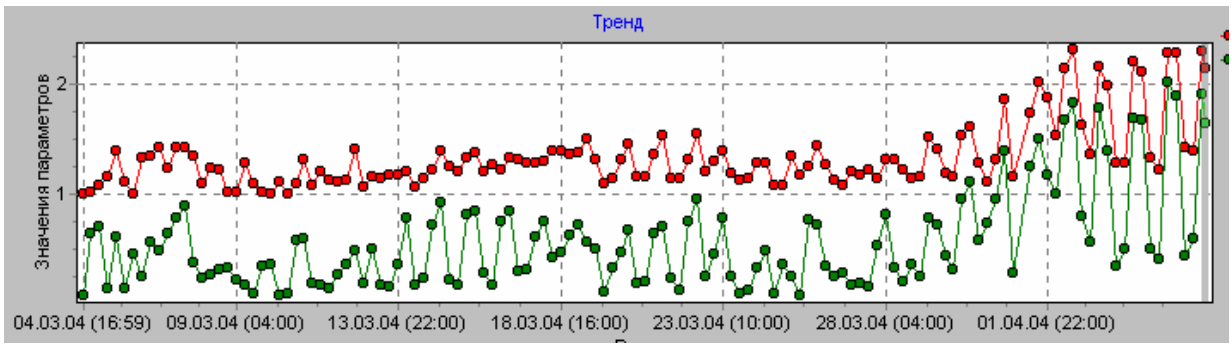


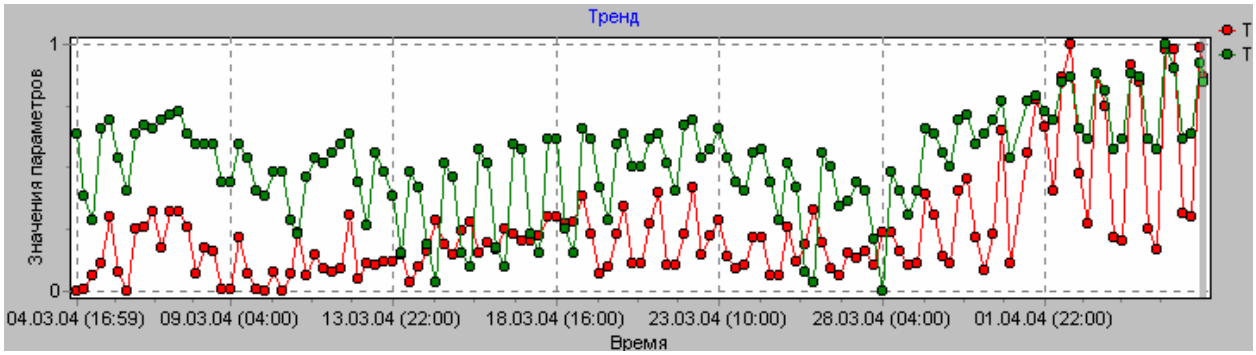
Рис.18

Параметры амплитуды вектора небаланса трех указанных вводов за рассматриваемый период также не выходят за границу установленных уровня «тревоги» и «аварии». Максимальное значение составило 2,02% 05.04 в $10^{\underline{00}}$ и связано с изменением тангенса угла потерь изоляции ввода фазы «С», что, в свою очередь, вызвано максимальной температурой, полученной за все время регистрации (рис.19 а и б).

Сейчас уже можно проследить тенденцию в движении «пятна» вектора небаланса, которое двигается в направлении левого верхнего сектора плоскости, тем самым показывая, что изменение тока небаланса вызвано изменением состояния изоляции фазы «С» (красный сектор).



а)



б)

Рис.19. Тренд изменений в изоляции ввода фазы «С»: а – изменение тока небаланса (зеленый) и *tg*δ (красный); б - изменение *tg*δ (красный) и температуры (зеленый)

Заключение. К 06.04.04 системой R-1500 выявлена настораживающая тенденция роста тока небаланса, максимальное влияние на которую оказывает рост тангенса угла потерь ввода фазы «С». Зависимость тангенса от температуры – признак развивающихся дефектов изоляции ввода. Необходим контроль ввода данной фазы в течение следующего месяца. При достижении током небаланса уровня «тревоги» рекомендуется вывод выключателя в ремонт и проверка доступными методами контроля.

19.03.04 - 30.08.04

На рис.20 приведен тренд за все время измерений, прямая линия с 21.05 по 1.06 связана с отсутствием данных по причине отключения линии. Для отображения данных измерений использовалась новая программа с усреднением значений, позволяющая увидеть общий характер изменений и избежать скачкообразных всплесков.

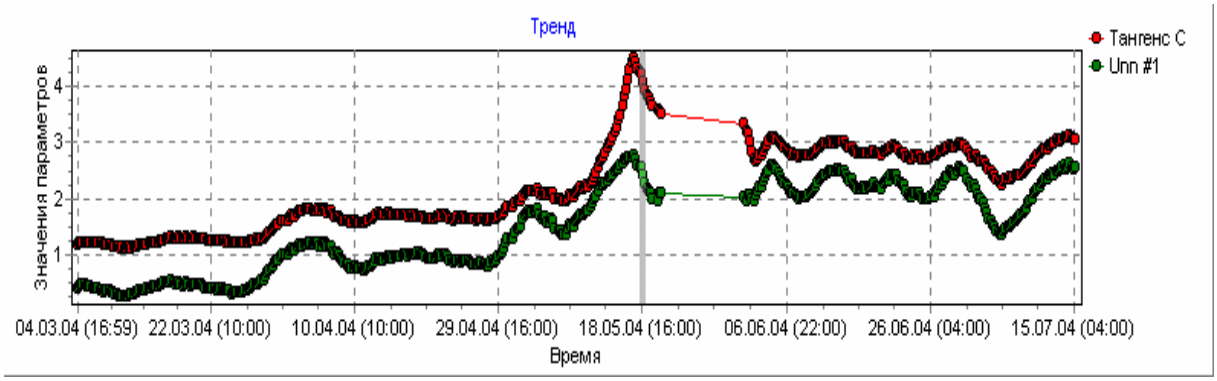


Рис. 20. Усреднение по 20-ти точкам

Краткий анализ данных

1. Как и прежде, наибольший вклад в изменение тока небаланса вносит величина тангенса фазы «С», рис.20. Тем не менее, можно отметить, что состояние изоляции с точки зрения тангенса угла потерь после его резкого увеличения 10-12 мая и достигшего пика 17 мая в 16.00 (связано с максимальной температурой около $+38^0$) после предпринятых мер по промывке изоляции с заменой масла стабилизировалось. Отмечались отдельные пики 4, 13, 21, 29 июня, что, вероятно, также связано с недельными колебаниями температуры (см. рис.21).

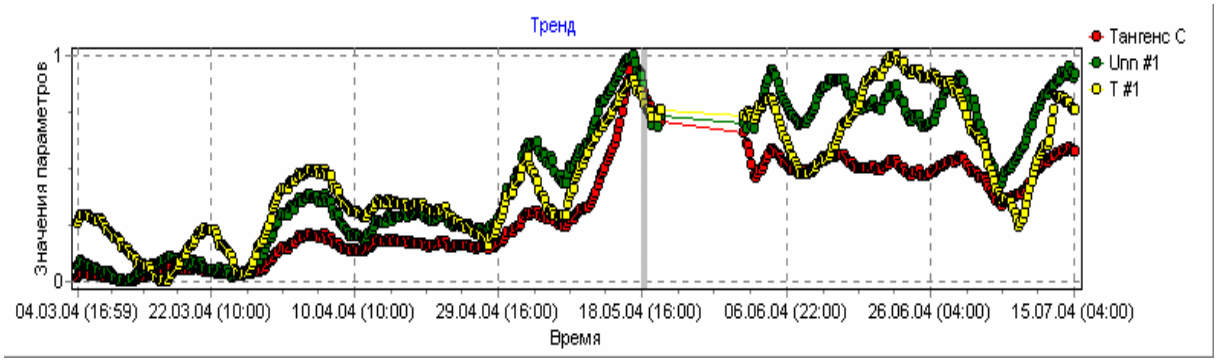


Рис.21. То же, что и на рис. 20, с добавлением тренда по температуре

2. Общая тенденция, полученная путем усреднения по максимально возможному количеству точек (99) приведена на рис.22. Очевидно некоторое снижение величин тока небаланса и, соответственно, тангенса фазы «С», что может быть обусловлено совместным влиянием как замедления процесса старения изоляции благодаря промывке и замене масла, так и общего снижения температурного фона (рис.23).

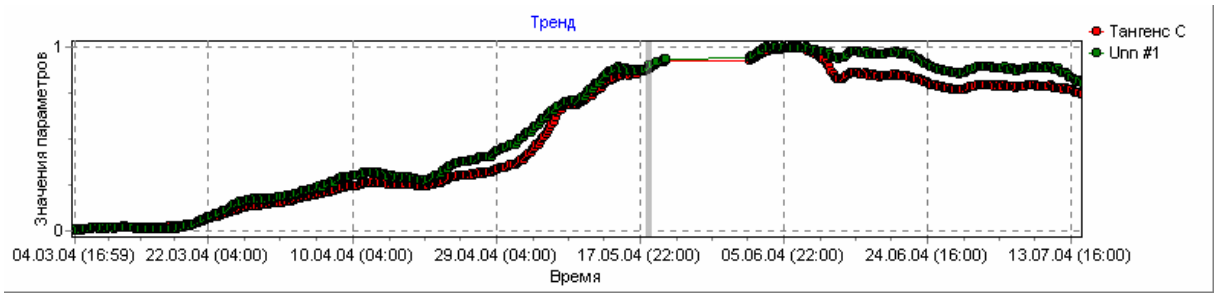


Рис.22. То же, что и на рис.20, усреднение по 99 точкам

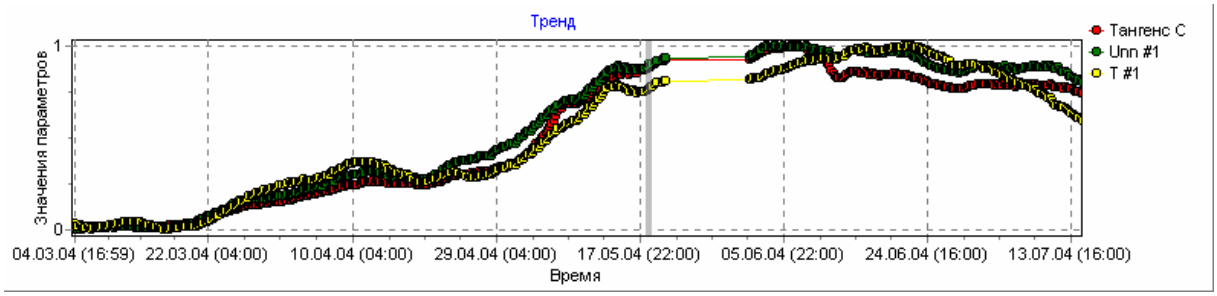


Рис.23. То же, что и на рис.20, с добавлением тренда по температуре

3. Исходя из вышеизложенного, на сегодняшний день состояние изоляции ввода ф.С можно считать удовлетворительным. Система R-1500 корректно реагирует на происходящие процессы, периодически сигнализируя о превышении первичного порога включением желтого светодиода («Warning» - «Внимание»). Очевидно, что продолжение мониторинга в данном случае весьма целесообразно для отслеживания скорости ухудшения состояния изоляции.

Выводы

- Система R1500 обладает высокой помехоустойчивостью и способна корректно измерять диэлектрические параметры изоляции вводов при изменении температуры окружающей среды в широких пределах даже в течение суток.
- Погрешность измерений тангенса угла потерь и емкости вводов приемлема.
- Благодаря высокой чувствительности и широким возможностям программы обработки и отображения результатов, получена возможность наблюдать за состоянием вводов и предпринимать действия в начальной стадии развития дефектов.
- В дальнейшем необходим всесторонний анализ полученных данных с целью лучшей интерпретации результатов измерения и идентификации дефектов.

Литература

1. Локшин М.В., Сви П.М. Измерение диэлектрических потерь высоковольтной изоляции.- М., Энергия, 1973.
2. Овсянников А.Г., Лазарев Е.А., Живодерников С.В. Система контроля изоляции высоковольтных вводов под рабочим напряжением. В сб. «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования», С.-Пб, 2000.
3. Lachman M.F., Walter W., Guggenberg P.A. On-line diagnostics of high-voltage bushings and current transformers using the sum current method. IEEE transactions on Power Delivery, Vol.15, No. 1, January 2000.
4. Соколов В.В., Ванин Б.В. Оценка и идентификация типичных дефектов и модель отказов вводов 110-750 кВ. Материалы 64-ой ежегодной конференции клиентов Doble, 1997, стр.3-3.1.