

Диагностические признаки для отбраковки вводов высокого напряжения с бумажно-масляной изоляцией

Аникеева М.А., Арбузов Р.С., Живодерников С.В., Лазарев Е.А.,
Овсянников А.Г., Панов М.А.

Филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС» - Новосибирская СПБ

Известно, что надежность вводов высокого напряжения во многом определяет надежность аппаратов, в которых они установлены, в силовых автотрансформаторах, шунтирующих реакторах и масляных выключателях. В соответствии с опросом СИГРЕ 12 % из общего числа отказов трансформаторов связаны с повреждениями вводов высокого напряжения [1]. В отечественной практике, исходя из статистических данных разных лет, этот показатель варьировал в пределах от 18 до 37 %. Основной причиной отказа вводов было повреждение изоляции. Напомним, что наиболее распространенным видом изоляции вводов с напряжением 110 кВ и выше является бумажно-масляная изоляция конденсаторного типа.

Для предупреждения аварийных отказов вводов применяются различные методы профилактического контроля. В соответствии с нормативным документом [1] методы диагностирования вводов можно разделить на две группы: применяемые на отключенном оборудовании и под рабочим напряжением. К первым относятся: визуальный осмотр, проверка давления масла в герметичных вводах, измерение диэлектрических характеристик (сопротивление, емкость и $tg\delta$) основной изоляции остова ($C1$) и последних слоев изоляции ($C3$). Производится также отбор проб масла для последующего физико-химического анализа по действующим методикам и нормам [2,3]. Новосибирской специализированной производственной базой электросетьсервиса (НСПБ) также измеряются токи поляризации по двум схемам: «прямой», когда испытательное постоянное напряжение прикладывается к токоведущей трубе, а ток измеряется с измерительного вывода ввода, и «обратной» схеме, в которой испытательное постоянное напряжение прикладывается к измерительному выводу ввода, а ток измеряется с токоведущей трубы.

Под рабочим напряжением можно производить дистанционный визуальный осмотр и контроль давления масла, тепловизионный контроль, и, при наличии устройств присоединения, измерение диэлектрических характеристик основной изоляции: Y , $tg\delta_1$ и $C1$ и их изменения во времени. В НСПБ

дополнительно к перечисленным диагностическим процедурам проводятся измерения интенсивности частичных разрядов (ЧР).

Прежде чем обобщать опыт НСПБ приведем несколько примеров из практики обследования вводов.

Пример 1. В соответствии с годовым заданием проводился тепловизионный контроль всего оборудования подстанции «Заря» Омского ПМЭС. Во время обследования автотрансформатора АТ-1 была зарегистрирована большая избыточная температура ввода 500 кВ фазы А (рисунок 1). АТ-1 отключили для экстренной замены ввода, но успели взять пробу масла из него. Провести какие либо другие измерения не удалось. Результаты хроматографического анализа пробы масла марки ГК показали, что только по сумме газов концентрация была близка к предельно допустимой (рисунок 2).

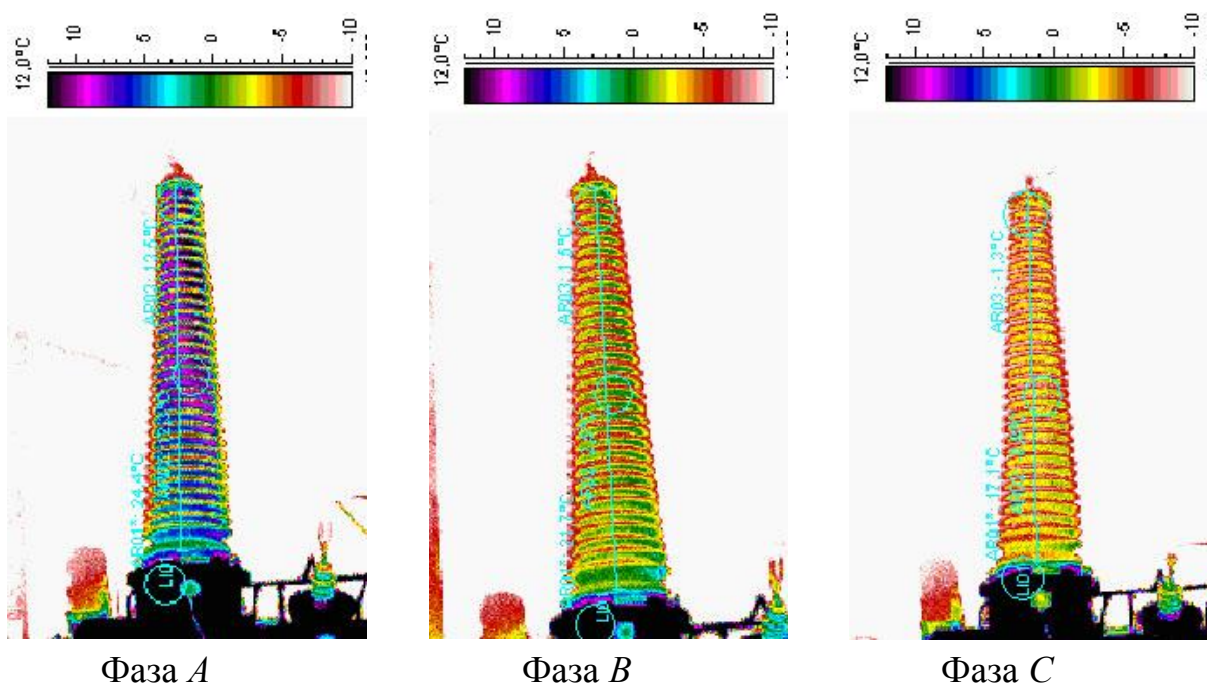


Рисунок 1 Термограммы вводов 500 кВ АТ-1

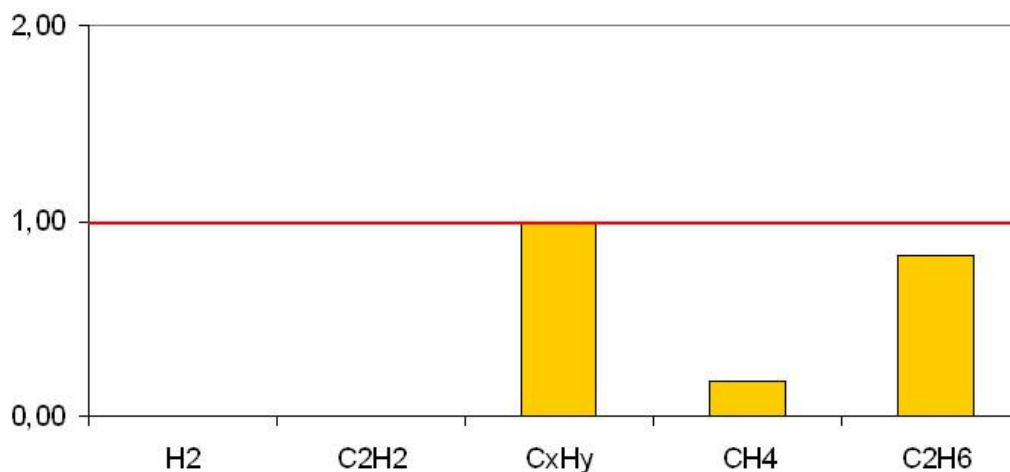


Рисунок 2 Относительное содержание газов, растворенных в масле ввода 500 кВ фазы А

Однако оптическая мутность масла в 10 раз превысила норму (рисунок 3).

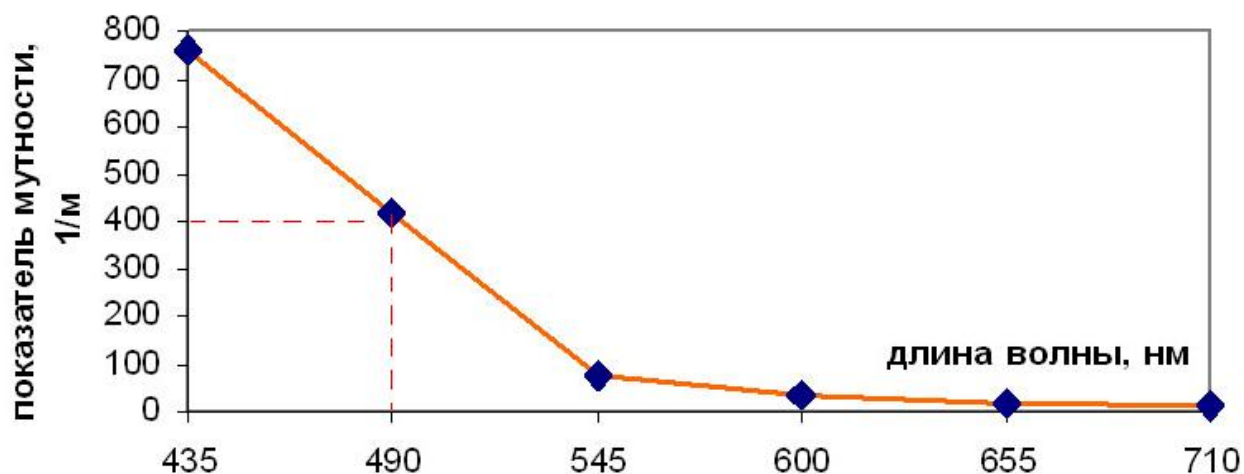


Рисунок 3 Спектральная зависимость поглощения масла из ввода 500 кВ фазы А

При демонтаже забракованного ввода от нижней фарфоровой крышки отвалился кусок фарфора. Осмотр скола показал, что в крышке была развитая трещина. Несмотря на правильный диагноз возникли вопросы и предположения. Почему, например, был нагрев в верхней части ввода? Возможно, возросли диэлектрические потери в изоляции ввода. Но тогда почему нагрев не сильно повлиял на концентрации растворенных газов? Была ли трещина в фарфоровой крышке сквозной к моменту демонтажа ввода, и не это ли обстоятельство привело резкому росту мутности (желтого налета на фарфоре не было)?

Пример 2. На подстанции “Дальневосточная-500” при оценке технического состояния автотрансформатора АТ-2 типа АОДЦТН-167000/500/220 на фазе В заметили достаточно мощные ЧР (рисунок 4).

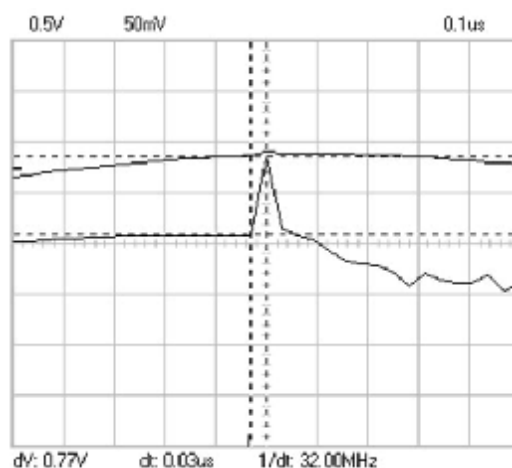


Рисунок 4 Сигналы ЧР на вводах 220 и 500 кВ фазы В

Признаками ЧР были короткий фронт (30 нс) и положительная полярность. При этом на стороне 500 кВ сигнал ЧР (640 пКл) в сотни раз больше, чем на стороне 220 кВ. Такое соотношение сигналов на вводах 220 и 500 кВ, говорило о том, что ЧР возникали во вводе 500 кВ. Это же подтвердилось в средних токах ЧР, приведенных на рисунке 5.

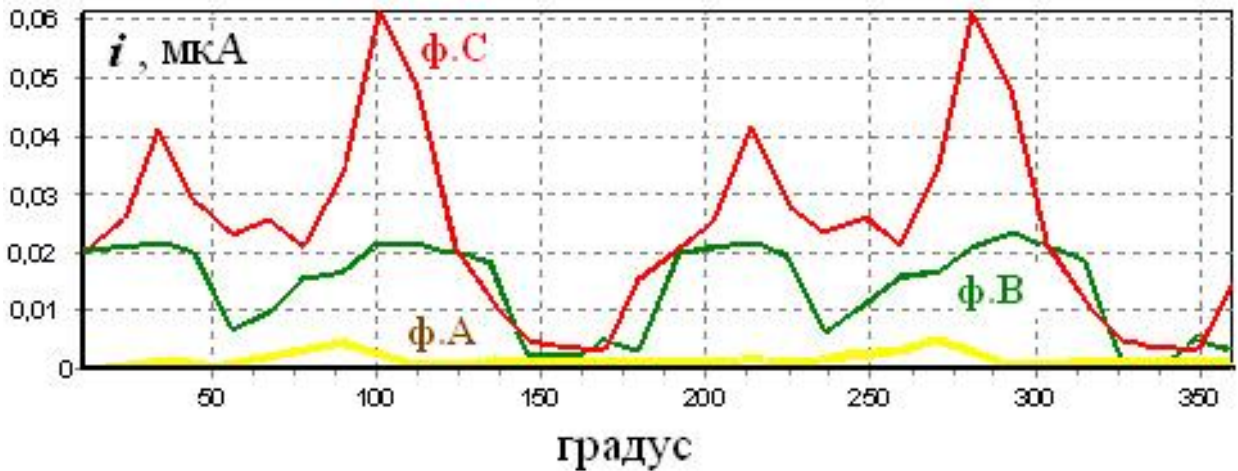


Рисунок 5 Фазовое распределение средних токов ЧР на стороне 500 кВ

Из всех вводов 500 кВ взяли пробы масла (марки ГК). Результаты хроматографического анализа (рисунок 6) показали небольшие превышения концентраций водорода и суммы газов, в т.ч. метана во вводах фаз *B* и *C* (зеленый и красный цвета на гистограмме), но в отличие от фазы *B*, кажущийся заряд ЧР во вводе фазы *C* не превышал 100 пКл.

В итоге по результатам двух диагностических действий был отбракован ввод фазы *B*, а ввод фазы *C* был поставлен на учащенный контроль газов.

Пример 3. При оценке технического состояния автотрансформатора АТ -1, типа АТДЦТН-125000/220/110 на подстанции “Научная - 220” взяли пробы масла и обнаружили следы ацетилена во вводе 220 кВ фазы *B*. При измерениях в этом вводе обнаружили ЧР с кажущимся зарядом порядка 100 пКл (рисунок 7).

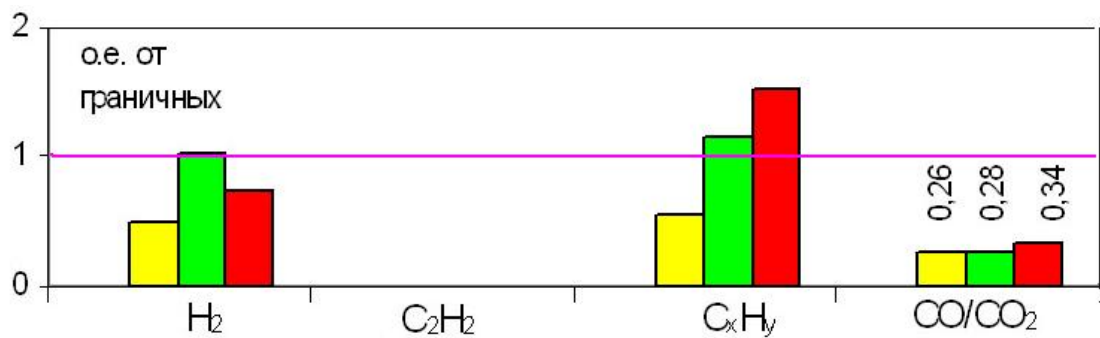


Рисунок 6 Относительное содержание газов, растворенных в масле вводов 500 кВ

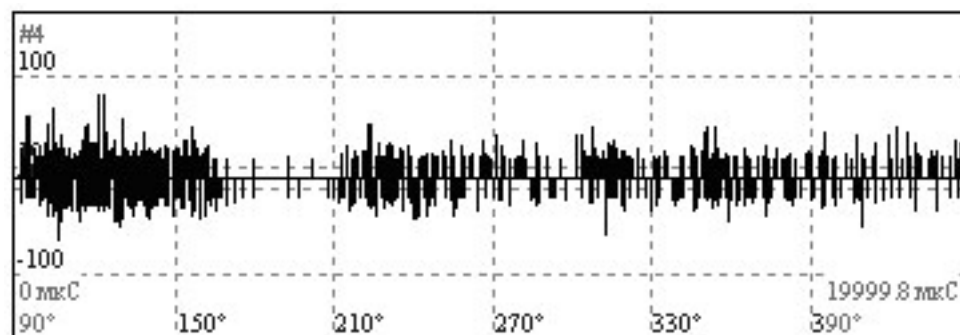


Рисунок 7 Сигналы ЧР во вводе 220 кВ фазы *B*

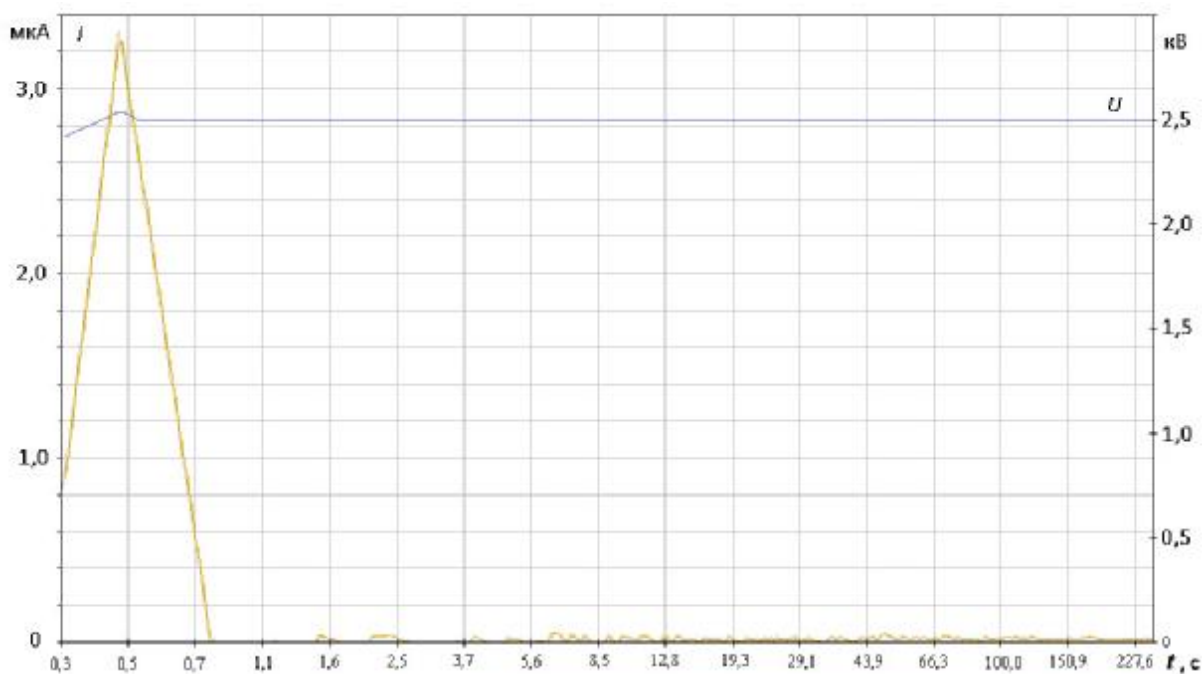
Токи абсорбции измерить не удалось из-за плохой погоды. Разборка «отбракованного» ввода подтвердила разрушающее действие ЧР (рисунок 8).



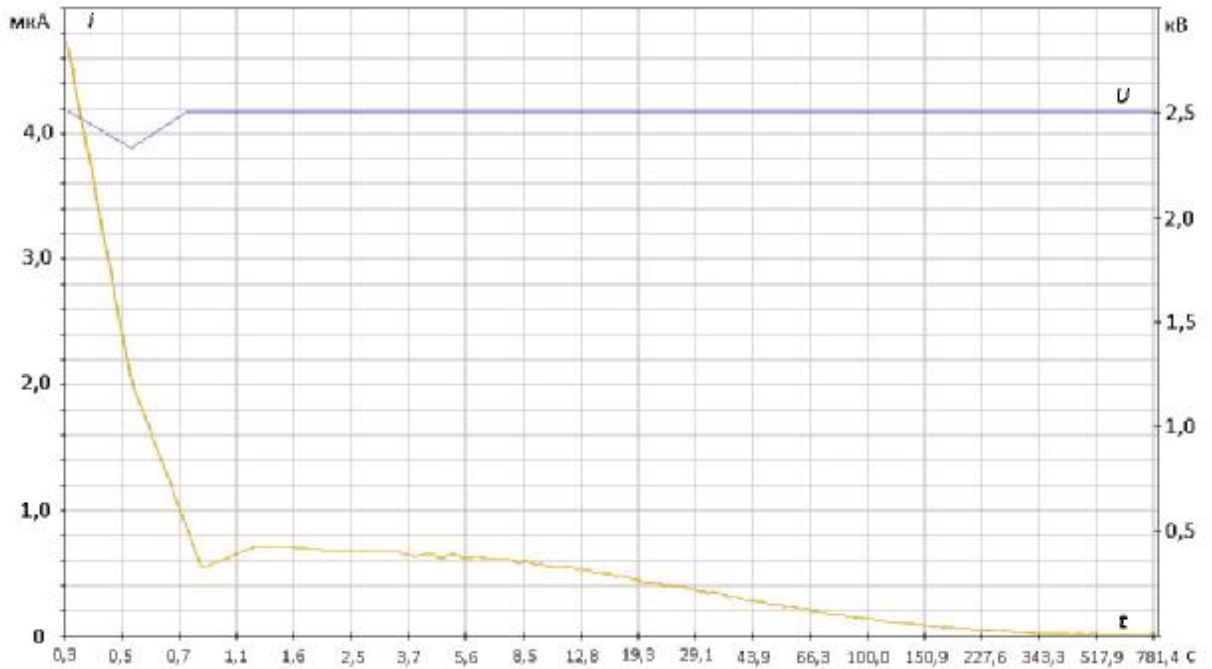
Рисунок 8 Следы ЧР в изоляции ввода

Пример 4. При оценке технического состояния шунтирующего реактора Р-514 на подстанции «Хабаровская - 500» выявились аномалии токов абсорбции (ТА) во вводе 500 кВ фазы С типа ГМРА-0-500-315, 1984 г. выпуска (рисунок 9). Разборка отбракованного ввода подтвердила правильность отбраковки (рисунок 10): обнаружен желто-бурый налет по всей внутренней поверхности нижней крышки, черный налет на внутренней поверхности верхней крышки, треки и прогары бумажно-бакелитового кожуха и др.

Пример 5. По трендам величины $tg\delta$ и температуры был отбракован ввод 110 кВ масляного выключателя. Измерения проводились в течение года в режиме мониторинга. Разборка ввода показала сильные повреждения внутренних слоев остова частичными разрядами, а лабораторные анализы показали, что влагосодержание бумажной изоляции было порядка 8 % [5].



а



б

Рисунок 9 Токи абсорбции во вводе 500 кВ фазы С в обратной (а) и прямой (б) схемах испытаний



Рисунок 10 Внешний вид покрышек ввода 500 кВ фазы С

Приведенные выше примеры примечательны тем, что уверенность в правильном диагнозе состояния вводов давали либо отдельные показатели, намного превышающие предельные значения, приведенные в нормах (примеры 1,2 и 4), либо умеренные отклонения по двум и более показателям (примеры 3 и 5).

В целом, за период с 2002 по 2006 г.г. (5 лет) специалистами НСПБ было обследовано 367 вводов классов напряжения 110, 220 и 500 кВ. К сожалению,

эти обследования проводились по случаю той или иной заказанной работы, т.е. непреднамеренно. В более или менее полном объеме обследование состояния вводов выполнялось в рамках оценки технического состояния автотрансформатора или шунтирующего реактора. Но в большинстве случаев это мог быть только «тепловизионный контроль», «измерения ЧР» или «измерения токов абсорбции». Поэтому при диагнозе состояния вводов приходилось опираться на неполную диагностическую информацию, что, конечно же, снижало достоверность и категоричность выводов относительно дальнейших действий с проверенными вводами.

По результатам обследований были даны следующие рекомендации.

- ∅ Проводить учащенный ФХА масла – 48 вводов, в том числе в 36 случаях такая рекомендация была дана на основе отклонений показателей ФХА масла и в 12 случаях – по ФХА и ЧР.
- ∅ Провести плановую замену – 45 вводов, в т.ч. 32 (ФХА), 4 (ФХА и ЧР), 6 (ТА) и 3 (ФХА и ТА).
- ∅ Экстренная замена – 8 вводов, в т.ч. 1 (ФХА и термография) и 7 (ТА).

Сформировавшееся мнение об эффективности тех или иных методов диагностики состояния вводов, можно изложить в следующем виде.

1. Анализы масла (в т.ч. по мутности) остаются основным и надежным методом диагностики, особенно в начальных стадиях развития дефектов в изоляции вводов, хотя, нормы на характеристики масла, учитывая преобладающий процент браковки, кажутся излишне «жесткими».
2. Регистрация ЧР при условии помехозащищенности и надежной интерпретации результатов измерений безусловно надо отнести к хорошим диагностическим инструментариям, особенно в начальных стадиях развития дефектов в изоляции вводов. За весь период обследований нами была допущена только одна ложная браковка ввода, когда искрение в резьбовом соединении было принято за мощные ЧР.
3. Термография дает пользу не всегда, но она необходима уже потому что проста в исполнении.
4. Измерение токов абсорбции, является достаточно надежным инструментом для выявления желто-бурого налета на поверхности нижней фарфоровой крышки на той стадии, когда этот налет приобретает некоторую прово-

димось. Конечно, этот дефект может быть выявлен и при снижении величины $tg\delta$, измеренного под рабочим напряжением. Но если на контролируемом оборудовании нет стационарного устройства присоединения, метод токов абсорбции предпочтителен, вследствие простоты и безопасности измерений. В целях поиска дополнительных критериев оценки состояния изоляции вводов в МЭИ была проведена обработка данных НСПБ [6]. Анализ кривых спада тока абсорбции во времени проводился циклическим применением метода наименьших квадратов и дал результаты, приведенные в таблице. Наличие трех экспонент с большой вероятностью указывало на присутствие желтого налета на внутренней поверхности нижней фарфоровой крышки.

Наличие экспонент и их постоянные времени	Класс напряжения, кВ	
	220	500
Нет экспонент	28	32
1 экспонента ($T_1 = 10 - 50$ с)	0	2
2 экспоненты ($T_2 = 100 - 500$ с)	0	3
3 экспоненты ($T_3 = 2000 - 20000$ с)	6	5
Всего	34	42

В итоге работы в НСПБ сформировались следующие признаки отклонения от нормального состояния изоляции вводов.

1. Анализы масла: достижение предельных значений (в т.ч. мутности) по нормативным документам.
2. Токи абсорбции: резкое различие в кривых при смене полярности, длительность спада тока более нескольких минут и наличие трех экспонент однозначно говорят о присутствии желтого налета на внутренней поверхности нижней фарфоровой крышки.
3. ЧР: при интенсивности более 100 пКл обязательно привлечение других методов диагностики; кажущийся заряд выше 1 нКл говорит о критическом состоянии.
4. Термография: превышение температуры ввода, по сравнению с вводами других фаз, на один градус и более.

Литература

1. E. Gulski, J. Smith, R. Schomber, J. Slangen, P. Schicarski. *Condition Assessment Model for Power Transformers /Proc. 14th ISH, Beijing, 2005. Paper F-07.*

2. Объем и нормы испытаний электрооборудования/ Под общей редакцией Б.А.Алексеева, Ф.Л.Когана, Л.Г. Мамиконянца. – 6-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 1998.
3. Методические указания по диагностике состояния изоляции высоковольтных вводов 110-750 кВ/ АО «Мосизолятор». - М.: 1994 г.
4. Методические указания по измерению оптической мутности трансформаторного масла. Первая редакция стандарта организации. – М., ОАО «ФСК ЕЭС» 2004 г.
5. Живодерников С.В., Русов В.А., Козлов В.И. Мониторинг состояния маслонаполненных вводов под рабочим напряжением / В сб. Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып. 28 /Под ред. А.И. Таджикибаева, В.Н. Осотова. – СПб: ПЭИПК, 2005. – С. 379-395.
6. Кошелев М.А., Кривов С.А., Пинталь Ю.С. и др. Поиски методики анализа абсорбционных характеристик изоляции силовых трансформаторов / В сб. трудов Координационного совета специалистов при УрЦОТ «Современное состояние и проблемы диагностики силового электрооборудования». – Новосибирск: НГТУ, 2006. – С. 79-83.