

Критерии оценки технического состояния маслонеполненных вводов и измерительных трансформаторов по скорости роста концентраций растворенных газов

Давиденко Ирина Васильевна к.т.н, доцент, Уральский государственный технический университет – УПИ, кафедра Автоматики и управления в технических процессах, iera@r66.ru, 620057 Екатеринбург, а/я 261, тел/факс 343-336-52-27.

Данный доклад посвящен разработке критерия оценки динамики изменения концентраций газов, растворенных в масле высоковольтных вводов и измерительных трансформаторов. Критерий определялся с учетом конструктивных особенностей и срока эксплуатации оборудования. Исследовались факторы, по которым необходимо дифференцировать допустимые значения скоростей изменения содержания газов в масле: вид защиты и марка масла, класс напряжения, срок эксплуатации, тип изоляции и пр. Результаты расчета допустимых и предельно-допустимых значений скоростей роста газов, выполненные с учетом найденных факторов влияния, планируется использовать в базе знаний ЭДИС «Альбатрос» для диагностики вводов и измерительных трансформаторов с 2009 г. Полученные результаты могут быть использованы также для оценки трендов в системах мониторинга маслонеполненного оборудования.

Согласно критерию скорости нарастания газов в масле силовых трансформаторов, если относительная скорость нарастания газа превышает 10% в месяц, то трансформаторы относятся к группе с быстро развивающимся дефектом [2]. В таком виде этот критерий не учитывает вида газа, конструктивных особенностей трансформатора и срока его эксплуатации. Кроме того, следует отметить, что критерии оценки результатов ХАРГ для силовых трансформаторов нельзя переносить на диагностику вводов и измерительных трансформаторов, так как у них есть свои особенности в причинах возникновения дефектов, конструкции, режимах эксплуатации, в т.ч. разные соотношения объемов бумага/масло.

В действующих на сегодня в министерстве энергетики РФ нормативных документах [1,2] по оценке состояния маслонеполненных высоковольтных вводов скорость нарастания газов не регламентирована. В методических указаниях ЗАО «Мосизолятор» [3], действующих по настоящее время в концерне «Росэнергоатом», приведен критерий отбраковки герметичных вводов по абсолютным скоростям нарастания концентраций газов в месяц. Согласно этому критерию, если одна из абсолютных скоростей нарастания по H_2 , C_2H_2 , $\Sigma CxHy$ превышает свое предельно-допустимое значение, приведенное в табл.1, то ввод подлежит отбраковке.

Таблица.1- Предельно-допустимые значения абсолютных скоростей нарастания газов в герметичных вводах

Класс напряжения, кВ	110-150		220-330		500-750	
	T-750	ГК	T-750	ГК	T-750	ГК
Марка масла						
Vабс(H_2), ppm/мес.	30	75	7,5	18	3,0	7,5
Vабс(C_2H_2), ppm/мес.	10	25	2,5	6,0	1,0	2,5
Vабс ($\Sigma CxHy^*$), ppm/мес.	5	5	3,5	3,5	2,0	2,0

$\Sigma CxHy^*$ - сумма углеводородных газов, включая C_2H_2

В международных нормативных документах [4,5] критерий скоростей для маслонеполненных вводов не рассматривается.

В действующих на сегодня нормативных документах как в России [1,6], так и за рубежом [4] скорость нарастания газов в маслonaполненных измерительных трансформаторах (ИТ) не регламентирована.

Использование критерия скорости нарастания концентрации газов для оценки технического состояния маслonaполненного энергооборудования (МЭО), безусловно важно, так как в отличии от критерия граничных концентраций позволяет:

- оценить степень опасности развивающегося повреждения;
- отделить случаи превышения нормативных значений концентраций газов, вызванные эксплуатационными и технологическими факторами от случаев с развивающимися дефектами.

Например, в эксплуатации бывают случаи доливки МЭО некачественным маслом. Кроме того, известно, что при испытании вводов на заводе-изготовителе повышенным напряжением в толще изоляционного остова образуется некоторое количество водорода и углеводородных газов, которые постепенно выходят в свободный объем масла во вводе. По данным ОАО «Мосизолятор» [7] скорость диффузии такова, что этот процесс может продолжаться от 0,5 до 2 лет. В приведенных выше случаях, как правило, концентрации газов превышают свои нормативные значения, и выведение вводов из работы только на основании превышения концентраций газами своих нормативных значений было бы ошибкой.

Методика исследования факторов, влияющих на скорости изменения концентрации газов и оценка силы их влияния

Исследование проводилось по информации, накопленной в БД ЭДИС “Альбатрос” за 18 лет ее эксплуатации в энергокомпаниях России. Из 30 энергосистем, где она используется, были отобраны данные 10 крупных энергокомпаний с наличием весомых объемов результатов ХАРГ, достаточной мерой доверия к этой информации, зависящей как от качества организации таких работ на предприятиях, квалификации персонала, производящего измерения, так и от совершенства применяемых методов и средств измерения. Исследование проводилось с помощью блока дисперсионного анализа и расчета предельных и предельно-допустимых значений, входящего в состав ЭДИС «Альбатрос», содержащего адаптированную к отрасли авторскую методику проведения таких исследований. Общая мощность выборок: 14897 результатов ХАРГ высоковольтных вводов, 4184 ТТ и 2866 ТН.

Сначала в массивах данных были проведены усреднения значений за межконтрольный период МЭО, с учащенной периодичностью контроля. Затем для каждого объекта рассчитывались относительные скорости изменения концентраций газов в процентах в месяц. Чувствительность обнаружения концентраций газов хроматографом находится на уровне 10^{-4} - 10^{-5} об.%. Согласно [8] систематическая погрешность измерения концентраций газов, растворенных в масле, может достигать 19,7%. Значение концентрации газа, обнаруженного на уровне порога чувствительности обладает максимальной погрешностью и согласно [8] она достаточно большая. Если в предыдущем замере рассматриваемый газ был ниже или на уровне своего порога обнаружения, то рассчитанная относительная скорость его изменения будет еще дальше от реального значения, чем концентрация. Поэтому скорость рассчитывалась при условии, что в предыдущем замере концентрация газа превышала чувствительность хроматографа, по крайней мере, в два раза.

Далее согласно методике, разработанной автором, проводилось “ленивое” сглаживание выбросов максимальных значений и сглаживание данных выборок скользящими медианами. При расчетах данные в выборках распределялись медианным способом по максимально возможному количеству интервалов. Эти операции для выборок скоростей более эффективны, чем для выборок концентраций газов, так как значения в выборках скоростей

характеризуются большим разбросом и диапазоном изменения. Кроме того, определялись мощность, математическое ожидание и дисперсия для каждой выборки, строились диаграмма частот наблюдения на интервале и интегральная функция распределения, а также зависимость математического ожидания скорости изменения концентрации от срока эксплуатации.

Для решения вопроса о необходимости дифференцирования допустимых значений (ДЗ) скоростей роста концентраций газов по какому-либо фактору требуется оценить силу его влияния на рассматриваемые параметры. Для оценки влияния факторов на скорости изменения газов, а значит и их ДЗ, предлагается использовать дисперсионный анализ. Дисперсионный анализ сводится к сравнению остаточной и факторной дисперсий по критерию Фишера-Снедекора для определенного уровня значимости λ .

Вычисляется дисперсия на каждом уровне фактора (остаточная) по формуле:

$$D_R = \frac{\sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^{K_i} (x_{ik} - \bar{M}_i)^2}{\sum_{i=1}^L K_i - L}, \quad (1)$$

где \bar{M}_i – математическое ожидание i -го уровня фактора;

L - количество уровней фактора;

x_{ik} – значение признака на i -ом уровне;

K_i - мощность i -го уровня фактора.

Далее находится межгрупповая (факторная) дисперсия по формуле:

$$D_S = \frac{\sum_{i=1}^L K_i * (\bar{M}_i - \bar{M})^2}{L - 1}, \quad (2)$$

где \bar{M} – математическое ожидание всего массива данных.

Затем рассчитывается отношение найденных дисперсий:

$$W = \frac{D_S}{D_R}, \quad (3)$$

Согласно критерия Фишера-Снедекора, если выполняется неравенство:

$$W > W_\lambda, \quad (4)$$

где W_λ - граница правой критической области критерия для уровней значимости λ .

то рассматриваемый фактор оказывает существенное влияние на исследуемый параметр.

Разработка критерия скорости нарастания газов для маслонеполненных высоковольтных вводов

Скорость изменения газов является величиной, рассчитанной по их концентрациям, поэтому логично предположить, что те факторы, которые не влияют на концентрации газов во вводах и ИТ, не влияют и на скорость их изменения. Предыдущими исследованиями [9] выявлено, что наиболее сильное влияние на содержание газов в масле вводов оказывает тип защиты масла, класс напряжения, срок эксплуатации, марка масла и назначение ввода. Факторы перечислены по убыванию силы их воздействия. Ниже рассмотрено влияние этих факторов на скорость изменения концентраций газов.

Сначала проверялось влияние **типа исполнения ввода** на скорости изменения концентраций газов. Исследуемый фактор влияния – тип исполнения, имеет два уровня: герметичное и негерметичное. Расчет проводился для вводов 110 кВ масляных выключателей с маслом Т-750 и сроком службы старше 10 лет. Наиболее мощная выборка скоростей (843 штук) получена из базы данных ОАО «ДРСК». Сравнение результатов расчета отношения дисперсий со значениями критических областей показали, что негерметичные вводы имеют скорости роста углеводородных газов, особенно водорода, ниже, чем герметичные, так как эти газы частично уходят в атмосферу. Выборки негерметичных вводов с большими сроками службы имеют величины скорости образования СО выше, чем выборки герметичных вводов. Это говорит о том, что процесс деструкции твердой изоляции у негерметичных вводов с возрастом становится интенсивнее. Следовательно, допустимые и предельно-допустимые значения (ДЗ и ПДЗ) скоростей желательнее разделить по типу исполнения вводов на: герметичные и негерметичные для всех газов, кроме C_2H_2 и C_2H_6 , CO_2 .

Далее исследовалось влияние **назначение ввода** на скорости изменения концентрации газов. Фактор влияния имеет два уровня: трансформаторные вводы и вводы масляных выключателей. В выборку отбирались негерметичные вводы 110 кВ с маслом Т-750 и сроком службы старше 10 лет. Из проведенного дисперсионного анализа видно, что скорости газов не зависят от назначения вводов, поэтому разделять их ДЗ и ПДЗ не имеет смысла.

Затем проверялось влияние **класса напряжения** на скорости изменения концентрации газов. Расчет проводился для негерметичных вводов для классов напряжения 110 и 220 кВ и для герметичных вводов для классов напряжения 110, 220, 500, 1150 кВ вводов с маркой масла Т-750 и сроком эксплуатации от 25 до 30 лет. Мощность выборки по ОАО «ДРСК» – 389 штук. По полученным данным можно сделать вывод, что от класса напряжения зависят скорости изменения концентраций H_2 , CH_4 , C_2H_4 , причем H_2 сильнее. В негерметичных вводах значения скоростей для класса напряжения 110 кВ выше, чем для 220 кВ. При анализе влияния класса напряжения на скорости роста газов герметичных вводов трансформаторов получаем более сильную зависимость C_2H_4 , C_2H_6 и более слабую зависимость H_2 и CH_4 , по сравнению с негерметичными вводами. Если сравнить математические ожидания (МО) скоростей роста газов герметичных вводов, то самые низкие скорости у вводов 220 кВ, скорости же как вводов 110, так и 500 и 1150 кВ выше. Возможно, разница между значением скоростей вводов 110 и 220 кВ связана с разным уровнем эксплуатации оборудования разных классов напряжения, а разница между значением скоростей вводов 220 и 500 и 1150 кВ объясняется разницей в нагрузке и внешними влияниями. Исходя из проведенного анализа по имеющимся на сегодня данным, дифференцировать ДЗ и ПДЗ скоростей образования газов для маслonaполненных вводов по классу напряжения необходимо для H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 .

Далее исследовалось влияние **марки масла** на скорости изменения концентрации газов для негерметичных вводов 220 кВ масляных выключателей, находящихся в эксплуатации от 5 до 22 лет по выборке ОАО «ДРСК». Мощность выборки - 275 штук. Из результатов дисперсионного анализа следует, что в негерметичных вводах только скорости нарастания СО, H_2 и CH_4 значимо зависят от марки масла для уровня значимости 0,05 и не проходят уровень значимости 0,01. Далее проводился дисперсионный анализ влияния марок масла на скорости изменения содержания газов в масле герметичных трансформаторных вводов 220 и 500 кВ. Для герметичных вводов значение W отношения межгрупповой и остаточной дисперсий для оксидов углерода ниже, а для углеводородных газов и водорода несколько выше, чем для негерметичных вводов. Если сравнить МО скоростей изменения концентраций газов для разных марок масел, то для масла ГК незначительно выше скорости углеводородных газов и водорода и несколько ниже скорости оксидов, чем для Т-750. Исходя из полученных результатов влияния марок масел на скорости образования газов во вводах целесообразно разделить ДЗ и ПДЗ скоростей только для трех газов СО, H_2 и CH_4 .

Далее проверялось влияние *срока службы* для выборки негерметичных вводов масляных выключателей 110 кВ ОАО «ДРСК» с маркой масла Т-750. Исследуемый фактор влияния – срок эксплуатации был разделен на 4 уровня: 5-15 лет, 15-22 лет, 22-29 лет, свыше 29 лет. Мощность выборки - 761. Сравнивая наблюдаемые значения W скоростей изменения концентраций газов с критическими значениями W_{λ} , делаем вывод, что скорости всех газов, кроме ацетилена заметно меняются в зависимости от срока эксплуатации ввода. Для выборок герметичных трансформаторных вводов 220 и 500 кВ с маркой масла ГК мы получаем более сильную зависимость от срока эксплуатации для H_2 и углеводородных газов и несколько слабее зависимость для оксидов углерода, чем в негерметичных вводах. Полученная разница значений скоростей объясняется свойствами масла марки ГК и тем, что в герметичных вводах масло окисляется медленнее. Следовательно, целесообразно дифференцировать ДЗ и ПДЗ скоростей роста газов от срока эксплуатации для высоковольтных вводов.

Сравнив величины наблюдаемых значения W скоростей газов, полученные при анализе различных факторов, расположим факторы, влияющие на значения скоростей концентраций газов по силе их влияния в следующем порядке: тип исполнения ввода, срок эксплуатации, класс напряжения, марка масла.

Исследования показали необходимость разделения ДЗ и ПДЗ скоростей изменения концентраций газов в масле высоковольтных вводов по:

- типу исполнения ввода
(на герметичные и негерметичные для H_2, C_2H_4, CH_4);
- сроку эксплуатации
(на 3 группы: до 7 лет, 7-17 лет, старше 17 лет для всех газов);
- марке масла
(на марки Т-750 и ГК для H_2, CH_4 и CO);
- классу напряжения
(на 110, 220-330, 500-750, 1150 для $H_2, CH_4, C_2H_4, C_2H_6$).

Далее ДЗ и ПДЗ скорости роста газов определялось по интегральной функции F_x на двух уровнях, определяемых значениями потоков повреждаемости вводов. При этом, ДЗ скорости, обозначает “зону риска”, когда в оборудовании фиксируется развитие повреждения и оно ставится на учащенный контроль. ПДЗ скорости обозначает “зону опасности”, когда в оборудовании происходит опасно быстрое развитие дефекта, требующее принятия срочных решений и/или действий, например, выводятся из работы во избежание отказов. В табл.2 приведены значения уровней интегральной функции распределения, используемые для определения ДЗ и ПДЗ скоростей роста газов в маслonaполненных вводах, в зависимости от срока эксплуатации.

Таблица 2 - Уровни интегральной функции распределения, используемые для определения ДЗ и ПДЗ скоростей роста газов в маслonaполненных вводах

Уровни интегральной функции	Сроки эксплуатации, гг		
	до 7	7-17	свыше 17
F_x для ПДЗ	99	99	99
F_x для ДЗ	97,5	96,3	96,3

Разработка критерия скорости нарастания газов для маслonaполненных измерительных трансформаторов

Как и в предыдущем разделе полагаем, что те факторы, которые не влияют на концентрации газов в ИТ, не влияют и на скорость их изменения. Предыдущими исследованиями [10] было показано, что факторы, влияющие на значения концентраций газов в ИТ по силе их влияния в следующем порядке:

- назначение ИТ;
- для ТН - марка масла, срок эксплуатации;
- для ТТ типа ТФЗМ - класс напряжения, срок эксплуатации, марка масла;
- для ТТ с конденсаторным типом изоляции - вид защиты масла, марка масла, срок эксплуатации.

Так как ХАРГ ИТ проводится реже, не так давно, как для силовых трансформаторов и вводов, и не во всех энергосистемах, для проведения дисперсионного анализа влияния всех перечисленных факторов на скорости роста газов массив данных оказался недостаточен. Поэтому ниже приведены результаты дисперсионного анализа влияния факторов на скорости роста газов по ТТ типа ТФЗМ и ТН.

Сначала проверялось влияние *назначения ИТ* на скорости изменения концентрации газов. Исследуемый фактор влияния имеет два уровня: трансформаторы тока и напряжения. Расчет проводился для ИТ 110 кВ со свободным дыханием с маслом Т-750 и сроком службы 16-22 лет. Наиболее мощная выборка скоростей (293 штуки) получена из базы данных ОАО «Тюменьэнерго». Из результатов расчета отношения дисперсий и значения критических областей видно, что влияние назначения ИТ на скорости изменения концентраций значительно для всех газов.

Далее исследовалось влияние *марки масла* на скорости изменения концентрации газов. Исследуемый фактор влияния – марка масла, имеет четыре уровня: ГК, ТКп, Т-750, остальные марки масла. Расчет проводился на данных ОАО «Тюменьэнерго». Выборка по ТТ 110 кВ типа ТФЗМ (негерметичных) и сроком службы 4-14 лет составила 179 штук, а выборка по ТН типа НКФ (негерметичных) и сроком службы до 14 лет -156 штук. Из анализа полученных данных можно сделать вывод, что марка масла влияет на значение скорости изменения концентраций газов ИТ, причем влияние на ТТ, значительно, чем на ТН. Влияние марки масла на скорости изменения концентраций значительно для всех газов.

Далее проверялось влияние *срока службы* на скорости роста газов в масле ИТ. Исследуемый фактор влияния – срок эксплуатации был разделен на 4 уровня: 0-12 лет, 12-18 лет, 18-26 лет, свыше 26 лет. По результатам дисперсионного анализа выборки ТФЗМ -110 кВ (негерметичных) с маркой масла Т-750 (238 штук) и выборки НКФ (негерметичных) с маркой масла Т-750 (214 штук) делаем вывод, что скорости газов заметно меняются в зависимости от срока эксплуатации ИТ. По трансформаторам тока эта зависимость более выражена.

Последним проверялось влияние *класса напряжения* на скорости роста газов в масле ТТ. Исследуемый фактор – класс напряжения был разделен на 2 уровня: 110 кВ, 220 кВ и выше. Дисперсионный анализ проводился по выборке ТТ типа ТФЗМ (негерметичных) со всеми марками масел, кроме ГК и ТКП и сроком эксплуатации старше 14 лет. Мощность выборки - 342. Выборка получена по данным ОАО «Тюменьэнерго». В результате анализа можно сделать заключение, что значения скоростей газов ТТ типа ТФЗМ заметно зависят от класса напряжения.

Сравнив величины наблюдаемых значения W скоростей газов, полученные при анализе различных факторов, расположим факторы, влияющие на значения скоростей концентраций газов по снижению силы их влияния:

- для ТН - срок эксплуатации, марка масла;
- для ТТ типа ТФЗМ - классу напряжения, срок эксплуатации, марка масла.

Исходя из проведенного анализа можно по аналогии предположить, что для ТТ с конденсаторным типом изоляции факторы, влияющие на скорости концентраций газов расположатся по снижению силы их влияния в следующем порядке: вид защиты масла, срок эксплуатации, марка масла.

В результате проведенного исследования факторов, влияющих на концентрации газов, растворенных в масле ИТ, а также силы их влияния сделаны выводы о целесообразности дифференцировать ДЗ и ПДЗ:

- для ТН по

- сроку эксплуатации для C₂H₄, CO, CO₂ (до 3 лет, 3-18 лет, 18-30 лет, старше 30 лет);
- марке масла для H₂, C₂H₄, CO, CO₂ (ГК, ТКП, остальные марки);
- для ТТ типа ТФЗМ по
 - классу напряжения (110, 220-500 кВ) для всех газов;
 - сроку эксплуатации (до 3 лет, 3-12 лет, 12-20 лет, 20-29 лет, старше 29 лет) для всех газов кроме C₂H₂;
 - марке масла для H₂, C₂H₆, CO, CO₂ (ГК, ТКП, остальные марки);
- для ТТ с конденсаторным типом изоляции по
 - виду защиты масла (пленочная, со свободным дыханием);
 - сроку эксплуатации для C₂H₄, CO, CO₂ (до 3 лет, 3-12 лет, 12-20 лет, старше 20 лет);
 - марке масла для H₂, C₂H₄, CO, CO₂ (ГК, ТКП, остальные марки).

В табл.3 приведены значения уровней интегральной функции распределения, используемые для определения ДЗ и ПДЗ скоростей роста газов в ИТ, в зависимости от вида оборудования.

Таблица 3.- Уровни интегральной функции распределения, используемые для определения ДЗ и ПДЗ маслonaполненных ИТ 110-500 кВ

Уровни интегральной функции	Виды оборудования		
	ТН 110-500 кВ	ТТ 110 кВ	ТТ 220-750 кВ
F_x ДЗ	98,5	99	97,5
F_x ПДЗ	97,0	97,5	95,0

Ограниченный объем статьи не позволяет привести все ДЗ и ПДЗ скоростей роста газов во вводах и ИТ, разделенные по конструктивным особенностям и сроку эксплуатации. Из рассчитанных ДЗ и ПДЗ скоростей роста газов, разделенных согласно найденным факторам влияния в табл.4 выбраны минимальные и максимальные значения по двум газа.

Таблица 4.- ДЗ и ПДЗ скоростей роста газов маслonaполненных вводов и ИТ 110-500 кВ

Уровни интегральной функции	Виды оборудования		
	ТН 110-500 кВ	ТТ 110 кВ	Вводы герметичные
CН ₄ ДЗ	1-3	8-20	7-17
CН ₄ ПДЗ	4-11	16-53	16-48
СО ₂ ДЗ	6-17	7-15	4-19
СО ₂ ПДЗ	20-35	12-55	12-45

По приведенным в табл.4 данным видно, на сколько сильно влияние конструктивных особенностей и срока службы на значения скоростей. Очевидно, что используя критерий 10% роста скорости в месяц введенный для силовых трансформаторов, либо другой, не дифференцированный критерий, мы получали бы в одних случаях ложную отбраковку, а в других могли пропустить оборудование с повреждением. Конечно, использовать для оценки технического состояния оборудования несколько десятков пороговых значений вместо одного (10%) более сложно, но для этого в современных условиях существует программное обеспечение.

Выводы

Критерий скорости важен для подтверждения наличия развивающегося дефекта и оценки степени его опасности. Применение двух уровней нормирования скоростей ДЗ и ПДЗ позволит выделить объекты с наиболее быстро развивающимися, а значит более опасными дефектами для принятия незамедлительных решений.

Использование нормируемых значений скоростей, дифференцированных по конструктивным особенностям оборудования, сроку эксплуатации и виду газа позволит снизить ошибки, как ложной отбраковки, так и невыявления аварийных вводов и ИТ. Например, если при наличии концентраций газов выше своих ДЗ и ПДЗ отсутствует скорость нарастания газов, то можно предположить отсутствие дефекта, а причину высоких концентраций искать в эксплуатационных факторах или недостатках технологии изготовления вводов и ИТ. С другой стороны, если значения концентраций газов не достигли своих нормируемых значений, а скорости роста газов их превышают, то ввод необходимо поставить на учащенный контроль, иначе может произойти развитие дефекта до отказа в межконтрольный период.

Применять критерии ДЗ и ПДЗ скорости нарастания газов можно, если предыдущая концентрация газа была больше чувствительности хроматографа не менее чем в 2 раза.

Использование двух уровней ДЗ и ПДЗ скорости нарастания газов можно разделить развивающиеся дефекты по степени опасности.

Список литературы

- [1] Объем и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300-97. М.: ЭНАС, 1998.
- [2] РД 153-34.0-46.302-00 "Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле", 2000.
- [3] Методические указания по диагностике состояния изоляции высоковольтных вводов 110-750 кВ. ОАО «Мосизолятор, М:1994.
- [4] IEC 60599. Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis. 1999-03.
- [5] IEC 61464: 1998 .Insulated bushings – Guide for the interpretation of dissolved gas analysis in bushings where oil is the impregnating medium of the main insulation (generally paper).
- [6] РД ЭО 0597-2004 "Методические указания по контролю состояния трансформаторов тока на основе хроматографического анализа растворенных газов в масле", 2004
- [7] Указание к «Методическим указаниям по диагностике состояния изоляции высоковольтных вводов 110-750 кВ» 2.11.94, разработанных ОАО «Мосизолятор», М:1994.
- [8] Конопелько Л.А., Хацкевич Е.А., Опелат Т.Т., Калачева Н.И. «Возможности хроматографической аппаратуры государственного первичного эталона ВНИИМ и метрологические аспекты анализа растворенных газов в масле силовых трансформаторов» // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования: Сб. докладов Научно-практического семинара. С-Пб. 1996. С.33-37.
- [9]. Давиденко И.В. Определение типичных концентраций газов в маслonaполненных вводах 110-500 кВ / Доклады научно-практической конференции по диагностике электрических установок специалистов Сибири и Востока .г. Красноярск 09 ÷ 13 апреля 2007 г. Стр1-5
- [10].Определение критериев оценки состояния измерительных трансформаторов по результатам хроматографического анализа масла различных энергосистем. / Сборник докладов XI Международная научно-техническая конференция "Трансформаторостроение - 2005"Украина г.Запорожье 2005. 5-9 сентября