**Дисциплина: Эксплуатация оборудования электрических сетей**

**Лекция № 4 «Техническое обслуживание высоковольтных вводов силовых трансформаторов и проходных изоляторов»**

Оглавление

[4.1 Общие характеристики высоковольтных вводов 1](#_Toc420945810)

[4.2 Конструкция и особенности высоковольтных вводов 2](#_Toc420945811)

[4.2.2 Вводы с бумажно-масляной изоляцией 2](#_Toc420945813)

[4.2.3 Вводы с твёрдой изоляцией 4](#_Toc420945814)

[4.2.4 Вводы с элегазовой изоляцией 6](#_Toc420945815)

[4.2.5 Мастичные вводы 35 кВ 6](#_Toc420945816)

[4.2.6 Бумажно-бакелитовые вводы (сухие и мастиконаполненные) на напряжение до 35 кВ 7](#_Toc420945817)

[4.2.7 Фарфоровые изоляторы 6-10 кВ 7](#_Toc420945818)

[4.3.1Осмотр вводов 7](#_Toc420945819)

[4.3.2. Ремонты: 8](#_Toc420945820)

[4.4. Профилактические испытания вводов. 9](#_Toc420945821)

[4.5. Схема замещения маслонаполненного ввода 110-220 кВ, определение основных показателей технического состояния вводов: tg δ и ёмкости изоляции. 12](#_Toc420945822)

# 4.1 Общие характеристики высоковольтных вводов

Маслонаполненные вводы, вводы с твёрдой изоляцией, газонаполненные, фарфоровые, мастиконаполненные, бумажно-бакелитовые вводы высокого напряжения являются составной частью электрооборудования: трансформаторов, шунтирующих реакторов, баковых масляных выключателей, а также применяются как самостоятельные изоляционные конструкции в закрытых распределительных устройствах. Отечественная промышленность выпускала вводы на напряжение 6,10,35 кВ в фарфоровом, мастиконаполненном и бакелитовом исполнении и продолжает выпускать вводы 35-750 кВ с твёрдой изоляцией, газонаполненные. Конструкция ввода во многом определяет его рабо­тоспособность, условия обслуживания, технологичность производства, габариты и весовые характеристики и ока­зывает существенное влияние на технические решения, принятые при разработке силовых трансформаторов и масляных выключателей. Для обеспечения технического обслуживания вводов необходимо чётко представлять его конструкцию, условия эксплуатации и свойства материалов из которых они изготовлены. Ввод высокого напряжения можно рассматривать как цилиндрический конденсатор, состоящий из централь­ной токоведущей трубы, поверх которой расположена электрическая изоляция в виде масла, бумаги, твёрдых видов изоляции или газа. Уровень изоляции вводов выбирается с учётом номинального напряжения и назначения ввода. Выбор вида внутренней изоляции ввода в значитель­ной мере определяет его габариты и массу. При разработке конструкции вводов учитывается защита масла и бумажной изоляции от увлажнения, с обеспечением тепловой и динамической стойкости кон­струкции и т.п. Внешняя изоляция в боль­шинстве вводов выполнена в виде фарфоровых покрышек.

# 4.2 Конструкция и особенности высоковольтных вводов

# 4.2.1 Конструкция маслобарьерных вводов (рис.1) состоит из верх­ней и нижней фарфоровых покрышек, внутри которых проходит токоведущий стержень с цилиндрами, прост­ранство между которыми заполнено трансформаторным маслом. Соединение покрышек между собой осуществ­ляется с помощью армированных фланцев. Для регулирования напряжённости электрического поля изолирующего промежутка вводов на бумажно-ба­келитовые цилиндры зачастую накладывают уравни­тельные прокладки, поверх которых наносится бумажное покрытие. Во вводах с выводами для подключения ПИН на пос­ледний цилиндр изоляционного каркаса предварительно наносят два-три слоя бумаги, поверх которой наклады­вают металлическую обкладку - фольгу. На фольгу на­матывают несколько слоёв бумаги в зависимости от не­обходимой ёмкости измерительного конденсатора. Затем накладывают вторую металлическую обкладку, кото­рую, так же как и первую, с помощью гибкого провод­ника выводят наружу ввода.

# 4.2.2 Вводы с бумажно-масляной изоляцией (рис. 2)

У вводов конденсаторного типа с бумажно-масляной изо­ляцией остов

выполнен из кабельной бумаги, разделённой на слои уравнительными обкладками и про­питанной трансформаторным маслом. Для уменьшения напряжённости электрического по­ля, улучшения охлаждения и снижения tgδ в первых слоях изоляции остова вводов наложение бумагиобычно производится на бакелитовый цилиндр, внутри которого проходит токоведущая труба. У вводов с выводом для подключения ПИН измерительная и заземляемая обкладки выполня­ются из медной фольги. Вводы негерметичного исполнения для трансформаторов, реак­торов и масляных выключателей имеют изоляционный остов, намотанный на центральную медную трубу или бакелитовый цилиндр, верхнюю и нижнюю фарфоровые покрышки, соединительную втулку, расширитель с мас­ляным затвором и воздухоосушителем, стяжное пружин­ное устройство, маслоуказатель и другие детали. У вво­дов герметичного исполнения компенсация температур­ного изменения объёма масла обеспечивается встроен­ными во вводы (вводы 110—220 кВ) или выносными (вводы 220 кВ и выше) компенсаторами давления. Линейные вводы негерметичного исполнения имеют выносной маслорасширитель с гидравлическим затво­ром и маслоуказателем.

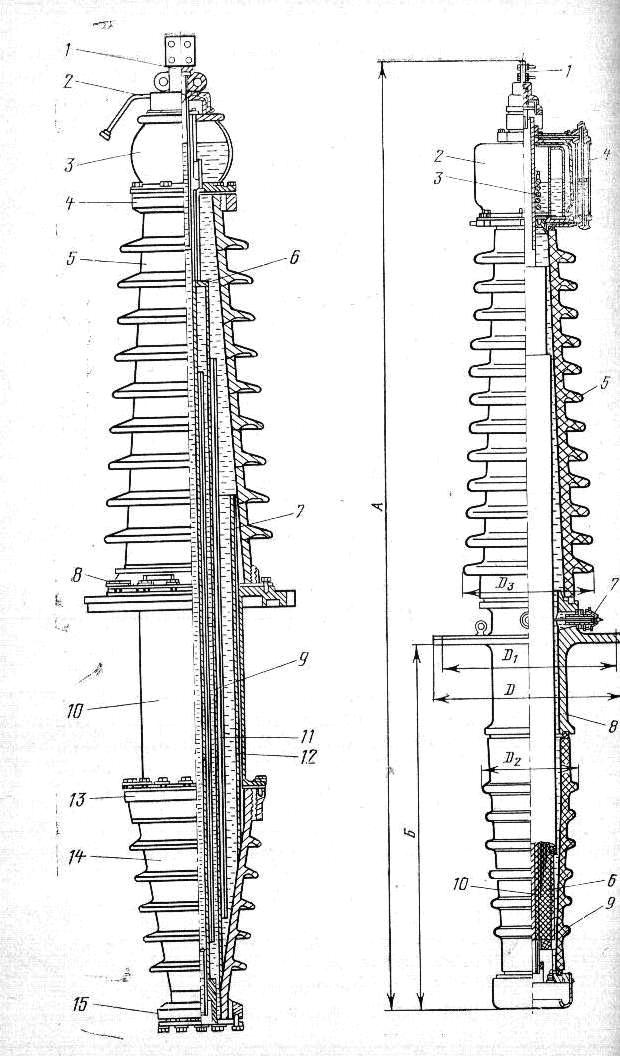


Рис. 1 Рис. 2

Рис.1 Ввод с маслобарьерной изоляцией. Рис.2. Ввод с бумажно- масляной изоляцией, негерметичный.

Рис.1.Ввод с маслобарьерной изоляцией.

1- контактный зажим; 2 - дыхательная трубка; 3 - расширитель; 4, 8, 13, 15- фланцы; 5 - верхняя покрышка; 6– дистанцирующая шайба; 7- заземлённый экран; 9 - внутренний цилиндр; 10 - соединительная втулка; 11 - токоведущая труба с бумажной подмоткой; 12 - внешний цилиндр; 14 - ниж­няя покрышка.

Рис. 2. Ввод с бумажно-масляной изоляцией негерметичного испол­нения.

1 - контактный зажим; 2 - расширитель; 3-пружина стяжного устройства; 4 - маслоуказатель; 5 верхняя покрышка; 6 - изоляционный остов; 7 - измерительный вывод; 8 -соединительная втулка; 9 - нижняя покрышка; 10 *—* труба.

# 4.2.3 Вводы с твёрдой изоляцией (рис. 3)

Применение твёрдой бумажной изоляции позволяет выполнять изо­ляционный остов монолитным и исключить нижнюю фарфоровую покрышку. Конструктивно ввод с твёрдой изоляцией со­стоит из трёх частей: сердечника с металлической тру­бой, соединительной втулки и фарфоровой покрышки со стяжным устройством. Внутренний сердечник (остов) вводов выполнен из твёрдой бумажной изоляции, изго­товленной путем намотки на центральную металличес­кую трубу лакированной бумаги с последующей запечкой. Бумажная намотка разделена на слои уравнитель­ными обкладками из графита. На изоляционный остов горячимспособом посажена соединительная втулка. Верхняя часть изоляционного остова до соединительной втулки закрыта фарфоровой покрышкой.

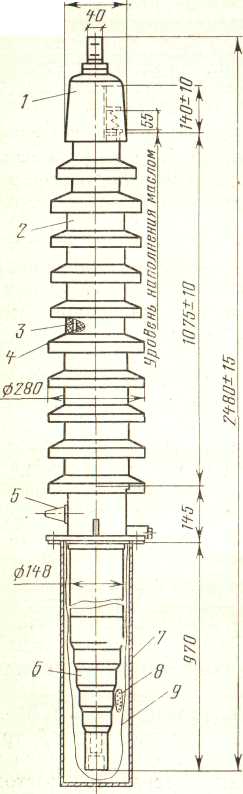


Рис. З. Ввод 110 кВ с твёр­дой изоляцией.

1 — защитный колпак; 2 — фар­форовая покрышка; 3 — транс­форматорное масло; 4 — изоля­ционный остов; 5 — измеритель­ный вывод; 6 — нижняя часть изоляционного остова: 7 — за­щитный цилиндр; 8— осушитель воздуха; 9 — полиэтиленовый мешок.

Пространство между остовом и покрышкой залито трансформаторным маслом. Нижняя часть изо­ляционного остова ввода не имеет фарфоровой покрышки на время транспортиро­вания и хранения закрыва­ется бакелитовым кожухом. Компенсация объём­ного расширения масла при изменении температуры осу­ществляется воздушной по­душкой в головке ввода. Конструкция ввода нераз­борная.

# 4.2.4 Вводы с элегазовой изоляцией (рис. 4)

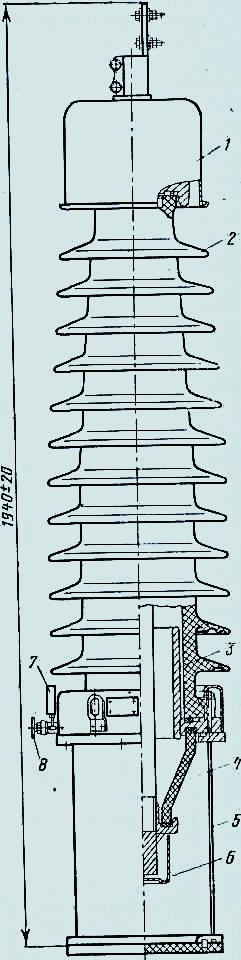
Промышленная партия газонаполненных вво­дов на напряжение 110—220 кВ предназначена для установки в КРУ. Вводы мо­гут иметь автономный или об­щий с ячейкой КРУ объем газа и снабжены фарфоровой покрышкой с увеличенной длиной пути утечки, закрывающей верхнюю часть ввода. Выравнивание электрического поля во вводе достигается установкой на уровне соедини­тельной втулки специального экрана. Соединение всех эле­ментов ввода: токоведущей трубы, соединительной втулки и покрышек осуществляется стяжным устройством, расположенным в верхней части ввода. Контроль давления элегаза во вводе произво­дится по манометру, располагаемому на соединительной втулке.

Рис. 4. Ввод газонаполненный 110 кВ.

1- защитный кожух; 2 - покрышка;

3 — экран внутренний;

4 - нижняя изолирующая покрышка;

5 — защитный кожух;

6 — экран наружный; 7 — манометр;

8 — вентиль

# 4.2.5 Мастичные вводы 35 кВ

Состоят из двух фарфоровых покрышек, связанных средней металлической соединительной втулкой. Основной изоляции ей вводов служит мастика, заполняющая пространство между токоведущим стержнем и втулкой, а фарфор служит лишь защитной покрышкой. Большинство повреждений вводов возникает вследствие неморозостойкости мастики, а также вследствие проникновения масла из бака аппарата внутрь ввода приводит к разжижению мастики, увеличению ее бъёма и т. п. Вводы указанной конструкции в связи их высокой аварийностью применяются теперь редко.

# 4.2.6 Бумажно-бакелитовые вводы (сухие и мастиконаполненные) на напряжение до 35 кВ

Имеют в качествe основной изоляции бумагу на бакелитовом лаке. Для выравнивания распределения напряжения в радиальном направлении слои бумажной изоляции разделены алюминиевой фольгой. Таким образом образуется цепочка последовательно включенных конденсаторов; поэто­му такие вводы называются конденсаторными. Основным недостатком сухих бумажно-бакелитовых вводов, которые применяются только для внутренних установок, является их небольшая влагостойкость, а также быстрое старение и возможность повреждения наружного слоя лакового покрова.

# 4.2.7 Фарфоровые изоляторы 6-10 кВ

Изоляцией этих конструкций вводов является фарфор. Основной способ профилактикиэтих вводов - испытание повышенным напряжением промышленной частоты. При этом испытании могут быть выявлены сквозныетрещины фарфора, чаще всего возникающие под фланцем или вблизи него, связанные с дефектами армировки вводов.

4.3 Техническое обслуживание вводов: осмотры, ремонты

# 4.3.1Осмотр вводов

Производится эксплуатационным персоналом одновременно с осмотром оборудования, на котором установлены вводы.

При внешнем осмотре маслонаполненных вводов, производимом без снятия напряжения, необходимо обращать внимание на:

- уровень масла во вводе по маслоуказательному стеклу расширителя;

- значение давления масла во вводе (по манометру)

- целость фарфора, отсутствие сколов, трещин;

- отсутствие течей масла в местах стыков и уплотнений;

- степень загрязнения изоляции;

- отсутствие потрескиваний, звуков разрядов и т.д.;

- состояние и цвет силикагеля в воздухоосушительном фильтре.

При текущем ремонте трансформаторов, реакторов, выключателей производится осмотр вводов. Дополнительно проверяется надёжность заземления выводов от последней и предпоследней (при ее наличии) обкладок, состояние цементных швов у маслобарьерных вводов, состояние уплотнений негерметичных вводов, усилие затяжки гаек контактной шпильки. Вводы, проработавшие 20 лет и более, у которых обнаружены признаки общего ухудшения состояния внутренней изоляции, замена масла не является достаточно эффективной мерой, рекомендуется заменять. Вводы, забракованные по составу растворенных в масле газов, должны заменяться незамедлительно.

# 4.3.2. Ремонты:

Негерметичные вводы.

При необходимости производится доливка масла во ввод. Замена масла в гидравлическом затворе производится через отверстия в расширителе ввода. При необходимости следует произвести ревизию воздухоосушительного фильтра с обновлением индикаторного силикагеля при признаках его увлажнения. Необходимо установить нормальный уровень масла во вводе. При температуре 15-20 °С уровень масла в маслоуказателе должен составлять 2/3 высоты маслоуказательного стекла. Замена масла в гидравлических затворах негерметичных вводов должна производится в сроки:

- у вводов 110-220 кВ, не имеющих воздухоосушительных фильтров, - не реже одного раза в два года;

- у вводов 110-220 кВ, имеющих воздухоосушительные фильтры - не реже одного раза в четыре года;

Герметичные вводы.

Во время осмотров оборудования распредустройств необходимо контролировать значение давления во вводе.Значение давления во вводе, температура верхних слоёв масла в трансформаторе или реакторе и температура окружающего воздуха должны быть зафиксированы в эксплуатационных документах не менее четырёх раз в год. Необходимо следить за тем, чтобы давление масла во вводе находилось в пределах 0,02-0,25 МПа (0,2-2,5 кгс/см2). На щитах управления ПС должны быть в инструкции по эксплуатации оборудования графики зависимости давления масла во вводе от температуры.На стекле шкалы манометра должны быть нанесены предельные отметки, соответствующие этим значениям давления.При повышении давления во вводе выше предельного значения его необходимо снизить. При снижении давления во вводе ниже допускаемого значения необходимо подкачать во ввод масло.При обнаружении течи масла она устраняется. При повышении давления выше предельных значений необходимо произвести внеочередные измерения tgδ и С1 и провести хроматографический анализ растворенных в масле газов. Если измерения покажут ухудшение характеристик изоляции, ввод должен быть демонтирован и заменён резервным. При необходимости пробу масла из герметичного ввода можно отбирать без разгерметизации ввода. После отбора пробы необходимо отрегулировать давление масла во вводе.

Вводы с твёрдой изоляцией.

При периодических осмотрах вводов следует обращать внимание на отсутствие течи масла и целость фарфоровой покрышки. Измерение

характеристик изоляции у вводов без измерительного вывода производится только при капитальном ремонте трансформатора на демонтированном вводе. Доливку вводов необходимо производить маслом той же марки, которым он был залит на заводе-изготовителе. Масло для доливки должно отвечать требованиям «Объёма и норм испытания электрооборудования» и иметь пробивное напряжение не ниже 60 кВ для вводов на напряжение до 500 кВ. Влагосодержание - не более 10 г/т. Масло, предназначенное для доливки в герметичные вводы, должно быть дегазировано при вакууме с остаточным давлением не более 666,5 Па (5 мм рт. ст.) в течение 4 ч на каждые 50 л обрабатываемого масла.

При проведении текущего ремонта необходимо проверить:

- состояние уплотнений и отсутствие течи масла;

- надёжность заземления специальных и измерительных выводов;

- правильность установки пробок расширителя;

- надёжность контактных соединений;

- наличие пломб на вентилях гидравлической системы, их положение, состояние манометра и т.п.;

- состояние воздухоосушительного фильтра.

Капитальные ремонты вводов производятся только в заводских условиях.

# 4.4. Профилактические испытания вводов.

Должны проводиться в соответствии с требованиями «Объём и нормы испытания электрооборудования» Перед проведением испытаний необходимо очистить наружную поверхность ввода от пыли и грязи. Измерение характеристик изоляции вводов производится при температуре изоляции не ниже 5°С Нормируются значения tgδ, приведённые к температуре 20°C.

*1. Измерение сопротивления изоляции.*

Производится измерение сопротивления изоляции измерительного конденсатора ПИН (С2) или (и) последних слоёв изоляции (С3) мегомметром на 2500 В. Значения сопротивления изоляции при вводе в эксплуатацию должны быть не менее 1000 МОм, в процессе эксплуатации - не менее 500 МОм. Периодичность измерений для вводов 110-220 кВ - 1 раз в 4 года;

*2. Измерение tgδ и ёмкости изоляции*

Производится измерение tgδ и ёмкости:

- основной изоляции вводов при напряжении 10 кВ;

- изоляции измерительного конденсатора ПИН (С2) или (и) последних слоёв изоляции (С3) при напряжении 5 кВ (3 кВ для вводов, изготовленных по ГОСТ 10693-64).

Предельные значения tgδ приведены в таблице 1.

Предельное увеличение ёмкости основной изоляции может составлять 5% от измеренного при вводе в эксплуатацию. В процессе эксплуатации устанавливается следующая периодичность проведения измерений для вводов:

- 35 кВ - при проведении ремонтных работ на трансформаторах и выключателях, где они установлены;

- 110-220 кВ - 1 раз в 4 года;

- 330-750 кВ - 1 раз в 2 года.

Таблица 1. Предельные значения tgδ изоляции вводов.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип и зона изоляции ввода | Предельные значения tgδ, %, для вводов номинальным напряжением, кВ | | | |
| 35 | 110-150 | 220 | 330-750 |
| Бумажно-масляная изоляция ввода: |  |  |  |  |
| - основная изоляция (C1) и изоляция конденсатора ПИН (С2); | - | 0,7/1,5 | 0,6/1,2 | 0,6/1,0 |
| - последние слои изоляции (С3). | - | 1,2/3,0 | 1,0/2,0 | 0,8/1,5 |
| Твердая изоляция ввода с масляным заполнением: |  |  |  |  |
| - основная изоляция (C1). | 1,0/1,5 | 1,0/1,5 | - | - |
| Бумажно-бакелитовая изоляция ввода с мастичным заполнением: |  |  |  |  |
| - основная изоляция (C1) | 3,0/9,0 | - | - | - |

Примечания:

1. В числителе указаны значения tgδ изоляции при вводе в эксплуатацию, в знаменателе - в процессе эксплуатации.

2. Уменьшение tgδ основной изоляции герметичного ввода по сравнению с результатами предыдущих измерений на Δtgδ(%) ≥ 0,3 является показанием для проведения дополнительных испытаний с целью определения причин снижения tgδ.

3. Нормируются значения tgδ, приведённые к температуре 20 °C. Приведение производится в соответствии с инструкцией по эксплуатации вводов.

*3. Испытание повышенным напряжением частоты 50 Гц*

Испытательное напряжение для проходных изоляторов и вводов, испытываемых отдельно или после установки на оборудование, выбирается в соответствии с нормативами. Продолжительность приложения испытательного напряжения для вводов:

- с фарфоровой, масляной и бумажно-масляной основной изоляцией - 1 мин;

- с основной изоляцией из органических твёрдых материалов и кабельных масс - 5 мин;

- испытываемых совместно с обмотками трансформаторов - 1 мин.

*4. Испытание избыточным давлением*

Испытание избыточным давлением производится на негерметичных маслонаполненных вводах напряжением 110 кВ и выше избыточным давлением масла 0,1 МПа с целью проверки уплотнений. Продолжительность испытания 30 мин. Допускается снижение давления за время испытаний не более 5 кПа.

*5.Испытание масла из вводов.*

Перед заливкой во вводы изоляционное масло и доливаемое во вводы должно отвечать требованиям «Объём и нормы испытания электрооборудования» Таблицы № 25.1; 25.2; 25.3; 25.4.

Определение физико-химических характеристик масла из негерметичных вводов производится по требованиям табл. 25.4 (пп. 1-3):

- для вводов 110-220 кВ - 1 раз в 4 года;

Определение физико-химических характеристик масла из негерметичных вводов согласно табл. 25.4 (пп. 4-11) производится при получении неудовлетворительных результатов испытаний по табл. 25.4 (пп. 1-3). Объем необходимого расширения испытаний определяется техническим руководителем энергообъекта. Контроль масла герметичных вводов производится при получении неудовлетворительных результатов по пп. 23.1 или (и) 23.2, или (и) 23.7, а также при повышении давления во вводе сверх допустимых значений, регламентированных заводской документацией на вводы. Объем испытаний определяется решением технического руководителя предприятия исходя из конкретных условий. Предельные значения параметров масла - в соответствии с требованиями табл. 25.4

*6. Хроматографический анализа растворенных в масле газов*.

Необходимость проведения хроматографического анализа растворенных в масле газов определяется техническим руководителем предприятия. Оценка результатов производится в соответствии с рекомендациями «Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле СО 153-34.0-46.302-00 (РД 153-34.0-46.302-00)».

*7. Тепловизионное обследование.*

Проверка отсутствия короткозамкнутого контура в расширителе ввода производится у маслонаполненных герметичных вводов серии ГБМТ-220/2000.Нагрев поверхности корпуса расширителя ввода не должен отличаться от такового у вводов других фаз.Маслонаполненный ввод не должен иметь локальных нагревов в зоне расположения контактных соединений. Проверка состояния верхней части остова ввода производится у маслонаполненного ввода негерметичного исполнения. Маслонаполненный ввод не должен иметь резкого изменения температуры или локальных нагревов по высоте покрышки по сравнению с вводами других фаз. Сказанное может быть следствием опасного понижения уровня масла во вводе или увлажнения (зашламления) верхней части остова.Выводы вводов **-** предельные значения температуры нагрева вводов из меди, алюминия и их сплавов, предназначенных для соединения с внешними проводниками, не должны превышать данных, приведённых в табл. П3.1 (п. 4) . СО 34.45-51.300-97 Объём и нормы испытания электрооборудования.

*8.* *Заключение о пригодности вводов к эксплуатации*должно составляться на основании сравнения данных, полученных при испытании, с браковочными нормами и анализа результатов всех проведённых эксплуатационных испытаний и осмотров. Вводы, забракованные при внешнем осмотре, независимо от результатов испытания должны быть заменены или отремонтированы. В карте ввода должны быть зафиксированы следующие данные: дата измерения; погодные условия; температура ввода; наименование, тип, номер заводского чертежа ввода; номинальные данные ввода; условия испытания, схема и результаты измерения; результаты внешнего осмотра оборудования; заключение о годности ввода.

# 4.5. Схема замещения маслонаполненного ввода 110-220 кВ, определение основных показателей технического состояния вводов: tg δ и ёмкости изоляции.

Упрошенная схема замещения изоляционной конструкции ввода может быть представлена в виде нескольких последователь­но соединённых конденсаторов (рис.5). Ёмкость, tg δ и со­противление этих конденсаторов эквивалентны характеристикам соответствующих зон изоляции ввода. Ёмкость С1 соответствует основной изоляции остова ввода; ёмкость С2 определяет характеристики зоны изоляции, используемой для устройства ПИН (кон­денсатор ПИН); ёмкость С3 эквивалентна ёмкости последней обкладки остова относительно соединительной втулки (ёмкость на­ружных слоёв изоляции).

ВН – вывод высокого напряжения; СВ – специальный вывод; ИВ – измерительный вывод

|  |  |
| --- | --- |
| 1 | С9 |

а – ввод со специальным выводом (для ПИН); б – ввод с измерительным выводом.

Рис. 5 Схема замещения вводов.

Основные дефекты изоляции вводов.

|  |  |
| --- | --- |
| Типы изоляции вводов | Основные дефекты |
| Бумажно-масляная, герметизированная.  Бумажно-масляная, негерметизированная.  Бумажно- эпоксидная (с твёрдым сердечником и масляным заполнением) | Старение масла с выпадением осадка на остов и покрышку.  Частичные разряды в масле и на поверхности остова и покрышки.  Снижение или рост давления во вводе.  Увлажнение масла и твёрдой изоляции. Старение масла. Частичные разряды на поверхности остова и покрышки.  Расслоение остова. Старение масла. |

Механические пов­реждения (сколы фарфора, нарушение уплотнения и т.п.) могут быть определены внешним осмотром без проведения специальных испытаний. Несмотря на многообразие исходных причин повреждений, раз­витие неисправности приводит к следующим основным механизмам отказов: тепловой пробой, разрушение изоляции частичными раз­рядами, переходящее в тепловой пробой (тепло-ионизационный про­бой), перекрытие из-за поверхностных разрядов по остову и фарфо­ровой покрышке.

Контролируемые параметры изоляции ввода.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Способ определения | Наименования определяемых характеристик |
| 1  2.  3.  4  5. | Измерение приложенным напряжением.  Измерение при рабочем напряжении  Хроматографический анализ газов, растворённых в пробе масла из ввода (РД 34.46.303-98)  Хроматографический анализ производных фурана в пробе масла из ввода. (РД 34-51.304-94)  Физико-химические испытания пробы масла из ввода (РД 34.43.105-89) | Тангенс угла диэлектрических потерь и ёмкость основной изоля­ции.  Тангенс угла диэлектрических потерь и ёмкость изоляции измери­тельного конденсатора. Тангенс угла диэлектрических потерь и ёмкость наружных слоёв изоляции.  Сопротивление изоляции специаль­ного вывода.  Сопротивление изоляции измери­тельного вывода.  Изменение тангенса угла диэлектри­ческих потерь. Изменение ёмкости изоляции.  Измерение модуля полной (комплексной) проводимости изоляции.  Давление масла во вводе.  Концентрация и соотношение характерных (диагностических) газов.  Изменение концентрации.  Концентрация и соотношение характерных производных фурана.  Пробивное напряжение.  Тангенс угла диэлектрических потерь при температуре 70оС, 90оС.  Влагосодержание масла  Содержание и фракционный состав механических примесей.  Физико-химические характеристики (кислотное число, содержание водорастворимых кислот, температура вспышки, содержание растворённого шлама и присадки) |

Примечание. В скобках указаны номера документов, определяющих мето­дику проведения испытаний.

**Основные методы испытаний.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | Методы испытаний. | Выявляемые дефекты. |
| 1 | Измерение сопротивления  изоляции. | Увлажнение твёрдой изоляции.  Поверхностное загрязнение. |
| 2 | Измерение диэлектричес­ких потерь и ёмкости изоляции:  а) измерение tg δ и ёмкости при приложенном напряже­нии (по зонам),  б) определение зависимос­ти tg δ и ёмкости от напря­жения,  в) измерение полной (ком­плексной) проводимости, tg δ и ёмкости при рабочем напряжении.  г) Определение зависимости  tg δ от температуры. | Увлажнение твёрдой изоляции и  масла.  Старение масла.  Интенсивные частичные разряды и следы разрушения ими твёрдой изоляции  Частичные разряды в твёрдой изоляции и в масле.  Старение масла.  Частичные разряды в изоляции остова и на поверхности остова. Развитие теплового и тепло-ионизационного пробоя.  Развитие теплового пробоя. Старение масла |
| 3. | Определение физико-химических характеристик масла. | Увлажнение, старение, перегревы, загрязнение масла. |
| 4. | Анализ газов растворённых в масле. | Термическое и электрическое разрушение материалов. |
| 5 | Анализ производных фура­на, находящихся в пробе масла | Старение твёрдой изоляции. |
| 6 | Измерение частичных разрядов. | Местные дефекты (включения). Ухудшение характеристик масла. Изменение распределения напряже­ния в изоляции. |
| 7 | Измерение давления (для герметизированных конструк­ций) | Интенсивные частичные разряды в масле и твёрдой изоляции. Нарушение герметичности. |

Основные причины повреждений вводов с бумажномасляной изоляцией.

Статистика аварийности силовых трансформа­торов за последние годы показа­ла, что около 50 % повреждений трансформаторов связано с маслонаполненными высоковольтными вводами. По имеющимся данным удельная по­вреждаемость трансформаторных вводов незначи­тельна и не имеет тенденции к увеличению. Однако задача определения причин выхода из строя вво­дов с целью повышения их надёжности весьма актуальная, так как снижение повреждаемости вводов может дать заметный экономический эффект особенно с ростом единичных мощностей электрооборудования.

Установить непосредственную причину повреж­дения ввода весьма затруднительно из-за значи­тельного разрушения, как самого ввода, так и элементов трансформатора в месте установки. Повреждённый маслонаполненный бумажномасляный ввод 110 кВ представлен на Рис . 8.



Рис. 8. Повреждённый трансформаторный бумажномасленный ввод.

Первоначально предполагалось, что поврежде­ния вводов связаны в основном с нарушениями технологии их изготовления либо с их конструк­тивными особенностями. Однако в результате исследований конструкции и технологии не было установлено явной связи между технологическими и конструктивными особенностями вводов и их повреждаемостью в эксплуатации. Вместе с тем было отмечено изменение характера зависимости повреждаемости вводов от длительности эксплуа­тации и качества используемых материалов при изготовлении. Причём у каждого ввода ресурс эксплуатации определялся индивидуальной функцией зависящей от параметров эксплуатации: величин перенапряжений, тока нагрузки, температуры рабочей среды, влажности воздуха, количества и величины сквозных т. к. з., а также уровня обслуживания.

Анализ состояния герметичных вводов 110 - 220 кВ, эксплуатируемых в ряде энергосистем, показал, что тангенс угла диэлектрических потерь масла tg δМ в ряде случаев в процессе эксплуатации превышает предельно допустимые нормы, предусмотренные, действующими ПТЭ. Отмечено даже увеличение значения tg δМ 90°C вплоть до 100 % при низком зна­чении кислотного числа и сохранении высокого значения пробивного напряжения UПР. Разборка и осмотр около 100 герметичных высоковольтных вводов, забракованных по tgδM, показали, что в большинстве случаев на внутренних поверхностях нижних фарфоровых покрышек вводов имелся смывающийся жёлто-бурый осадок разной интенсивности. На внутренних поверхностях покрышек просматривались следы ползущих разрядов. На нижних покрышках разрушенных в аварийных ситуациях вводов на внутренних поверхностях имелся осадок в виде жёлто-бурого налёта и присутствовали явные следы поверхностных разрядов. Сопоставление этих фактов с результатами расследования аварий свидетельствует об одно­типности сопутствующих признаков, а именно: пробой внутренней изоляции фиксировался при рабочем напряжении; на нижних покрышках разрушенных вводов на внутренних поверхностях имелся осадок в виде жёлто-бурого налёта и следы поверхностных разрядов. Следов разрядов на чистых покрышках без жёлто-бурого налёта не наблюдалось. В то же время электрические испытания в объёме типовых со специально отобранными ввода­ми 150 кВ с наиболее высокими значениями tg δМ при 90°С показали, что вводы успешно выдержали все испытания, хотя после их разборки на нижних покрышках также был обнаружен жёлто-бурый налёт различной степени интенсивности. Представленная совокупность фактов свиде­тельствует о том, что процессы, приводящие к аварии, определяются рабочим напряжением со специфическими механизмами нарушения изоля­ции, не воспроизводимыми при кратковременных воздействиях испытательных напряжений. К фактам, которые обращают на себя внима­ние, относится и наличие определённой связи с условиями эксплуатации и установкой вводов в трансформаторе, а именно, относительно высокая повреждаемость вводов на определённых типах трансформаторов. Например, 75 % аварий с вводами 150 кВ вследствие разряда по поверхности нижней покрышки произошли на фазах А и С трансформаторов ТРДН 63 000, составляющих 20% парка трансформаторов, на которых уста­новлены эти вводы (Южные территории СССР). В то же время не наблюдалось повреждений этих вводов по данной причине в регионах страны с холодным климатом. Это указывает на связь, как с температурным режимом, так и с напряжённостью электриче­ского поля *Е.* Для фаз А и С напряжённость поля во вводе по сравнению с напряжённостью фазы Вприблизительно на 20 *%* выше из-за условий уста­новки. Выявлено, что интенсивность осадка с ростом тем­пературы среды эксплуатации ввода увеличивается. Если при 70° С осадка практически не наблюдалось, то при 90 °С появ­лялся осадок жёлто-бурого цвета, а при 110 °С — коричневый. Сам осадок (без соприкосновения с маслом) не проводящий. Но если в масле появляются эмульсии с коллоидами, низкомолекулярными кислотами и другими продуктами окисления масла, которые, осаждаясь на эти отложения, делают поверхность проводимой. Результаты исследований свидетельствуют о том, что по со­ставу элементов осадки во вводах содержат много серы, которая находилась либо в самом масле, либо вымывалась из резины, используемой во вводах в качестве уплотнений. Таким образом, результаты ряда исследований под­тверждают, что образование и отложение осадка на фарфоровых покрышках связано с процессами старения масла из-за взаимодействия с резиной в присутствии медесодержащих материалов, а нес конструктивными особенностями высоковольт­ных вводов и технологическими отклонениями при покрытии деталей лаком и грунтом. На основании уже имеющихся экспериментальных и расчётных данных можно полагать, что первопричиной ползущих разрядов являются ЧР, возникновение которых может быть связано со следующими механизмами:

1. наличием примесных частиц в заливаемом мас­ле или образовавшихся в процессе старения, их скоплением в местах с неоднородной конфигура­цией электрического поля;

2. перераспределением электрических полей из-за резко отличающихся значений поверхностной про­водимости изоляционного остова, покрышки с на­лётом и без него,

3. объёмной проводимости масла;

4. электрохимической природой образования дре­вовидных токопроводящих следов в осадке на поверхности фарфора.

Следует отметить, что только при наличии осадка на поверхности фарфора механизмы возникновения ЧР могут приводить к медленному развитию ползущего разряда. Все вышеуказанные факторы приводят к пробою основной изоляции ввода или поверхностным перекрытиям и, как следствие, разрушению фарфоровой рубашки ввода с возгоранием масла.