

## Диагностика силовых кабельных линий

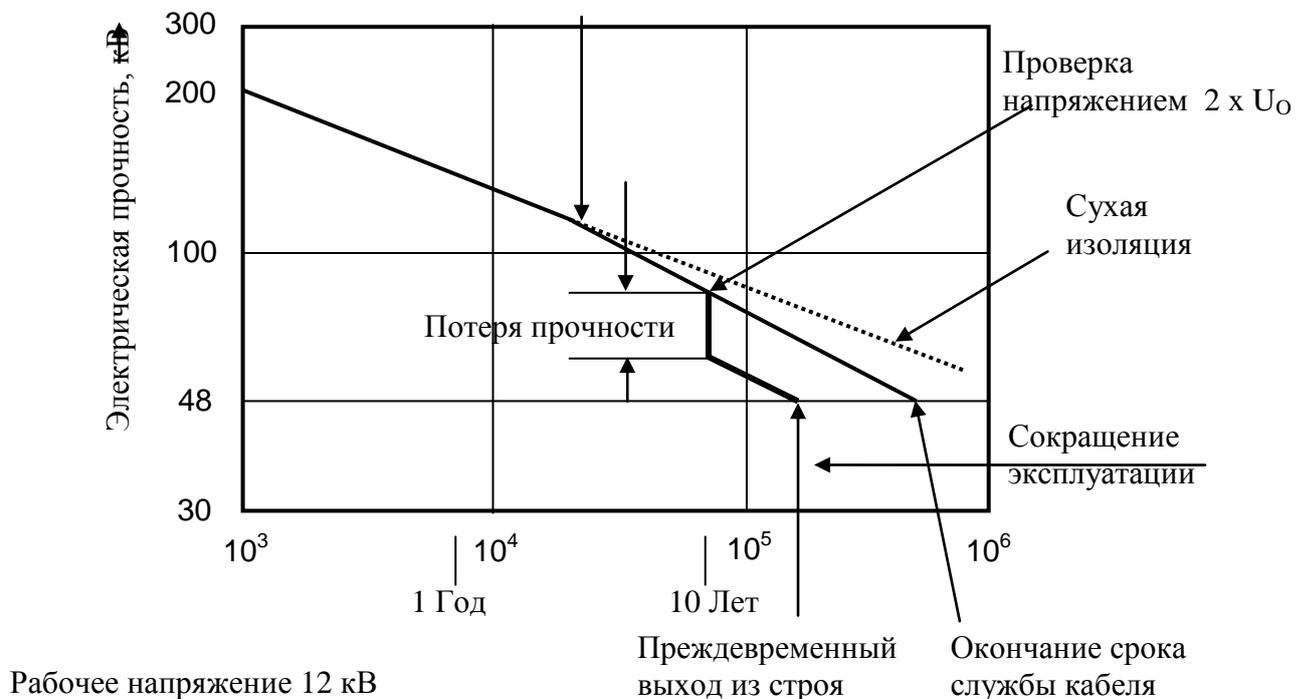
Оценка состояния изоляции и гарнитур кабельных линий является основой для принятия решений по продолжению эксплуатации, ремонта или замены кабельных линий.

Состояние изоляции электрооборудования можно определить следующими способами:

- испытание повышенным напряжением в соответствии с действующими нормативами;
- единовременное испытание диагностическими методами (диагностика).

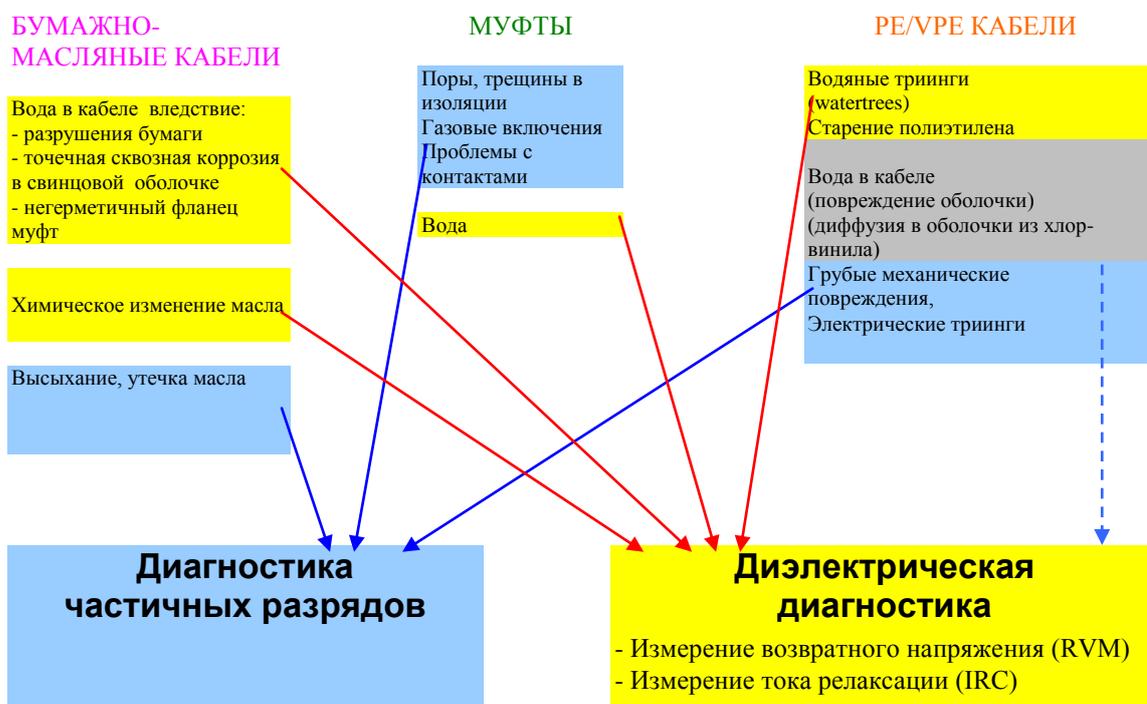
Из практики эксплуатации высоковольтных кабельных линий известно, что положительные результаты испытаний повышенным напряжением вовсе не гарантируют безаварийную последующую работу электрооборудования. Так, например, после успешных испытаний повышенным напряжением кабельных линий нередко происходит выход их из строя в ближайшие после этого месяцы. Установлено, что причина этого в интенсивном разрушении изоляции частичными разрядами в проблемных местах, что приводит к сокращению срока службы кабельных линий. Наиболее опасны испытания повышенным напряжением для кабельных линий с большим сроком службы или низким качеством монтажа, уже имеющих высокий уровень частичных разрядов в проблемных местах.

Следующая диаграмма иллюстрирует сокращение срока службы эксплуатируемого кабеля при испытании повышенным напряжением.



Объективные данные о техническом состоянии электрооборудования можно получить современными диагностическими методами. Диагностические испытания электрооборудования, как правило, выполняются методами, не травмирующими изоляцию. Они позволяют определять не только техническое состояние объекта, но и локализовать имеющиеся проблемные места. Проведение комплексных диагностических испытаний различными методами неразрушающего контроля позволяет также оценить степень старения изоляции и остаточный ресурс кабеля.

Оптимальным с точки зрения получения наиболее достоверной и полной информации о состоянии изоляции кабелей и гарнитур является сочетание методов интегральной и локальной диагностики. Проверка работоспособности кабельной линии путем приложения повышенного постоянного напряжения обоснована после монтажа или ремонта и при отсутствии технической возможности для применения диагностических неразрушающих методов.



Рассмотрим подробнее проблемы, возникающие в процессе эксплуатации кабельных систем и методы их обнаружения.

### Проблемы кабелей с изоляцией из полиэтилена (PE) и сшитого полиэтилена (VPE)

Значительный эффект старения кабелей с изоляцией из PE/VPE вызывается возникновением и ростом водяных триингов (watertrees). Они возникают со временем под воздействием воды, тепла и напряженности электромагнитного поля. Разрастаются они постепенно и в конечном результате вследствие образования электрических триингов ведут к короткому замыканию и к выходу из строя кабеля. Другие эффекты старения появляются при термической перегрузке изоляции из PE/VPE. Влага в кабелях с дефектами оболочки особенно благоприятствует разрастанию водяных триингов. Так как водяные триинги, обусловленные физическими законами, не показывают частичных разрядов, то описанные процессы старения можно обнаружить и оценить лишь при помощи **диэлектрической диагностики**.

### Проблемы на кабелях с пропитанной бумажной изоляцией.

#### - вода в кабеле

Вследствие повреждения оболочки (отверстие из-за коррозии; трещины из-за перемещения кабеля) и обусловленный старением распад целлюлозы повышает содержание влаги в изоляции. При этом постепенно продолжает уменьшаться электрическая прочность изоляции, пока она не достигнет величины рабочего напряжения, и кабель станет уже ненадежным для эксплуатации. Срок службы таких кабелей сильно зависит от качества изготовления и условий прокладки, так что лишь на основании технического ресурса кабеля нельзя дать какую-либо информацию о качестве изоляции. Для определения влажности необходима **диэлектрическая диагностика**. Частичные разряды, как показывает опыт, не появляются во влажной бумажно-масляной изоляции.

#### - высыхание

Вытекание массы и недостаточная пропитка приводят к высыханию этих мест и образованию полых, наполненных газом, пространств в изоляции кабеля. Из-за уменьшенной электрической прочности в таких местах появляются частичные разряды (ЧР), которые могут привести к карбонизации бумаги и разрушить изоляцию. Такие ЧР можно обнаружить и локализовать при помощи **диагностики ЧР**. Часто локализация таких ЧР не показывает локальных концентраций,

и вместе с тем нет непосредственной угрозы повреждения, а имеется распределение по более протяженным участкам кабеля.

### **Проблемы в муфтах и концевых заделках.**

#### **- повреждения частичными разрядами**

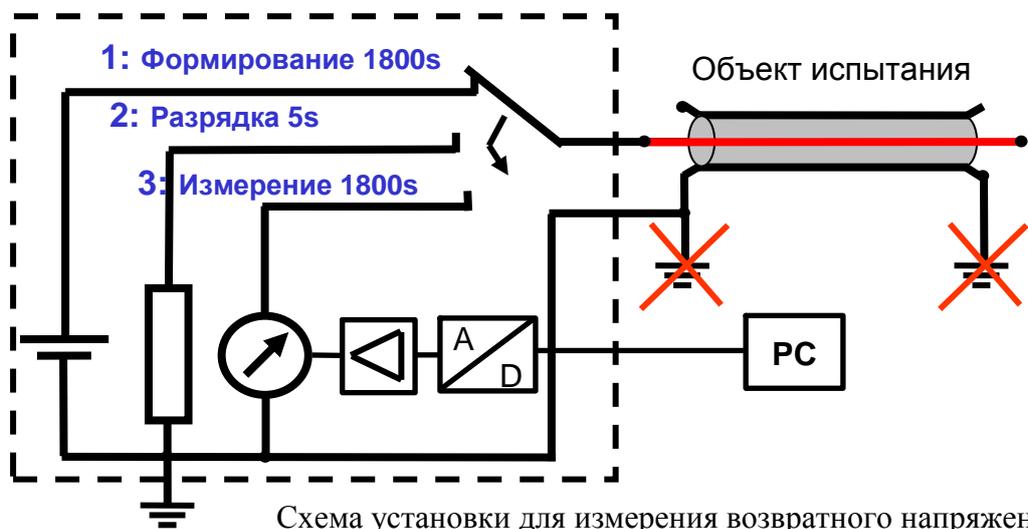
Вследствие неправильного монтажа в муфтах и концевых заделках возникают ионизируемые, наполненные газом полости и зазоры, а также участки с повышенной напряженностью электромагнитного поля, которые частично уже при номинальном напряжении приводят к частичным разрядам. Затем термические процессы деградации в муфтах с ненадлежащим образом выполненными соединениями жил могут также воздействовать на участки, где могут образоваться ЧР. Такие, поврежденные частичными разрядами места можно обнаружить и локализовать при помощи **диагностики ЧР**.

#### **- вода в муфтах**

Обнаружение влажных муфт не является первостепенной задачей диагностики. Однако при диагностике эта информация является часто «вспомогательной». Влажные муфты не вызывают ЧР, но обращают на себя внимание из-за повышенного и нестабильного зарядного тока при **диэлектрической диагностике** участков кабеля. Как правило, в таком случае рекомендуется провести СНЧ-испытания с последующей локализацией рефлектометром.

### **Диэлектрическая диагностика**

Кабели должны быть отключены и полностью разряжены. Перед началом диагностики необходимо обеспечить заземление при помощи кабеля заземления или измерительного кабеля со стороны измерения. Минимальное время заземления и короткого замыкания должно составлять 30 мин. При неблагоприятных обстоятельствах могут быть необходимы более продолжительное время короткого замыкания. Необходимо отсоединить преобразователи напряжения, почистить загрязненные концевые заделки.



#### **- PE/VPE-кабели**

Смешанные линии из участков PE- и VPE- кабелей можно диагностировать вместе. Для проведения диагностики основная жила и экран кабеля должны быть полностью отключены с обоих концов от распределительного устройства, чтобы гарантировано исключить помехи и эффекты поляризации распределительной установки

#### **- кабели с пропитанной бумажной изоляцией**

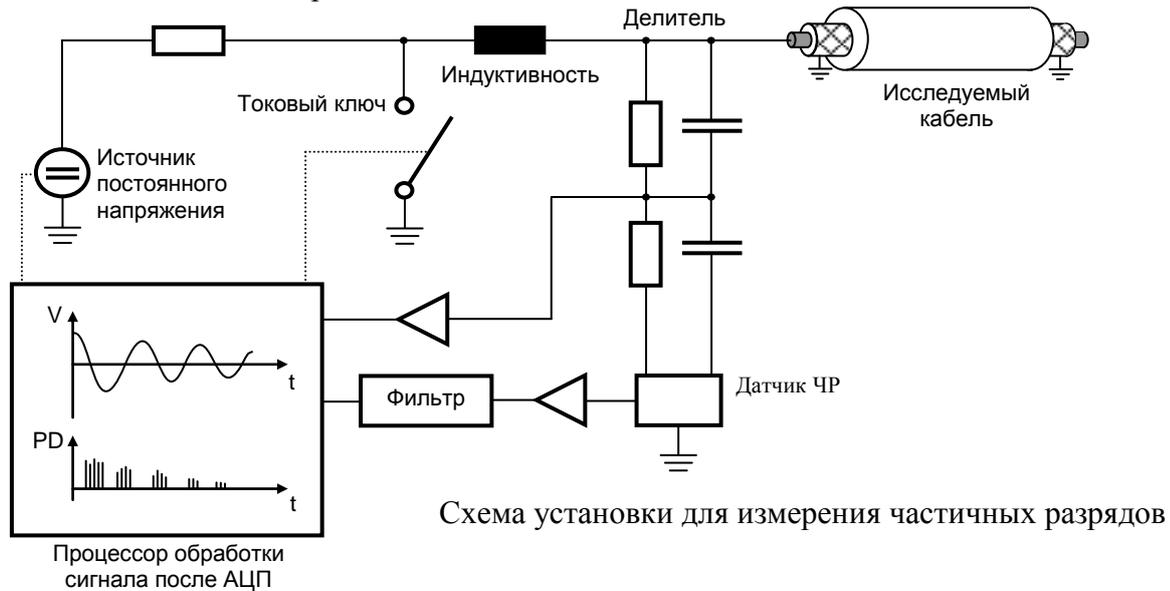
Для проведения диагностики жилы должны быть полностью отключены с обоих концов от распределительного устройства. В месте измерения остается подключенным металлическая оболочка/заземление подстанции. На другом конце кабеля это подключение, если можно, надо отключить от распределительной установки, чтобы исключить влияние помех на результаты измерения.

### - смешанные линии из участков с пропитанной бумажной изоляцией и PE/VPE-кабелями

Согласно физическим законам на смешанных кабелях в результате диагностики возможна информация лишь о кабеле с пропитанной бумажной изоляцией. Разумеется, кабельная линия большей частью должна состоять из кабеля с пропитанной бумажной изоляцией, доля PE/VPE-кабелей должна составлять макс. 20% от всей длины кабелей. Часто это имеет место при ремонте отдельных участков и вводов на подстанциях. Подготовительные работы такие же как для кабелей с пропитанной бумажной изоляцией.

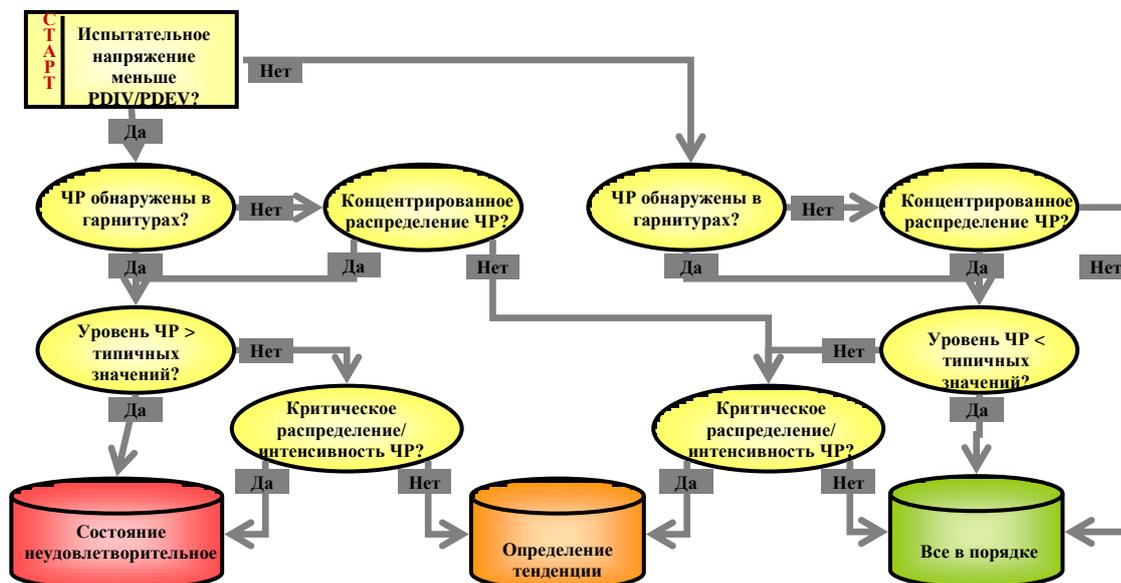
### Диагностика частичных разрядов (ЧР)

Для такой диагностики кабели должны быть отключены и разряжены. При наличии элегазовых установок переключения надо заранее подготовить измерительные адаптеры. Для точной локализации мест повреждения ЧР особенно важны точные схемы кабельных линий и муфт.



Характеристики частичных разрядов зависят от типа, размера и местоположения дефекта, изоляционного материала, приложенного напряжения, температуры кабеля, а также изменяются с течением времени. Повреждения из-за ЧР зависят от ряда факторов и могут изменяться в диапазоне от незначительных до опасных, приводящих к отказам в сроки от ближайших дней до нескольких лет.

### Правила интерпретации результатов ЧР-диагностики силовых кабелей



\* PDIV и PDEV – напряжение возникновения и гашения частичных разрядов.