

# Воздушные линии электропередачи – эксплуатация, ремонт, дефекты, обслуживание.

## 5.1. Нормативные документы

| Наименование НТД, ОРД                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Условное обозначение НТД, ОРД |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| СО 34.20.504-4 (РД 34.20.504-94). Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ: /Утв. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 19.09.94; Разраб. АО «Фирма ОРГРЭС»; Срок действ. с 01.01.96.– М.: СПО ОРГРЭС, 1996.                                                                                                                                                                                            | Л-254                         |
| СО 153-34.20.120-2003<br>Правила устройства электроустановок (ПУЭ)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Л-1                           |
| СО 153-34.20.501-2003 (ПТЭ)<br>Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации:/Утв. Приказом Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. № 229.                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Л-2                           |
| СО 34.45-51.300-97 (РД 34.45-51.300-97)<br>Объем и нормы испытания электрооборудования (изд.6-е) с изменениями №1 и 2. Фирма ОРГРЭС, АО «ВНИИЭ», АО «Уралтехэнерго»:/Утв. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 08.05.97 и выпущен с изменениями в 2001. Извещение № 1 о внесении дополнений и изменений в «Объем и нормы испытаний электрооборудования: СО 34.45-51.300-97:/Утв. Департаментом технического аудита и Генеральной инспекции 24.10.2005. | Л-3                           |
| Сборник распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем (СРМ-2000):/Утв. Департаментом научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России» 27.06.2002 г. Часть 1, 2, 3.                                                                                                                                                                                                                                                                             | Л-4                           |
| СО 153-34.04.181-2003 (РД 34.04.181)<br>Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений, электростанций и сетей:/Утв. РАО «ЕЭС России» 25.12.2003.                                                                                                                                                                                                                                                                     | Л-5                           |
| Постановление Правительства РФ от 24.02.2009 № 160 «Правила установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон».                                                                                                                                                                                                                                                 | Л-250                         |
| РД 34.20.261-82.<br>Типовая инструкция по сварке неизолированных проводов с помощью термитных патронов (ТИ 34-70-005-82).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Л-282                         |
| Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок:/Утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. N 328н.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Л-461                         |



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ  
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО 56947007-  
29.240.55.111-2011**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ВЛ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОМПОНЕНТОВ ВЛ**



## **АРМАТУРА ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-110 кВ С ЗАЩИЩЁННЫМИ ПРОВОДАМИ**

### **5.2. ЧЕК-ЛИСТ аудита.**

**Оценка качества многолетнего планирования и контроля выполнения работ по приведению просек ВЛ в нормативное состояние**

#### **1. Стандартизация**

##### **1.1 ОРД планирования работ по расчистке просек ВЛ**

**1.1.1 Наличие ОРД организации работ по расчистке просек ВЛ, укомплектованность ими СП ЛЭП.**

**1.1.2 Организация технического надзора за производством работ по расчистке просек, проверки выполненных работ на соответствие утвержденной технической документации . ПТЭ п. 5.7.5.**

##### **1.2 Нормативно-техническое обеспечение работ по расчистке просек**

**1.2.1 Наличие листов осмотра с попутной информацией (качество и полнота заполнения). Приказ от 07.04.2008 №114 п.1.3.1.**

**1.2.2 Наличие внесенных изменений в паспорта на ВЛ (попутная информация о залесенности, попутная ширина просеки, план трассы ВЛ, характеристики пород ДКР, информация о периодичности расчистки просек ВЛ и т.д.). ТИ по эксплуатации ВЛ напряжением 35-800 кВ (РД 34.20.504-94), п.2.2.7.**

**1.2.3 Наличие журнала учета работ на ВЛ с попутной информацией о расчистке просек (качество и полнота заполнения). Приложения 5 ТИ по эксплуатации ВЛ напряжением 35-800 кВ (РД 34.20.504-94).**

**1.2.4 График вырубki на просеках ВЛ с попутной информацией, характеристика ДКР, многолетний график вырубki на просеках ВЛ с попутной информацией (наличие, объемы работ по расширению и расчистке просек). Приказ от 07.04.2008 №114 п.4.**

**1.2.5 Информация по технологическим нарушениям, наличие предписаний надзорных органов и иных директивных материалов связанных с состоянием просек. Приказ от 07.04.2008 №114 п.1.2.2.**

**1.2.6 Наличие годового план-графика работ на ВЛ (своевременность утверждения и доведения до ответственных исполнителей, обоснованность объемов работ по расширению и расчистке просек и вырубке угрожающих деревьев). ТИ по эксплуатации ВЛ напряжением 35-800 кВ п.2.2.1**

**1.2.7 Акты выполненных работ по расчистке просек за год, с попутной информацией. Приказ от 07.04.2008 №114.п.1.3.1**

**1.2.8 Наличие согласованного МЭС технического задания на расчистку трасс ВЛ. Приказ от 07.04.2008 №114 п.1.3.4**

**1.2.9 Наличие НТД по организации выполнения работ по расчистке просек, укомплектованность ими СП ЛЭП.**

- 2. Планирование
- 2.1 Анализ исходной информации.
- 2.1.1 Инвентаризация и паспортизация технического состояния просек ВЛ ЕНЭС и охранных зон ВЛ ЕНЭС с указанием протяженности залесенных участков, площади (в гектарах), ширины (в метрах), состояния поросли на дату инвентаризации. Приказ от 11.01.2008 №6, п. 3.1.
- 2.1.2 Анализ наиболее частых причин отключений ВЛ. Качественное расследование каждого случая отключения ВЛ 220-750 кВ из-за перекрытия на ДКР с разработкой соответствующих мероприятий. Приказ от 17.09.2008 №400 п.3.1
- 2.1.3 Наличие квартальных и месячных планов-графики работ по расчистке просек, разработанных на базе годового плана-графика, согласованных со службами МЭС и утвержденных руководством ПМЭС. СО 34.04.181-2003, п. 5.1.15.
- 2.1.4 Соответствие объемов работ по расчистке трасс ВЛ сведениям журналов неисправностей, результатам оценки технического состояния ВЛ, нормативным требованиям, допускам и нормам отбраковки. СО 34.04-181-2003, п. 5.2.4.
- 2.2. Подготовка предложений в план работ
- 2.2.1 Наличие внесенных неисправностей на просеках ВЛ, выявленных при осмотрах, в ведомости (журнал) неисправностей, с указанием срока и способа ликвидации неисправности, отметка даты ее устранения. СО 34.04.181-2003, п. 5.2.3.
- 2.3. Согласование и утверждение проекта плана работ
- 2.3.1 Наличие согласованных объемов работ ИА ОАО "ФСК ЕЭС" в МЭС. Приказа от 20.05.2008 №203 раздел 3.
- 3. Выполнение (реализация)
- 3.1 Содержание договора подряда
- 3.1.1 Наличие договора подряда с внешним Подрядчиком. Приказ от 07.04.2008 № 114 п.1.1.2
- 3.2 Наличие разрешительных документов
- 3.2.1 Наличие всей разрешительной документации на производство работ (расчистка, вырубка деревьев угрожающих падением на провода, расширение и т.д.) производится Подрядчиком по доверенности, полученной от МЭС (решение вопроса на местах, стоимость консультационных услуг, сроки получения лесорубочных билетов и т.д.). Приказ от 07.04.2008 № 114 п.1.3.8
- 3.3. Соответствие сроков
- 3.3.1 Наличие согласованного на основании определенных сроков выполнения работ по вырубке угрожающих деревьев и расширению просек ВЛ план-графика отключений ВЛ. Приказ ОАО "ФСК ЕЭС" от 07.04.2008 № 114 п.2.2.1 3.3.2 Наличие утвержденных графиков осмотров ВЛ. СО 34.04.181-2003, п.5.2.1.
- 3.4 Соответствие объемов
- 3.4.1 Выборочная приемка выполненных работ после завершения работ на ВЛ по расчистке трасс - МЭС совместно с внутренним Подрядчиком. Приказа от 07.04.2008 № 114 п.4.2
- 3.5 Качество выполнения работ
- 3.5.1 Наличие актов приемки-сдачи работ по расчистке просек на ВЛ с указанием оценки качества работ. Приказ ОАО "ФСК ЕЭС" от 07.04.2008 № 114 п.4.5

- 3.5.2 Наличие актов проведения химработ ( указывается объем химработ в га, произведенных на каждом из участков просеки ВЛ в границах пролета. Каждый из актов составляется для работ на участках площадью не более 200 га.) Приказ от 07.04.2008 №114 прилож.4 п.1.4.5
- 
- 4. Контроль (анализ)
- 4.1 Выезд на место проведения работ
- 4.1.1 Наличие отчетов о качестве и сроках выполнения работ путем выборочных проверок. Приказ ОАО "ФСК ЕЭС" от 07.04.2008 № 114 п.4.3
- 4.1.2 Наличие в актах выполнения работ оценки однократной химобработки( должно быть обеспечено отмирание и предотвращение порослеобразования не менее 95% ДКР (максимальной высотой 12 метров). Приказ от 07.04.2008 №114 прилож.4 п.1.4.6
- 4.1.3 Определен порядок приемки-сдачи работ на ВЛ при выполнении внешним Подрядчиком (согласно договора). Приказ от 07.04.2008 № 114 п.4.5
- 4.2 Оценка качества выполнения работ
- 4.2.1 Наличие оценок по качеству выполнения работ по расчистке от ДКР в актах выполнения работ. п.1.6.12 ПТЭ
- 4.2.2 Наличие претензий со стороны Заказчика, как соблюдалось условие, что Подрядчик должен устранить за свой счет ДКР в случае ее возобновления на площади, превышающей 5% от общей площади химически обработанных участков просек ВЛ, указанных в соответствующем акте проведения химработ. Гарантия сохранения нормативного состояния просек ВЛ должна составлять не менее 10 лет после химобработки (для Приморского края - не менее 6 лет). Приказ от 07.04.2008 №114 прилож.4 п.1.4.6
- 4.3 Выезд на место проведения работ с осуществлением выборочного контроля ТИ МЭС 4.3.1 Как осуществляется выборочный контроль со стороны ТИ (как планируют, на какие работы выезжают, сколько раз в год и т.д.).
- 4.4 Заключение о качестве выполнения работ
- 4.4.1 Наличие актов проверки с выявленными замечаниями в соответствии с Положением о ТИ МЭС.
- 
- 5. Воздействие (корректировка)
- 5.1 Учет анализа аварийности при составлении целевых программ
- 5.1.1 Наличие в МЭС анализа учета аварийности и его учет при составлении целевых программ.
- 5.2 Корректировка объемов по основной деятельности целевых программ
- 5.2.1 Наличие скорректированных ЦП (объемы, утвержденные).
- 5.3 Ликвидация технологических нарушений и выполнение мероприятий из АРТН
- 5.3.1 Выполнение мероприятий из АРТН, отчеты по ликвидации технологических нарушений.
- 5.4 Новые ОРД по расчистке просек
- 5.4.1 Исполнение новых ОРД при выполнении работ по расчистке просек (как учитывается, местные ОРД по предприятию, наличие отчетов).
- 5.5 Анализ производственной деятельности при планировании работ в будущие периоды

- **5.5.1 Наличие скорректированных планов работ на следующий год с учетом анализа технологических нарушений, аварийности за прошедший год.**

### **5.3. Отчёт по итогам аудита трасс ВЛ (пример).**

|  Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.<br><a href="#">Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Exports Features</a> |                                                      |                                                                                             |                                                                                  | Урал                                      |                    | Центр                                    |                                           | Северо-Запад                  |                                               |                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                              |                                                      |                                                                                             |                                                                                  | использование при планировании            | наличие            | качество                                 | использование при планировании            | наличие                       | качество                                      | использование при планировании |
| 1                                                                                                                                                                                                                                            | Листки осмотров ВЛ                                   | Составляются только листки плановых осмотров ВЛ. Листки аварийных осмотров не составляются. | Не всегда соответствуют действительности*                                        | Планирование основано на листках осмотров | Составляются       | Не всегда соответствуют действительности | Планирование основано на листках осмотров | Составляются по план осмотрам | Не всегда соответствуют действительности      | Используются при планировании  |
| 2                                                                                                                                                                                                                                            | Журнал учета неисправностей ВЛ (дефектная ведомость) | Ведется                                                                                     | Качество ведения журналов, как правило, неудовлетворительное                     | Не используется                           | Ведется            | Не в полном объеме                       | Используется                              | Ведется                       | Не указываются нарушения на трассах           | Не используется                |
| 3                                                                                                                                                                                                                                            | Журнал учета работ на ВЛ                             | Ведется (пополняется информация о выполненных работах)                                      | Качество ведения журналов, как правило, неудовлетворительное                     | Не используется                           | Ведется            | Соответствует действительности           | Не используется                           | Не полная информация          | Качество ведения журнала неудовлетворительное | Используется частично          |
| 4                                                                                                                                                                                                                                            | Паспорт ВЛ                                           | Имеются в наличии                                                                           | Информация о зааснованных участках устарела (брошенные поля заросли кустарником) | Не используется                           | Не в полном объеме | Не всегда соответствуют действительности | Используется                              | Имеются в наличии             | Не всегда соответствуют действительности      | Не используется                |

|  Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.<br><a href="#">Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Exports Features</a> |                                                  |                                                      |                     | Урал                                |                                | Центр              |                                   | Северо-Запад                                   |                                               |                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|
| № п/п                                                                                                                                                                                                                                           |                                                  |                                                      |                     | использование при планировании      | наличие                        | качество           | использование при планировании    | наличие                                        | качество                                      | использование при планировании |
| 5                                                                                                                                                                                                                                               | Проектная документация                           | Не на все ВЛ 220 кВ*                                 | Не в полном объеме* | Не используется                     | Не на все ВЛ 220 кВ            | Не в полном объеме | Не используется                   | Не на все ВЛ 220-330 кВ, в ЛенПМЭС отсутствует | Не в полном объеме, в НовгПМЭС только профили | Не используется                |
| 6                                                                                                                                                                                                                                               | Многолетний план работы (периодичность расчетов) | Не составлен. Преодоличность расчетов не установлена | -                   | -                                   | Не в полном объеме             | Не в полном объеме | Используется                      | Не составлен, периодичность не установлена     | -                                             | -                              |
| 7                                                                                                                                                                                                                                               | Анализ аварийности                               | Не проводится                                        | -                   | -                                   | ТОиР не проводит, МЭС проводит | -                  | -                                 | Проводится                                     | Не достаточен                                 | Используется частично          |
| 8                                                                                                                                                                                                                                               | Использование КСУП Р                             | Рабочие места организованы**                         | -                   | Где есть доступ - не используется** | Не везде есть доступ           | -                  | Где есть доступ - не используется | Не везде есть доступ                           | -                                             | Используется частично в ОЛ МЭС |



#### 5.4. Приборы для диагностики опор ВЛ. ИТОМ-10 - Измеритель тяжения оттяжек механический

- Измеритель тяжения оттяжек механический предназначен для контроля натяжения оттяжек опор воздушных линий электропередачи при их строительстве и эксплуатации.
- Принцип действия измерителя ИТОМ-10 основывается на измерении упругих деформаций натянутого каната: по прогибу каната, создаваемому сосредоточенными силами от роликов прибора и эксцентрика, определяется натяжение каната оттяжки.

##### Технические характеристики измерителя

- Измеряемое усилие, т 0-10,0
- Цена деления шкалы, кг 100
- Погрешность измерения не более, %  $\pm 2$
- Диаметр измеряемого троса, мм 13,0 – 22,5
- База измерителя, мм 600
- Допустимая температура эксплуатации, °С -60...+50
- Габариты, мм 625x320x60
- Вес измерителя, кг 3,5
- Индикация стрелочная

ИТОЭ-10 также используется для измерения усилий в арматуре при изготовлении железобетонных изделий



## Дефектоскоп для ручного контроля сварных швов Olympus NDT EPOCH 1000i



- Применение
- Общий контроль сварных швов
- Поиск и определение размеров трещин
- Энергетическая промышленность
- Контроль сварных швов по AWS D1.1/D1.5
- Контроль литых и кованных изделий
- Определение размеров дефектов по АРД-диаграммам
- Применение с промышленными системами контроля
- Обнаружение дефектов и расслоений в композитах
- Аэрокосмическая промышленность и обслуживание авиационной техники
- Автомобильная и транспортная промышленность

### 5.5. Основные замечания выявленные в ходе проверки трасс ВЛ

**Значительная степень коррозии заглубленных металлических несущих элементов опор.** При строительстве данной ВЛ в 1962 - 1968 гг. установка U-образных болтов промежуточных опор выполнялась без их предварительного изоляционного покрытия полимерными липкими лентами или покрытий на основе битумно-резиновых, битумно-полимерных и т.п. составов с армирующей обмоткой, что в настоящее время предписано требованиями СНиП 2.03.11-85 и СП 28.13330.2012 как для конструкций, расположенных в грунте.

Из опыта эксплуатации известно, что самое уязвимое место обрыва U-образных болтов (*как жизненно важных несущих элементов опор*) вследствие коррозии находится на участке U-образного болта, расположенном вблизи места крепления U-образного болта в петле анкерной плиты. Для примера ниже представлены фото фрагментов поврежденного коррозией U-образного болта анкерной ж/б опоры другой ВЛ 220 кВ, демонтированного по факту аварии, произошедшей в январе 2011 года (*также не обработанного при монтаже*



*изоляционными покрытиями на основе битумно-резиновых, битумно-полимерных и т.п. составов с армирующей обмоткой).* В нижней части левого фотоснимка видно, что верхние участки U-образного болта внешне практически не имеют следов коррозии с потерей сечения, тогда как нижние его части локально имеют 100%-ную степень разрушения сечения.

- В свою очередь, использование применяющихся приборов неразрушающего контроля для диагностики состояния U-образных болтов, например марки *OLYMPUS Epoch-1000* требует тщательного подхода применительно к диагностике несущих элементов опор ВЛ. В частности, в «Методических рекомендациях по диагностике U-образных и анкерных болтов с использованием дефектоскопа OLYMPUS Epoch 1000» одним из критериев отбраковки U-образного болта является следующее: *«...Болт считается проблемным и требующим повторного обследования через 1 год при уменьшении диаметра в зонах А и В (на прямых участках) от 20% до 50%; более 50% - требующим замены...»*.
  - В ходе проверки было выявлено наличие навалов грунта на клин-коушах оттяжек опоры № 103, послужившее предпосылками для коррозии данных элементов, а также коррозии петель уложенных в них тросов оттяжек с обрывом части жил.
- Представленный на фото трос вантовой оттяжки опоры № 103, имеющий видимые разрывы отдельных жил вследствие коррозии с большой долей вероятности имеет еще большую степень коррозионного износа, которая находится за границами допустимого п. 4.6.3. СО 34.20.504-94, согласно которому, *«...при уменьшении сечения более 20% оттяжка должна быть заменена...»*. Кроме того, в соответствии с приведенной в пункте 2.1.1 данного акта-предписания аргументацией, предельное значение износа несущих элементов составляет 10%, что еще более ужесточает требования к механической прочности несущих элементов опор.
- в ходе проверки были выявлены факты наличия ДКР в площадях опор

Замоноличивание корродировавших заземляющих спусков, имеющих слой пористой окалины в бетон, кроме того создает условия для его разрушения: влага из раствора, скапливаясь в порах ржавчины, создает условия для дальнейшего окисления металла спуска. В свою очередь, окислы в сравнении с неокисленным металлом занимают на порядок больший объем и в процессе дальнейшей коррозии, образуясь внутри фундаментов, разрывают бетон изнутри (*данная аргументация приведена в п. 5.3.3.6. СТО 56947007-29.240.55.111-2011*).

Невыполнение требований Приказа «О повышении надежности пересечений и сближений ВЛ» в части отсутствия механических связей (лучевых коромысел) между всеми цепями натяжных подвесок проводов расщепленных фаз опоры № 30 в сторону опоры № 29, образующих пересечение с ВЛ-110 кВ.

*Отсутствие механических связей (лучевых коромысел) в натяжных подвесках расщепленных проводов фаз опоры № 30 (показаны маленькими стрелками) в пролете опор №№ 29 – 30, образующем пересечение ВЛ-110 кВ (ее провода показаны большой стрелкой)*

В связи с удешевлением работ и уменьшением времени на их выполнение замена фарфоровой изоляции на стеклянную ситуативно производилась на той или иной подвеске частично – при этом не менялись первые от проводов фарфоровые изоляторы

- Данный недостаток образовался вследствие несоответствия узлов креплений изоляторов старого и нового типов к арматуре проводов.
- Несмотря на то, что электрическая прочность одного изолятора в гирлянде ВЛ-330 кВ не оказывает существенного воздействия на электрическую прочность всей гирлянды, сверхнормативные сроки эксплуатации фарфоровых изоляторов могут оказать негативное воздействие на снижение *механической* прочности подвесок
- фаз, что может повлечь за собой их расщепление. При этом, поскольку натяжные подвески (в частности, на опоре № 162) не оборудованы механическими связями со стороны проводов, то расщепление той или иной гирлянды повлечет за собой падение или приближение на недопустимый габарит фазного провода. Данная неисправность как минимум, повлечет за собой аварийное отключение ВЛ, а в отдельных случаях может создать угрозу жизни и здоровью людей, а также иные значимые последствия.
- Нарушение требований п. 4.5.1.1. СО 34.20.504-94 в части несоответствия нанесенных на опоры обозначений ВЛ ее действующему диспетчерскому наименованию.

#### 1. Диагностика силовых кабельных линий.

## **КАБЕЛИ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА (СПЭ).**

### **Преимущества и недостатки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена.**

В последние годы на российском рынке получили широкое распространение кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). В сопроводительной документации, предоставляемой изготовителями,

перечисляются преимущества кабелей с изоляцией из СПЭ перед кабелями с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ):

- возможность прокладки на участках с большим перепадом высот;
- большая пропускная способность за счет увеличения допустимой температуры жилы до 90 °С (допустимые токи нагрузки на 15-30% больше чем у кабеля с БПИ);
- больший ток КЗ, примерно в 1,5 раза;
- увеличенный срок службы по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией;
- высокий уровень надежности значительно снижает количество повреждений;
- высокий уровень гибкости облегчает прокладку кабеля на сложных трассах, экономя ресурсы и время монтажной организации;
- полимерные материалы, используемые для изготовления изоляции, позволяют прокладывать кабели при температурах до -20°С без предварительного подогрева;
- сниженные по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией диэлектрические потери;
- большая строительная длина.

Несмотря на преимущества кабелей с изоляцией из СПЭ, их доля в общем объеме производства силовых кабелей на напряжение 6-35 кВ небольшая и за последние три года практически не выросла (данные на начало 2011 года) [1]. Это объясняется тем, что основное потребление кабеля приходится на проведение ремонтных работ. А при проведении ремонта кабельной линии (КЛ), где используется БПИ, в большинстве случаев вырезанный участок заменяется ему подобным, т.е. на кабель с БПИ. При строительстве новых КЛ используются в основном кабели с СПЭ-изоляцией.

Структура потребления силовых кабелей по направлениям применения складывается следующим образом:

- ремонт КЛ – 55%
- реконструкция – 27%
- новое строительство – 18%

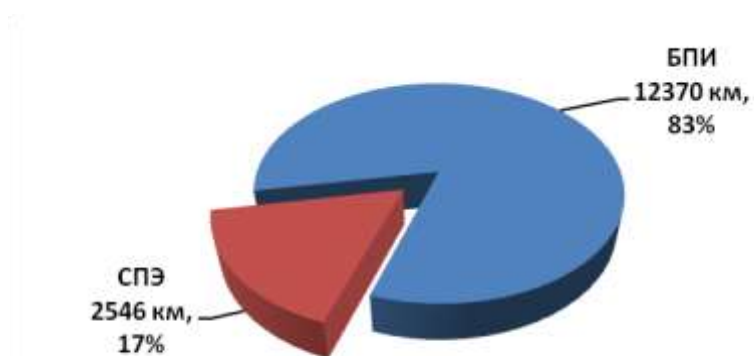


Рисунок 1 - Производство силового кабеля на напряжение (6-35 кВ) по типу изоляции (2010 г.)

(более свежую информацию (на 2011-2012 гг.) найти не удалось)

Это и объясняет небольшую долю кабеля СПЭ-изоляцией в общем производстве силового кабеля.

В процессе внедрения кабелей с СПЭ-изоляцией в эксплуатацию проектные, монтажные и эксплуатирующие организации столкнулись с рядом проблем. Главная из них – отсутствие общероссийских нормативных документов на все виды работ при использовании кабелей с изоляцией из СПЭ. Уже на этапе проектирования возникают несоответствия с рекомендациями для европейских систем, поскольку сечение экрана кабеля для его использования в системах с заземленной и изолированной нейтралью различно (16-35 мм<sup>2</sup> и 50-150 мм<sup>2</sup> соответственно). Также не существует единой инструкции для прокладки кабеля с СПЭ-изоляцией, каждый изготовитель разрабатывает её самостоятельно. Получается, что на одну и ту же марку кабеля по ТУ может существовать более 10 инструкций, регламентирующих требования к прокладке кабельных линий.

**Сравнительные характеристики кабеля с БПИ и изоляцией из СПЭ [6].**

В основном кабели с СПЭ-изоляцией выпускаются в одножильном исполнении, а применение различных типов оболочек и возможность герметизации позволяет использовать кабель как для прокладки в земле, так и для кабельных сооружений, в том числе при групповой прокладке.

СПЭ кабель может заменить кабель с бумажной изоляцией практически во всех случаях, однако на этапе внедрения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на том или ином предприятии необходимо выделить те области, где их применение наиболее целесообразно. Для этого проведем короткое технико-экономическое сравнение традиционных и СПЭ кабелей. К сожалению из-за различий в затратах на ремонты и содержание кабельных линий для конкретных предприятий, разницу в общих эксплуатационных затратах оценить затруднительно, поэтому предлагаем сравнивать только первоначальные вложения в кабель.

Для корректного сравнения возьмем кабели с одинаковой пропускной способностью – бумажный АСБ 3х240 10 кВ и три однофазных кабеля АПвП 1х185/25–10 кВ. Сравнительные характеристики кабелей приведены в Таблице 1.

Таблица 1

| Параметры сравнения                     | Кабель с бумажной<br>изоляцией<br><br>АСБ 3х240 – 10 кВ                             | Одножильный кабель с<br>СПЭ изоляцией<br><br>3хАПвП 1х185/25 – 10 кВ                  |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Вид кабеля в разрезе                    |  |  |
| Сечение жил, мм2                        | 240                                                                                 | 185                                                                                   |
| Ток нагрузки при прокладке в земле, А   | 355                                                                                 | В плоскости/треугольником<br><br>375/360                                              |
| Максимально-допустимый 1-сек ток КЗ, кА | 20,56                                                                               | 17,5                                                                                  |
| Наружный диаметр, мм                    | 62                                                                                  | 36                                                                                    |
| Строительная длина, м                   | 500-600                                                                             | До 1400                                                                               |

|                                   |            |               |
|-----------------------------------|------------|---------------|
| Минимальный радиус изгиба, м      | 1,64       | 0,54          |
| Масса, кг/км                      | 7050       | 1370(4110)    |
| Допустимая разность уровней, м    | 15         | не ограничена |
| <b>Сравнительная стоимость, %</b> | <b>100</b> | <b>160</b>    |

Из приведенных данных видно, что при одинаковой пропускной способности и лучших остальных параметрах стоимость СПЭ кабеля примерно на 60–70% выше. Это объясняется более дорогими материалами и технологией изготовления.

Данная картина меняется кардинально при возрастании требований по пропускной способности кабельной линии. Так, параллельные кабели АСБ 1х240 10 кВ целесообразно заменить СПЭ кабелем большего сечения (см. Таблицу 2).

Таблица 2

| Параметры сравнения                     | Кабель с бумажной изоляцией<br>2 х АСБ 3х240                                        | Одножильный кабель с СПЭ изоляцией<br>3 х АПвП 1х500/25                               |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Вид кабеля в разрезе                    |  |  |
| Сечение жил, мм2                        | 240                                                                                 | 500                                                                                   |
| Ток нагрузки при прокладке в земле, А   | 639                                                                                 | В плоскости/треугольником<br>650/610                                                  |
| Максимально-допустимый 1-сек ток КЗ, кА | 20,56                                                                               | 47                                                                                    |
| Наружный диаметр, мм                    | 62                                                                                  | 46                                                                                    |
| Строительная длина, м                   | 500-600                                                                             | До 850                                                                                |
| Минимальный радиус изгиба, м            | 1,64                                                                                | 0,74                                                                                  |
| Масса, кг/км                            | 2х7050                                                                              | 2570(7110)                                                                            |
| Допустимая разность уровней, м          | 15                                                                                  | не ограничена                                                                         |
| <b>Сравнительная стоимость, %</b>       | <b>100</b>                                                                          | <b>115-120</b>                                                                        |

Для СПЭ кабеля на напряжение 35 кВ ситуация еще более благоприятная (см. Таблицу 3).

Таблица 3

| Параметры сравнения | Кабель с бумажной изоляцией | Одножильный кабель с СПЭ изоляцией |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------------|
|---------------------|-----------------------------|------------------------------------|

|                                         | <b>АОСБ 3х150 – 35 кВ</b>                                                         | <b>3 х АПвП 1х150/25 – 35 кВ</b>                                                    |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Вид кабеля в разрезе                    |  |  |
| Сечение жил, мм <sup>2</sup>            | 150                                                                               | 150                                                                                 |
| Ток нагрузки при прокладке в земле, А   | 250                                                                               | В плоскости/треугольником<br>350/330                                                |
| Максимально-допустимый 1-сек ток КЗ, кА | 7,58                                                                              | 14,2                                                                                |
| Строительная длина, м                   | 300                                                                               | До 1000                                                                             |
| Минимальный радиус изгиба, м            | 1,45                                                                              | 0,67                                                                                |
| Масса, кг/км                            | 6400                                                                              | 1805(5415)                                                                          |
| Допустимая разность уровней, м          | 15                                                                                | не ограничена                                                                       |
| <b>Сравнительная стоимость, %</b>       | <b>100</b>                                                                        | <b>100-105</b>                                                                      |

Это объясняется тем, что на этот класс напряжений применение конструкции с секторными жилами невозможно. Поэтому бумажные кабели изготавливаются с отдельно оцинкованными жилами, что влечет за собой значительное удорожание по сравнению с кабелями 10 кВ. Стоимости кабелей с бумажной и полиэтиленовой изоляцией одинакового сечения приблизительно равны. Однако, как видно из Таблицы 3, полиэтиленовый кабель дает 40%–ное преимущество по нагрузочной способности.

## Испытание кабелей с изоляцией из СПЭ.

На данный момент общая нормативная база по испытаниям кабелей с СПЭ-изоляцией отсутствует. В связи с этим обычной проблемой для многих предприятий, впервые сталкивающихся с данным типом кабеля, является вопрос их обслуживания. Нормы приемосдаточных испытаний берутся из разных источников; в основном они определяются заводами-изготовителями на основе зарубежного опыта.

Вопросам испытаний и диагностики состояния кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена за рубежом уделяется довольно много внимания. Связано это прежде всего с особенностями конструкции самого кабеля и материалом изоляции, поэтому для структуризации информации по вопросам обслуживания и диагностики кабельных линий с СПЭ-изоляцией самым логичным путем было бы обратиться к опыту коллег из Европы.

## Основные повреждения кабелей с СПЭ-изоляцией

Основные типы повреждений кабелей с СПЭ-изоляцией:

- внешние повреждения изоляции, вызванные нарушением технологии прокладки, — около 70% от общего количества повреждений;
- внутренние повреждения изоляции, вызванные неправильной эксплуатацией, например, испытания постоянным напряжением или естественным старением — образование триингов или «водных



деревьев»;

- повреждения защитного экрана и жил кабеля.

Испытание напряжением постоянного тока, которое в течение нескольких десятилетий успешно использовалось для тестирования кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией, для кабелей с пластиковой изоляцией оказалось непригодным. При этих испытаниях в изоляции на инородных микровключениях молекул воды образуется объемный заряд, который не разряжается при традиционном снятии остаточного заряда с кабеля путем заземления, так как сверху и снизу от этого внутреннего «конденсатора» диэлектрик — сшитый полиэтилен.

При последующей подаче рабочего напряжения переменного тока происходит суммирование напряженностей электрических полей, что может привести к локальному превышению предела прочности изоляции и появлению так называемых электрических древовидных структур. Возникает необратимое повреждение изоляции, и частичные разряды, появляющиеся в этом уже слабом месте изоляции, способствуют развитию «водяных деревьев». Также это явление возникает при действии электрического поля, воды, механических дефектов и времени. То есть при появлении «водяных деревьев» под действием вышеперечисленных факторов через некоторое время в месте их скопления происходит пробой. Кроме того, испытания повышенным напряжением постоянного тока не позволяют выявить даже возникших серьезных повреждений.

По этой причине для испытаний кабеля с СПЭ-изоляцией необходимо использовать переменное напряжение. Постоянное изменение полярности заряда компенсирует накапливающиеся заряды, разряжая их. Особенно эффективно испытание на синусоидальном напряжении сверхнизкой частоты (СНЧ), так как при этом достигается максимальная скорость развития пробоя и наверняка будут выявлены все присутствующие дефекты за время испытания. Важно, чтобы форма выходного напряжения была симметричной.

При испытании несинусоидальным напряжением вид сигнала очень зависит от величины нагрузки. Это означает, что положительная и отрицательная половины цикла не идентичны. Из-за этого может произойти накопление постоянной составляющей и создается объемный заряд, который может впоследствии повредить кабель, чего не происходит при полностью симметричной форме синусоиды испытательного напряжения.



Рисунок 2. Сравнение форм выходного напряжения

Одним из основных научных разработчиков в этой области является компания BAUR, которая совместно с ведущими научными университетами Германии в 1995 году провела ряд исследований, позволивших разработать первую систему, предназначенную для проведения высоковольтных испытаний кабелей напряжением сверхнизкой частоты. Особенностью этой системы является запатентованная компанией BAUR цифровая технология формирования выходного сигнала truesinus® (чистый синус), представляющая собой самую современную технологию генерации высокого напряжения сверхнизкой частоты (VLF), которой снабжаются СНЧ-установки Frida, Viola и PHG.

Данные установки позволяют проводить испытание кабелей с высокой степенью надежности и выявлять до 90% потенциальных пробоев в течение первых 30 минут испытаний. Исходя из результатов данных исследований, была разработана инструкция **VDE DIN 0276-620**, согласно которой нормой испытаний кабелей с изоляцией из СПЭ определено напряжение, равное  $3U_0$  частотой 0,1 Гц в течение 30 минут (табл. 1).

Таблица 1. Нормы испытаний кабелей с СПЭ-изоляцией согласно **VDE DIN 0276-620**

| Напряжение кабельной линии, кВ | Испытательное напряжение на 0,1 Гц $3U_0^*$ , кВ | Длительность приложения испытательного напряжения 0,1 Гц |
|--------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 6                              | 12                                               | 30 мин                                                   |
| 10                             | 18                                               |                                                          |
| 20                             | 35                                               |                                                          |
| 35                             | 60                                               |                                                          |

\*  $U_0$  — фазное напряжение кабельной линии ( $U_0 = U/\sqrt{3}$ ).

Согласно нормам **VDE DIN 0276-620** специалисты «Московских кабельных сетей» - организации, первой в России внедрившей кабели с СПЭ-изоляцией в собственном энергохозяйстве и имеющей самый богатый опыт работы с данным видом кабелей, разработали свою инструкцию по испытаниям кабельных линий под названием **УП-Б-1** (табл. 2).

Таблица 2. Нормы испытаний кабелей с СПЭ-изоляцией согласно инструкции **УП-Б-1**

| Напряжение кабельной линии, кВ | Испытательное напряжение на 0,1 Гц, $3U_0$ , кВ | Длительность приложения испытательного напряжения | Длительность приложения испытательного напряжения 0,1 Гц после ремонта |
|--------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 6                              | 12                                              | 30 мин.                                           | 20 мин.                                                                |
| 10                             | 18                                              |                                                   |                                                                        |
| 20                             | 35                                              |                                                   |                                                                        |
| 35                             | 60                                              |                                                   |                                                                        |

Периодичность испытаний кабельных линий с СПЭ-изоляцией. Кабельные линии 10, 20 и 35 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена, включая кабельные вставки, испытываются:

- перед включением КЛ в эксплуатацию;
- после ремонтов КЛ.

**Рекомендации производителей по испытаниям кабельной продукции (Камкабель, АББ Москабель):**

**Кабели 6-35 кВ**

После прокладки и монтажа кабелей рекомендуется проводить испытание кабельной линии переменным напряжением частотой 0,1 Гц в течение 15 мин напряжением равным  $3U_0$  или переменным номинальным напряжением  $U_0$  в течение 24 ч, приложенным между жилой и металлическим экраном.

Оболочка кабеля после прокладки должна быть испытана постоянным напряжением 10 кВ, приложенным между металлическим экраном и заземлителем в течение 10 мин.

После испытания постоянным напряжением необходимо заземлить токопроводящую жилу или соединить ее с медным экраном на время не менее 1 ч.

**Кабели 100-220 кВ**

После прокладки и монтажа кабельной линии перед вводом в эксплуатацию каждая фаза должна выдержать испытание переменным напряжением  $2U_0$  для кабелей на напряжение 110 кВ и переменным напряжением  $1.7U_0$  для кабелей на напряжение 220 кВ одной из частот в диапазоне от 20 до 300 Гц в течение 1 часа или номинальным напряжением  $U_0$  в течение 24 часов, приложенным между жилой и металлическим экраном.

Оболочка кабеля после прокладки должна быть испытана постоянным напряжением 10 кВ в течение 1 минуты, приложенным между металлическим экраном и заземлителем.

Эксплуатация кабельных линий должна осуществляться с соблюдением действующих правил эксплуатации электроустановок.

**Нормы испытаний по стандарту HD 620 S1**

После прокладки и монтажа кабелей рекомендуется проводить испытание кабельной линии переменным напряжением частотой 0,1 Гц в течение 60 мин напряжением  $3U_{ном}$  или частотой 45-65 Гц в течение 60 мин напряжением  $2U_{ном}$ .

### **Нормы испытаний по стандарту IEC 60502-2**

После прокладки и монтажа кабелей проводить испытание кабельной линии постоянным напряжением величиной  $4U_{ном}$  в течение 15 мин. Так же при договоренности потребители и поставщика можно проводить испытания переменным напряжением промышленной частоты 2-мя способами на выбор:

- испытание проводится напряжением равным  $\sqrt{3}U_{ном}$  приложенным между проводящей жилой и экраном в течение 15 минут;
- испытание проводится при номинальном напряжении в течение 24 часов.

### **IEEE400.2 Руководство по полевым испытаниям кабеля напряжением СНЧ**

| Напряжение, кВ |                |               |                |
|----------------|----------------|---------------|----------------|
| Рабочее        | При испытаниях |               |                |
|                | Монтаж         | Ввод в работу | В эксплуатации |
| 2,9            | 9              | 10            | 7              |
| 4,6            | 11             | 13            | 10             |
| 8,7            | 18             | 20            | 16             |
| 14,5           | 27             | 31            | 23             |
| 20,2           | 39             | 44            | 33             |
| 26,6           | 51             | 58            | 43             |
| 39,9           | 76             | 86            | 65             |

Руководство предлагает самим определиться какое время испытывать кабель, но в то же время приводит статистику, что из 15000 проверенных кабелей с СПЭ изоляцией за 15 минут испытания было выявлено 68 % дефектов, а за час – 100 %. Так же руководство допускает снижение частоты до 0,0001 Гц.

### **Примечание:**

Выдержка из методических указаний по применению силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ и выше (стандарт ОАО ФСК ЕЭС, 2009.01.22):

«8.4 Требования к методам и устройствам диагностики кабеля

Для диагностики кабелей с изоляцией из СПЭ следует:

- применять неразрушающие методы испытаний и диагностики технического состояния изоляционной системы кабеля;

- прогнозировать остаточный ресурс и проводить профилактические испытания кабеля на основе мониторинга технического состояния изоляции кабеля»

## **Диагностика кабелей с изоляцией из СПЭ.**

В настоящее время в России отмечен всплеск интереса к системам, позволяющим проводить диагностику электрооборудования неразрушающими методами контроля. ОАО «ФСК ЕЭС» в «Положении о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» в распределительном электросетевом комплексе» четко сформулировало общую тенденцию: «В кабельных сетях следует перейти от разрушающих методов испытаний (высоковольтные испытания выпрямленным постоянным напряжением) на неразрушающие методы диагностики состояния кабеля с прогнозированием состояния изоляции кабеля» (НРЭ №11, 2006 г., п. 2.6.6).

Наиболее распространенными и эффективными методами неразрушающего контроля высоковольтных кабельных линий являются:

- измерение тангенса угла диэлектрических потерь;
- измерение частичных разрядов (ЧР) с локализацией их источника.

Интерес к методикам обусловлен следующими причинами:

- диагностика тангенса диэлектрических потерь и частичных разрядов — в первую очередь метод неразрушающего контроля;
- наглядность полученных результатов;
- возможность оценки остаточного ресурса и выявления наиболее слабых участков изоляции кабеля;
- выявление частичных разрядов на ранних стадиях их формирования;
- локализация точного местоположения скопления частичных разрядов;
- универсальность систем — применимость для всех типов изоляции кабельных линий.

Особенностью неразрушающих методов испытаний является то, что:

- диагностика — превентивная мера, позволяющая предупредить возникновение аварийных ситуаций, не связанных с механическими повреждениями кабельных линий;
- цель таких испытаний не добиться пробоя изоляции в слабом месте, а его прогнозирование;
- приложение меньших напряжений снижает уровень старения изоляции кабельных линий;
- видимый результат — информация о текущем состоянии изоляции и ее остаточном ресурсе. Возможность сохранения данных позволяет отслеживать динамику изменения состояния изоляции.

### **Измерение тангенса диэлектрических потерь**

Одним из серьезных преимуществ испытательного напряжения частотой 0,1 Гц с синусоидальной формой волны является возможность применения диагностики методом измерения тангенса угла диэлектрических потерь.

Диагностика с использованием измерения тангенса угла потерь предоставляет информацию относительно характеристик старения кабелей как с СПЭ, так и с бумажно-пропитанной изоляцией. Можно различать новые, слегка и сильно поврежденные кабели (рисунок 3).

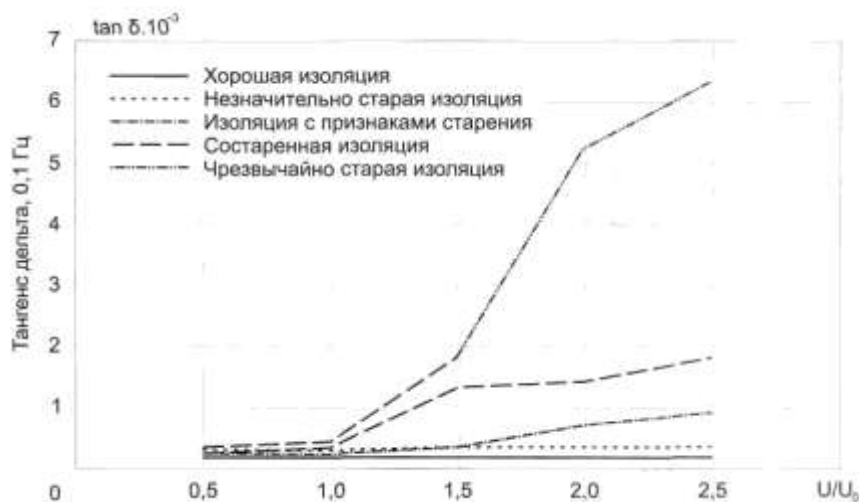


Рисунок 3 - Градация состояния кабельных линий относительно уровня диэлектрических характеристик изоляции

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь позволяет:

- выявить наиболее проблемные кабели, требующие повышенного внимания;
- разработать оптимальную стратегию модернизации кабельного хозяйства сетевых предприятий.

Значение тангенса угла потерь измеряется при различных уровнях напряжения в диапазоне от  $U_0$  до  $2U_0$ , а затем производится их анализ. Проведенные измерения дают возможность получить график с установленными критериями, позволяющий наглядно увидеть отношение измеренного тангенса диэлектрических потерь к величине напряжения, по которым можно определить состояние изоляции кабеля в целом.

*Рекомендуемые нормы оценки состояния изоляции кабельных линий с СПЭ-изоляцией:*

| Состояние изоляции                                                                  | Критерии                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Хорошее                                                                             | $\text{tgд}(2U_0) < 0,12\%$<br>и/или<br>$[\text{tgд}(2U_0) - \text{tgд}(U_0)] < 0,06\%$ |
| Плохое (требующее повышенного внимания и локального выявления слабых мест изоляции) | $\text{tgд}(2U_0) > 0,22\%$<br>и/или<br>$[\text{tgд}(2U_0) - \text{tgд}(U_0)] > 0,1\%$  |

*Рекомендуемые нормы оценки состояния изоляции кабельных линий с бумажно-пропитанной изоляцией:*

| Состояние изоляции                                                                  | Критерии                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Хорошее                                                                             | $\text{tg}\delta(2U_0) < 3,5\%$<br>и/или<br>$[\text{tg}\delta(2U_0) - \text{tg}\delta(U_0)] < 1,2\%$ |
| Плохое (требующее повышенного внимания и локального выявления слабых мест изоляции) | $\text{tg}\delta(2U_0) > 7,3\%$<br>и/или<br>$[\text{tg}\delta(2U_0) - \text{tg}\delta(U_0)] > 3,6\%$ |

Также на значения тангенса угла диэлектрических потерь оказывает влияние локальная интенсивность частичных разрядов в кабеле. Поэтому, получая неудовлетворительные результаты измерений тангенса угла, нельзя констатировать непригодность кабеля к дальнейшей эксплуатации. Данный метод позволяет быстро и без негативного влияния на кабель получить общую картину состояния изоляции и в дальнейшем проблемные кабели взять под контроль.

#### Измерение частичных разрядов и локализация их источника

Частичный разряд (ЧР) — это частичный электрический пробой в диэлектрическом материале, который возникает в газовых и водяных включениях внутри изоляции. В результате этого образуется токопроводящее пространство между проводником и экраном. Единица измерения ЧР — пико Кулон (пКл). Критерием, общим для всех производителей новых кабелей среднего напряжения с СПЭ-изоляцией, является 5 пКл. При этом участки кабелей с уровнем частичных разрядов 100 пКл и выше использовать нельзя.

Основная опасность ЧР связана со следующими факторами:

- невозможностью их выявления методом обычных испытаний повышенным выпрямленным напряжением;
- их быстрого перехода до состояния пробоя, и как следствие — создание аварийной ситуации в кабеле.

Частичные разряды разрушают изоляцию кабеля, медленно и незаметно выводят сам кабель из строя. Его полное разрушение всего лишь вопрос времени, это может занять и несколько часов, и несколько дней, и даже несколько лет. Наиболее частые источники ЧР — это разделки концевых и соединительных муфт.

Измерение частичных разрядов и определение их источника позволяет существенно повысить достоверность диагностики изоляции кабелей, выявить места и участки с выраженной дефектностью изоляции. Метод измерения ЧР, в свою очередь, обеспечивает получение достоверной информации об ошибках монтажа или изменениях электрических свойств какого-либо участка изоляции кабеля, которые еще не привели к пробоям.



Своевременно определив место образования частичных разрядов, вы сможете отремонтировать кабель прежде, чем он станет совершенно непригодным для использования и повлечет за собой аварию и перебои в электроснабжении.

Предлагается два алгоритма измерения частичных разрядов: временной и числовой.

Оба алгоритма предполагают наличие допустимого предела ЧР на кабель, превышение которого должно быть зафиксировано системой. Далее задается либо:

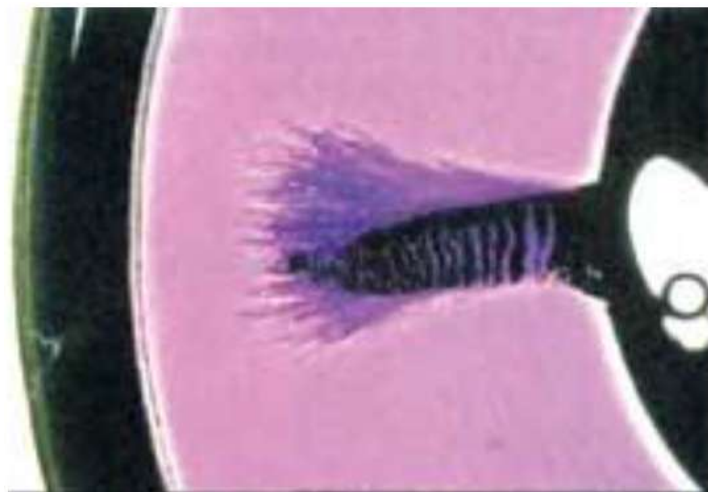
- промежуток времени (от 20 с до 1 мин.), в течение которого система фиксирует все частичные разряды, выходящие за рамки данного предела (преимуществом данного алгоритма является возможность выявления всех ЧР в изоляции);
- количество разрядов, превышающее допустимый предел, который должна зафиксировать система (преимущество данного типа измерений в том, что за короткий промежуток времени можно получить наглядное представление об общем распределении ЧР в изоляции).

Временной алгоритм является более трудоемким, поскольку оператор вынужден работать с большим массивом информации. Он используется реже; в основном при первичной диагностике состояния изоляции кабельной линии. Числовой — менее трудоемкий и при этом оптимально подходит для последующих измерений, целью которых является отслеживание динамики состояния изоляции конкретного кабеля.

# Конструкция кабеля с изоляцией из СПЭ

1. Круглая многопроволочная уплотнённая токопроводящая жила материал -Алюминий, Медь,
2. Экран по жиле из экструдированного полупроводящего сшитого полиэтилена;
- 3 . Изоляция из сшитого полиэтилена (Пв);
4. Экран по изоляции из экструдированного полупроводящего сшитого полиэтилена;
5. Разделительный слой
6. Экран из медных проволок, скреплённых медной лентой разных сечений :
7. Разделительный слой из двух лент крепированной бумаги или прорезиненной ткани или полимерной ленты;
8. Разделительный слой
9. Оболочка: из полиэтилена (П), из полиэтилена, увеличенной толщины (Пу); пластика (В); пластика пониженной пожароопасности.

# ВОДНЫЙ ТРИИНГ типа «ВЕР»



## Выводы.

Внедрение кабеля с изоляцией из СПЭ происходит интенсивно - как видно из предыдущей главы практически все новые кабельные линии прокладываются кабелем с изоляцией из сшитого полиэтилена. Хотя по результатам опроса видно, что многие организации уже имеют необходимое оборудование, практически все они готовы увеличить их количество и интересовались, готовы ли мы предложить своё испытательное оборудование. Отмечали, что кроме функций испытаний, хотели бы иметь и диагностические, такие как измерение ЧР, определение места повреждения и т.п.. Хочу дополнить, что оборудование для проверки традиционного кабеля с бумажно-пропитанной изоляцией (типа АИД и т.п.) выпускается массово, несмотря на то, что в каждой организации имеется такое оборудование и более чем 1 комплект. Следовательно, чем больше будут внедряться кабели с изоляцией из СПЭ, тем в большем количестве испытательного оборудования будет потребность. Пользователями испытательных установок являются не только сами сети, но и подрядные организации, занимающиеся монтажом линий. Количество испытательных комплектов в эксплуатации на данный момент ограничивается высокой их стоимостью.

Если в перспективе у нашего предприятия имеются планы по выпуску высоковольтного оборудования, считаю целесообразным начать НИР по возможности разработки линейки конкурентоспособных устройств, предназначенных для испытания и диагностики кабелей от 10 до 35 кВ напряжением сверхнизкой частоты. НИР необходим, поскольку на данный момент на нашем предприятии отсутствует опыт работы с высокими напряжениями, в связи с чем, возникает большое количество вопросов, разрешение которых ставит под сомнение успех разработки. Первым этапом считаю разработку испытательной установки, а уже после усовершенствование её путем добавления диагностических функций.

Предлагаемые технические параметры испытательных установок приведены в таблице 2.

### **Примечание:**

\* - Предлагается реализовать возможность снижения частоты для проверки кабелей большей длины, поскольку максимальная проверяемая емкостная нагрузка напрямую зависит от частоты проверочной установки (хотя в стандартах описана проверка частотой только 0,1 Гц)

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Седьмое издание. Утв. Приказом Минэнерго РФ от 09.04.2003 N 150. Введены в действие с 1 сентября 2003 года.
- [2] СО 153.34.20.501-2003 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утверждены приказом Минэнерго РФ от 13 января 2003 года № 6.
- [3] Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 24.07.2013 № 328н, зарегистрированы в Минюсте России 12.12.2013 № 30593.
- [4] Типовая инструкция по охране труда для электромонтера по ремонту и обслуживанию ВЛ, электрооборудования напряжением до 1000 В и свыше 1000 В. ТОИ Р-15-046-97

(утв. 15 декабря 1997 г.), 1998 г.

- [5] Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». СТО 56947007-29.240.55.111 -2011. Методические указания по оценке технического состояния ВЛ и остаточного ресурса компонентов ВЛ. 2011 г.
- [6] Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35 – 800 кВ (РД 34.20.504-94). 1994.
- [7] Стандарт организации ПАО «РОССЕТИ». СТО 34.01-2.2-008-2016. Опоры воздушных линий электропередачи металлические решётчатые. Общие технические требования. 2016 г.
- [8] Стандарт организации ПАО «РОССЕТИ» СТО 34.01-2.2-009-2016. Арматура для воздушных линий электропередачи напряжением 6-110 кВ с защищёнными проводами. Общие технические требования, 2016 г.
- [9] Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». СТО 56947007-29.130.10.197-2015. Методические указания по применению ОПН на ВЛ 6 – 750 кВ, 2015 г.
- [10] Правила устройства опытно - промышленных воздушных линий электропередачи напряжением 6 - 20 кВ с проводами САХ. - М., 1996.
- [11] ГОСТ 839-80 Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия (с Изменениями №1,2).
- [12] ГОСТ 6490-93 Изоляторы линейные подвесные тарельчатые. Общие технические условия.
- [13] ГОСТ 27396-93 (МЭК 120-84) Арматура линейная. Сферические шарнирные соединения изоляторов. Размеры.
- [14] ГОСТ 31946-2012 Провода самонесущие изолированные и защищённые для воздушных линий электропередачи. Общие технические условия.
- [15] ГОСТ Р 51097-97 (2004) Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от гирлянд изоляторов и линейной арматуры. Нормы и методы измерений.
- [16] ГОСТ Р 51155-98 Арматура линейная. Правила приёмки и методы испытаний.
- [17] ГОСТ Р 51177-98 Арматура линейная. Общие технические условия.
- [18] СО 153-34.12.201-88 (РД 34.12.201-88) Правила проведения противоаварийных тренировок персонала электрических станций и сетей. Минэнерго СССР.
- [19] Правила переключений в электроустановках. (приказ Минэнерго России от 13.09.2018 г. N 757)
- [20] Инструкция по переключениям в электроустановках, приказ МЭ РФ № 266 от 30.06.2003 г.
- [21] СО 153-34.20.505-2003 Инструкция по переключениям в электроустановках.
- [22] РД 34.03.284-96. Инструкция по организации и производству работ повышенной опасности. РАО ЕЭС России. 1996
- [23] Инструкция по эксплуатации средств защиты от перенапряжений (СО 153-34.35.514).
- [24] Межотраслевая инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. НЦ «ЭНАС», М. 2001.
- [25] СО 153-34.03.2003. Правила безопасности при работе с инструментом и приспособлениями.
- [26] Правила обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты. Утв. Постановлением Минтруда России от 18.12.98 №51.

- [27] Приказ Минздрава России от 14.03.96 №90 «О порядке проведения предварительных и периодических медицинских осмотров работников и медицинских регламентах допуска к профессиям».
- [28] СО 34.03.284.-96. Инструкция по организации и производству работ повышенной опасности. М.: АО РОСЭП, 1996.
- [29] Межотраслевые правила по охране труда при электро и газосварочных работах, ПОТ РМ-020-2001. (Утверждены Постановлением Минтруда России от 09.10.2001 № 72).
- [30] Межотраслевые правила по охране труда при работе на высоте (ПОТ РМ –012-2000).
- [31] Положение о системе управления охраной труда в подразделениях РАО “ЕЭС России”. (Утверждено Распоряжением РАО “ЕЭС России” от 14.01.98 № 5р).
- [32] СО 34.49.503-94 (РД 34.49.503-94). Типовая инструкция по содержанию и применению первичных средств пожаротушения на объектах энергетической отрасли. (утв. РАО “ЕЭС России” 14.03.94).
- [33] СО 153-34.03.305-2003. Инструкция о мерах пожарной безопасности при проведении огневых работ на энергетических предприятиях. ЦПТИ ОРГРЭС, 2004.
- [34] Типовая инструкция по эксплуатации автоматических установок водяного пожаротушения (СО 34.49.501-95).
- [35] Федеральный закон Российской Федерации «Об электроэнергетике (с изменениями на 8 декабря 2020 года) (редакция, действующая с 1 января 2021 года). Принят Государственной Думой 21 февраля 2003 года. Одобрен Советом Федерации 12 марта 2003 года.
- [36] Хренников А.Ю. Учебное пособие «Высоковольтное электротехническое оборудование и ВЛ - диагностика». ИНФРА-М, 2019. [https://infra-m.ru/catalog/energetika\\_promyshlennost/vysokovoltnoe\\_elektrotekhnicheskoe\\_oborudovani\\_e\\_v\\_elektroenergeticheskikh\\_sistemakh\\_dagnostika\\_defe/?sphrase\\_id=629276](https://infra-m.ru/catalog/energetika_promyshlennost/vysokovoltnoe_elektrotekhnicheskoe_oborudovani_e_v_elektroenergeticheskikh_sistemakh_dagnostika_defe/?sphrase_id=629276)
- [37] Хренников А.Ю. Учебное пособие «Техническая диагностика и аварийность электрооборудования и ВЛ». ЛИТРЕС, 2021 г. [https://www.litres.ru/aleksandr-urevich-hr/tehnicheskaya-dagnostika-i-avariynost-elektrooborudo/?lfrom=516628024&ref\\_key=9bbd15a6610d5bf3868350ab3d8d71dd1368c1c25a81455a5ef30ffbbcadfe0a&ref\\_offer=1](https://www.litres.ru/aleksandr-urevich-hr/tehnicheskaya-dagnostika-i-avariynost-elektrooborudo/?lfrom=516628024&ref_key=9bbd15a6610d5bf3868350ab3d8d71dd1368c1c25a81455a5ef30ffbbcadfe0a&ref_offer=1)

## **ЛИТЕРАТУРА СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ**

- 1.Объём и нормы испытаний электрооборудования РД 34.45-51.300-97.
2. Поляков В.С. Применение тепловизионных приемников для выявления дефектов высоковольтного оборудования. Методические указания , Л: ПЭИПК.- 1990.
3. Бажанов С.А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств. «Библиотечка электротехника» - Приложение к журналу “Энергетик”, М: ИТФ “Энергопрогресс”. - вып. 4 (16), 2000, 75с.

4. Григорьев А.В., Осотов В.Н. О совершенствовании и расширении методов контроля теплового состояния турбогенераторов//Электрические станции. 1999. N 11

5. Хренников А.Ю., Еганов А.Ф., Смолин А.Ю., Щербаков В.В., Языков С.А. Тепловизионный контроль генераторов и импульсное дефектографирование силовых трансформаторов//Электрические станции.- N 8.- 2001.

6. Королев А. Испытание и диагностика кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена: «Кабель – NEWS» №11 ноября 2010, 36-41 с.
7. Голынина Н.Г. Неприятности в погоне за инновациями: «Кабель – NEWS» №11 ноября 2010, 20-27 с.
8. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена не панацея: «Кабель – NEWS» №11 ноября 2010, 28-34 с.
9. Инструкция УП-Б-1 по испытаниям кабельных линий, оборудования распределительных устройств, защитных средств и определению мест повреждений на кабельных линиях
10. Портал [www.ruscable.ru](http://www.ruscable.ru)
11. [www.abb.com](http://www.abb.com)