
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО 56947007-
29.240.144-2013**

**Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ.
Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии**

Стандарт организации

Дата введения: 29.03.2013

ОАО «ФСК ЕЭС»

2013

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения», общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним - ГОСТ 1.5-2001, правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2004.

Сведения о стандарте организации

- 1 РАЗРАБОТАН: ОАО «НИИПТ».
- 2 ВНЕСЁН: Департаментом технологического развития и инноваций ОАО «ФСК ЕЭС».
- 3 УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ: Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 29.03.2013 № 202.
- 4 ВВЕДЁН: ВПЕРВЫЕ.

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Департамент технологического развития и инноваций ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу: 117630, Москва, ул. Ак. Челомея, д. 5А, электронной почтой по адресу: vaga-na@fsk-ees.ru.

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС».

Содержание

1	Область применения	4
2	Цель стандарта	4
3	Нормативные ссылки	5
4	Термины и определения	5
5	Сокращения	8
6	Виды испытаний	8
7	Основные положения	9
8	Подготовка к испытанию и характеристики загрязнения	11
9	Проведение испытаний	12
9.1	Общие положения	12
9.2	Загрязняющие вещества	13
9.3	Методика увлажнения	13
9.4	Способы приложения напряжения	13
9.5	Методика определения 50 %-ного разрядного и выдерживаемого напряжения.	15
9.6	Способы испытаний	15
10	Требования к составу и содержанию протоколов испытаний	18
	Приложение А (обязательное). Дополнительные указания к методу предварительного загрязнения (ПЗ)	20
	Приложение Б (обязательное). Дополнительные указания к методу солевого тумана (СТ)	22
	Приложение В (обязательное). Дополнительные требования к источнику переменного и постоянного напряжения	24
	Приложение Г (обязательное). Методика искусственного загрязнения и увлажнения полимерных изоляторов	25
	Приложение Д (справочное). Формулы для определения 50 %-ного разрядного напряжения.	28
	Библиография	31

1 Область применения

Настоящий стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» распространяется на внешнюю изоляцию электрооборудования и изоляторы, предназначенные для работы в открытых (наружных) электроустановках переменного тока классов напряжения от 3 до 1150 кВ и постоянного тока напряжением от ± 100 до ± 800 кВ:

- трансформаторы силовые;
- трансформаторы измерительные (тока и напряжения);
- реакторы;
- аппараты (разъединители, выключатели и др.);
- конденсаторы;
- кабельные и концевые муфты;
- КРУН, КТП;
- токопроводы, в том числе, закрытые;
- подвесные изоляторы и гирлянды из них;
- опорные изоляторы и колонки из них;
- вводы, в том числе линейные ЗРУ;
- прочие изоляторы, включая шинные опоры;
- покрышки ограничителей перенапряжений и вентильных разрядников;

И устанавливает методы испытаний в лабораторных условиях их внешней изоляции в загрязненном и увлажненном состоянии.

Методы испытаний в основном должны отражать поведение внешней изоляции электрооборудования и изоляторов в эксплуатации при загрязнении, длительном увлажнении и длительном воздействии наибольшего рабочего напряжения.

Стандарт распространяется на электрооборудование, изоляторы и изоляционные конструкции (далее - изоляторы), выполненные из фарфора, стекла и полимерных материалов, в том числе на фарфоровые и стеклянные изоляторы с твердым полимерным покрытием.

Стандарт не распространяется на:

- фарфоровые изоляторы с полупроводящей глазурью;
- изоляторы, поверхность которых покрыта вязкими или жидкими гидрофобными пастами.

Основные положения и требования стандарта соответствуют стандартам МЭК 60507 (1991) и 61245 (1993).

Стандарт предназначен для работников проектных, эксплуатационных и исследовательских организаций, а также разработчиков изоляторов и электрооборудования, занимающихся квалификационными, приемочными, типовыми, исследовательскими, эксплуатационными и послеэксплуатационными испытаниями изоляторов и внешней изоляции электрооборудования.

2 Цель стандарта

Основная задача стандарта - регламентация методов испытаний изоляторов при загрязнении и увлажнении их поверхности с целью

установления единых правил проведения и представления результатов испытаний.

Испытания, регламентированные настоящим стандартом, проводятся:

- для определения возможности эксплуатации изолятора или изоляционной конструкции в районах с заданной степенью загрязнения (квалификационные, приемочные и типовые испытания);

- для получения зависимостей разрядных или выдерживаемых напряжений увлажненных изоляторов и изоляционных конструкций от степени их загрязнения (искусственного или естественного); эти зависимости используются, например, при сравнительных испытаниях изоляторов разных типов, в том числе новых и выпускавшихся ранее (исследовательские испытания);

- для определения запасов электрической прочности при рабочем напряжении изоляторов с естественным загрязнением, эксплуатируемых в конкретных условиях (эксплуатационные и послеексплуатационные испытания).

3 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 125-79 (СТ СЭВ 826-77) Вяжущие гипсовые. Технические условия.

ГОСТ 1516.2-97 Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.

ГОСТ 17512-82 Электрооборудование и электроустановки на напряжение 3 кВ и выше. Методы измерения при испытаниях высоким напряжением (с Изменением № 1).

ГОСТ 20419-83 Материалы керамические электротехнические. Классификация и технические требования (с Изменениями № 1, 2, 3).

4 Термины и определения

4.1 загрязнение: Посторонний слой (мелкие твердые частицы, электропроводящие капли влаги), находящийся на поверхности изоляционной части изолятора.

4.2 искусственное загрязнение: Загрязнение, искусственно нанесенное на изоляционную часть изолятора.

4.3 равномерное загрязнение: Искусственное загрязнение, имеющее на всей изоляционной части изолятора поверхностную плотность загрязнения и удельную поверхностную проводимость отличающиеся от среднего значения не более чем на $\pm 25\%$.

4.4 неравномерное загрязнение: Искусственное или естественное загрязнение, имеющее на всей изоляционной части изолятора поверхностную плотность загрязнения и удельную поверхностную проводимость, не соответствующие таковым при равномерном загрязнении.

4.5 естественное загрязнение (ЕЗ): Загрязнение изоляторов в натуральных (естественных) условиях (промышленное или природное).

4.6 природное загрязнение: Загрязнение изоляторов, вызванное природными источниками (засоленные водоемы, засоленные почвы, загрязнение птицами и др.).

4.7 промышленное загрязнение: Загрязнение изоляторов, вызванное уносами промышленных предприятий, ТЭС, отвалов пылящих материалов, уносами градирен и др.

4.8 предварительное загрязнение (ПЗ): Искусственно нанесенный на поверхность изолятора перед испытанием равномерный слой твердого (плотного) загрязнения.

4.9 солевой туман (СТ): Увлажнение изолятора распыленной мелкодисперсной проводящей влагой.

4.10 степень загрязнения (СЗ): Показатель, учитывающий влияние загрязненности атмосферы на снижение электрической прочности внешней изоляции электрооборудования и изоляторов.

4.11 характеристика загрязнения (ХЗ): Один из следующих параметров, характеризующих загрязнение изоляторов: удельная поверхностная электрическая проводимость слоя загрязнения, соленость и интенсивность тумана (основные характеристики); поверхностная плотность загрязнения, эквивалентная поверхностная плотность солевого загрязнения, поверхностная плотность нерастворимого загрязнения (дополнительные характеристики).

4.12 удельная поверхностная электрическая проводимость слоя загрязнения (\square), мкСм: Величина, определяемая делением коэффициента формы изолятора или участка его поверхности на сопротивление поверхности изолятора или её участка в состоянии насыщения слоя загрязнения влагой.

4.13 поверхностная плотность загрязнения (γ), мг/см²: Отношение массы загрязняющего вещества, счищенного с поверхности изолятора, к площади этой поверхности.

4.14 эквивалентная поверхностная плотность естественного солевого загрязнения изолятора или его участка (ЭПСО или ESDD), мг/см²: Расчетное количество NaCl в слое естественного загрязнения изолятора или его участка, отнесенное к их площади.

4.15 плотность нерастворимого загрязнения (ПНО или NSDD), мг/см²: Количество нерастворимых загрязнений (отложений), счищенных с поверхности изолятора, отнесённое к площади этой поверхности.

4.16 поверхностная плотность солевого загрязнения (ПСО или SDD), мг/см²: Количество растворимых солей в слое искусственного загрязнения (отложения), счищенного с заданной поверхности изолятора, отнесенное к площади этой поверхности.

4.17 максимальная выдерживаемая степень загрязнения изолятора: Наибольшая ХЗ, которую испытываемый изолятор выдерживает без перекрытия с заданной вероятностью при нормируемом для данного изолятора уровне испытательного напряжения.

4.18 соленость тумана: Соленость раствора, применяемого для создания искусственного тумана, определяется как количество соли в растворе, деленное на его объем.

4.19 максимальная выдерживаемая соленость: Наибольшая соленость тумана, при нахождении в котором изолятор выдерживает без перекрытия испытательное напряжение в течение установленного времени.

4.20 ток утечки: Ток, протекающий по поверхности испытуемого изолятора при приложении к нему испытательного напряжения.

4.21 сопротивление поверхности изолятора (r), Ом: Отношение приложенного к изолятору напряжения к протекающему по поверхности изолятора току утечки.

4.22 коэффициент формы изолятора: Величина, определяемая для одиночного изолятора из его размеров по формуле $K_{\phi} = \frac{1}{2\pi} \int_0^L \frac{dl}{r(l)}$, где L - длина пути утечки по поверхности защитной оболочки изолятора, см; l - расстояние по поверхности до текущей точки (линейная координата), см; r(l) - кратчайшее расстояние от оси изолятора до текущей точки его поверхности (текущий радиус поверхности изолятора), см.

4.23 испытательное напряжение: Приложенное к изолятору напряжение с заданными значением, формой и длительностью.

4.24 перекрытие изолятора: Полный разряд вдоль поверхности изолятора, соединяющей заземленную часть изолятора и часть изолятора, к которой приложено испытательное напряжение.

4.25 разрядное напряжение: Напряжение, при котором происходит перекрытие изолятора.

4.26 50 %-ное разрядное напряжение ($U_{50\%}$): Приложенное к изолятору напряжение, при котором вероятность перекрытия изолятора равна 0,5.

4.27 выдерживаемое напряжение: Наибольшее значение напряжения, которое испытуемый изолятор выдерживает без перекрытия с заданной вероятностью.

4.28 способ приложения напряжения ПД: Длительное приложение неизменного напряжения к загрязненным изоляторам с последующим их непрерывным увлажнением или к чистым изоляторам с последующим осаждением на них солевого тумана.

4.29 способ приложения напряжения ПТД: Длительное приложение напряжения быстродействующим коммутирующим устройством («толчком») к загрязненным и заранее увлажненным изоляторам и выдержка его при продолжающемся увлажнении.

4.30 способ приложения напряжения ПП: Плавный подъем напряжения при предварительном увлажнении загрязненных изоляторов.

4.31 способ приложения напряжения ПТ: Приложение неизменного напряжения «толчком» к загрязненным и заранее увлажненным изоляторам.

4.32 насыщение слоя загрязнения влагой: Наибольшее количество влаги, которое может без стекания с поверхности изолятора содержаться в слое загрязнения (при этом достигается наименьшее значение сопротивления слоя загрязнения).

4.33 послеэксплуатационные испытания: Испытания изоляторов, демонтированных с действующих электроустановок после заданного в нормативно-технической документации срока эксплуатации.

5 Сокращения

ПЗ - предварительное загрязнение;

ЕЗ - загрязнение в естественных условиях;

СТ - солевой туман;

СЗ - степень загрязнения (атмосферы);

ХЗ - характеристика загрязнения изоляторов;

ЭПСО (ESDD) - эквивалентная поверхностная плотность солевого загрязнения (отложения);

ПНО (NSDD) - плотность нерастворимого загрязнения (отложения);

ПСО (SDD) - поверхностная плотность солевого загрязнения (отложения);

ПД - способ приложения напряжения (длительное приложение напряжения до начала увлажнения изоляторов);

ПТД - способ приложения напряжения (длительное приложение напряжения после увлажнения изоляторов);

ПП - способ приложения напряжения (плавный подъем напряжения);

ПТ - способ приложения напряжения (приложение напряжения толчком).

6 Виды испытаний

6.1 Испытания изоляторов в загрязненном и увлажненном состоянии могут быть следующих видов: квалификационные (приемочные), типовые, эксплуатационные, послеэксплуатационные и исследовательские.

6.2 При проведении квалификационных (приёмочных) и типовых испытаний при искусственном загрязнении во всех случаях должны применяться одно загрязняющее вещество, один способ увлажнения, один способ приложения напряжения и одна методика определения 50 %-ного разрядного или выдерживаемого напряжения.

6.3 При проведении квалификационных (приемочных) и типовых испытаний в качестве загрязняющего вещества следует применять суспензию, содержащую в своем составе инертное связующее вещество (каолин или аналогичное ему) и не более 10 % поваренной соли (NaCl) от общего количества загрязняющего вещества. Необходимое количество NaCl определяется требуемой ХЗ.

6.4 При проведении квалификационных (приемочных) и типовых испытаний увлажнение стеклянных и фарфоровых изоляторов должно проводиться мелкораспыленной влагой (распыленная вода, туман, пар). При

проведении квалификационных (приемочных) и типовых испытаний увлажнение полимерных изоляторов должно проводиться мелкораспыленной влагой (туман, пар).

6.5 При проведении квалификационных (приемочных) и типовых испытаний приложение напряжения должно проводиться способом ПД. Допускается применять приложение напряжения толчком к заранее загрязнённому сухому или увлажненному изолятору с обязательным последующим непрерывным увлажнением изолятора в течение не менее 20 минут.

6.6 При проведении квалификационных (приемочных) испытаний должно определяться 50 %-ное разрядное напряжение (исключение - см. п. 9.6.1.4). При проведении типовых, исследовательских, эксплуатационных и послеексплуатационных испытаний должно определяться 50 %-ное разрядное или выдерживаемое напряжение.

7 Основные положения

7.1 Для испытаний в зависимости от их целей должны использоваться изоляторы, загрязненные методами:

ПЗ - предварительного загрязнения (основной метод);

ЕЗ - загрязнения в естественных условиях (основной метод);

СТ - солевого тумана (основной метод для изоляторов работающих в прибрежных районах).

При методах испытаний ПЗ и СТ испытательное напряжение должно оставаться неизменным в течение по крайней мере 20 минут (длительное приложение напряжения).

7.2 Для испытания методом ПЗ изоляторы должны искусственно покрываться по возможности равномерным слоем твердого загрязняющего вещества. В качестве загрязняющего вещества должны применяться материалы или композиции, имеющие в своем составе вещества, растворимые в воде и образующие электролит (создающий на поверхности проводящий слой), а также нерастворимое в воде связующее или цементирующее вещество. Дополнительные указания к этому методу приведены в Приложении А.

7.3 Для испытаний методом ЕЗ должны использоваться изоляторы, предварительно находившиеся в эксплуатационных или приближенных к ним условиях (например, на стенде).

Срок нахождения изоляторов в эксплуатации в естественных условиях под напряжением или без напряжения до испытания определяется по согласованию между заказчиком и исполнителем испытания.

Изоляторы должны демонтироваться, упаковываться и транспортироваться таким образом, чтобы имеющийся на них слой загрязнения не был нарушен.

7.4 Для испытания методом СТ изоляторы должны подвергаться воздействию солевого тумана, создаваемого путем распыления в воздухе раствора поваренной соли (NaCl) в воде.

Дополнительные указания к этому методу приведены в Приложении Б.

7.5 При определении 50 %-ного разрядного напряжения квалификационные и типовые испытания изоляторов, предназначенных для работы в районах с 1-й и 2-й СЗ, должны проводиться на полностью собранных объектах (опорных конструкциях, гирляндах изоляторов и т.д.) с металлической арматурой (с защитной арматурой, подножником, подвесной арматурой, макетами траверсы опоры). При испытании гирлянды изоляторов для макетирования провода допустимо использовать одиночную трубу диаметром 20÷40 мм и длиной не менее длины испытываемой гирлянды. Испытуемые объекты устанавливаются в положениях (горизонтальном, вертикальном, наклонном), соответствующих их рабочему положению. Рабочее положение изолятора должно быть указано в технических условиях на изоляторы конкретного типа. Сборка изоляторов для испытаний должна производиться в соответствии с конструкторской документацией.

Испытания изоляторов, предназначенных для работы в районах с 3-4 СЗ, допускается проводить без макетирования (имитации) траверс опор, подножников, проводов и ошиновки.

Расстояние между любой точкой изолятора и любым заземленным объектом при испытаниях должно быть не менее 0,5 м на 100 кВ испытательного напряжения, но в любом случае не менее 1,5 м.

7.6 При испытаниях изоляторов методом ЕЗ допускается определять электрическую прочность тарельчатых изоляторов в гирляндах не менее чем из 2-х элементов, а опорные изоляторы или покрышки испытывать поэлементно.

7.7 Допускается проводить испытания электрооборудования и изоляторов без их внутренней части, что должно быть указано в сопроводительной документации. При испытании без внутренней части должны быть приняты меры, исключающие развитие разряда по внутренней поверхности изолятора.

7.8 Источник напряжения (испытательный трансформатор или выпрямительная установка вместе с питающим их устройствами) должен выбираться таким образом, чтобы ток утечки по испытываемому изолятору при приложении испытательного напряжения не вызывал снижения приложенного к изолятору напряжения более чем на 10 % по сравнению с напряжением холостого хода.

Дополнительные требования к источникам переменного и постоянного напряжения приведены в Приложении В.

7.9 Разрядные или испытательные напряжения должны измеряться устройствами, включенными на стороне высокого напряжения параллельно испытываемому объекту. Методы измерения - по ГОСТ 17512.

7.10 Токи утечки и приложенное к изолятору напряжение должны определяться осциллографированием или другим эквивалентным методом обеспечивающим погрешность измерения напряжения и тока в пределах $\pm 3\%$.

7.11 Требования к форме кривой переменного напряжения, а также к скорости подъема напряжения при испытаниях методами ПТД, ПП должны соответствовать ГОСТ1516.2 (раздел 7).

8 Подготовка к испытанию и характеристики загрязнения

8.1 Изоляторы, предназначенные для испытаний методами ПЗ и СТ, до нанесения слоя загрязнения должны быть тщательно очищены от загрязнения и жиров (масел). При очистке должна быть обеспечена неповреждаемость поверхности стекла, фарфора или полимерного материала. После очистки не допускается прикасаться к изолирующим частям изолятора.

Используемые для очистки изоляторов посторонние вещества после очистки должны быть тщательно удалены с поверхности изоляторов, с тем, чтобы они не могли повлиять на результаты испытаний.

Перед каждым последующим загрязнением, кроме отдельно оговоренных случаев, изолятор должен быть тщательно промыт проточной водой для удаления всех следов предыдущего загрязнения.

8.2 При проведении испытаний методами ПЗ и ЕЗ в качестве основной ХЗ должна использоваться удельная поверхностная электрическая проводимость, измеряемая на испытуемых (способ приложения напряжения ПТД при ПЗ, способ приложения напряжения ПП при ЕЗ) или контрольных изоляторах того же типа, находящихся в одинаковых условиях с испытуемыми изоляторами (способ приложения напряжения ПД при ПЗ). Удельная поверхностная проводимость должна быть измерена не менее чем на трех изоляторах для каждой ХЗ.

Для изоляторов, загрязненных методом ЕЗ, рекомендуется определять удельную поверхностную проводимость отдельных участков поверхности изолятора, имеющих разную степень загрязнения.

Удельная поверхностная электрическая проводимость слоя загрязнения при испытаниях методами ПЗ и ЕЗ должна определяться в соответствии с Приложением А.

Удельная поверхностная проводимость испытуемых изоляторов считается одинаковой, если на разных изоляторах она отличается не более чем на $\pm 15\%$ от среднего значения при использовании метода ПЗ. При использовании метода ЕЗ удельная поверхностная проводимость считается одинаковой (равной среднему значению результатов измерений) для изоляторов, демонтированных из одного места.

8.3 При испытании изоляторов методами ПЗ и ЕЗ должна также определяться поверхностная плотность слоя загрязнения путем взвешивания загрязняющего вещества и деления полученного значения на площадь поверхности, с которой произведена счистка. Для каждой ХЗ измерение γ должно проводиться не менее чем на пяти изоляторах каждого испытуемого типа напряжением до 220 кВ включительно и не менее чем на трёх изоляторах напряжением 330÷750 кВ каждого испытуемого типа. При испытании изоляторов методами ПЗ и ЕЗ должны также измеряться эквивалентная поверхностная плотность солевых отложений ЭПСО (ESDD), $\text{мг}/\text{см}^2$, плотность нерастворимых загрязнений ПНО (NSDD), $\text{мг}/\text{см}^2$ и поверхностная плотность солевого загрязнения (отложения) ПСО (SDD), $\text{мг}/\text{см}^2$. Эти измерения должны проводиться на не менее чем пяти изоляторах каждого испытуемого типа напряжением до 220 кВ включительно и не менее чем

на трех изоляторах напряжением 330÷750 кВ каждого испытываемого типа. Методика измерения γ , ЭПСО, ПНО и ПСО приведена в Приложении Е к стандарту ОАО «ФСК ЕЭС» «Инструкция по выбору изоляции электроустановок» СТО 56947007-29.240.059-2010.

8.4 При испытании изоляторов методом ЕЗ должна определяться поверхностная плотность загрязнения отдельных участков путем взвешивания количества загрязнения, отнесенного к единице поверхности, а также по требованию заказчика характеристики загрязняющего вещества (химический состав, содержание растворимых и нерастворимых веществ, содержание углеродистых веществ и т.д.).

8.5 При испытании изоляторов методом СТ в качестве основной ХЗ должна использоваться соленость раствора, применяемого для создания искусственного тумана. Степень солености раствора может контролироваться как по его удельной плотности, так и по его удельной электрической проводимости, отнесенной к 20 °С. В качестве дополнительной ХЗ используется расход раствора на каждое сопло, который в течение всего испытания должен составлять 0,5 дм³/мин \pm 0,05 дм³/мин и не отличаться более чем на ± 5 % для различных сопел. Более подробно - см. Приложение Б.

9 Проведение испытаний

9.1 Общие положения

9.1.1 Отобранные для испытания изоляторы должны быть чистыми (кроме испытаний при ЕЗ), сухими и иметь температуру, по возможности близкую к температуре помещения (окружающей среды), в котором проводят испытания (отличаться от нее не более чем на ± 2 °С). Допускается не производить измерение температуры изоляторов, если они находятся в помещении, где проводятся испытания, не менее 48 часов. Температура окружающего воздуха при испытаниях должна быть в пределах от 5 до 30 °С.

9.1.2 При каждой ХЗ должно испытываться не менее трех изоляторов или изоляционных конструкций (гирлянд подвесных изоляторов, колонок опорных изоляторов и др.). При испытании крупногабаритных подстанционных изоляторов классов переменного напряжения 110÷220 кВ и постоянного напряжения до ± 200 кВ число испытываемых объектов может быть сокращено до двух, на которых повторно проводится требуемое количество испытаний. При испытании крупногабаритных подстанционных изоляторов классов переменного напряжения 330 кВ и выше и постоянного напряжения классов ± 300 кВ и выше число испытываемых объектов может быть сокращено до одного, на котором проводятся повторно требуемое количество испытаний. Повторно допускается испытывать изоляторы, удовлетворяющие требованиям п. 9.1.3.

9.1.3 Изоляторы со слоем загрязнения, нанесенным методом ПЗ, как правило, должны испытываться один раз. Для следующего приложения напряжения должны использоваться другие изоляторы того же типа или те же изоляторы со вновь нанесенным слоем загрязнения с той же ХЗ. Допускается проводить не более двух повторных испытаний на одном изоляторе (на одном и том же слое загрязнения), если после двух предыдущих воздействий

напряжения визуально не отмечено разрушения слоя загрязнения и удельная поверхностная проводимость, измеренная перед повторным (очередным) приложением напряжения, отличается не более чем на 15 % от значения, измеренного перед первым приложением напряжения.

9.1.4 Испытания изоляторов при загрязнении методом СТ должны проводиться в закрытой испытательной камере.

9.1.5 Испытания изоляторов при загрязнении методами ПЗ и ЕЗ должны проводиться в лабораторных условиях.

9.2 Загрязняющие вещества

9.2.1 При испытании методом ПЗ и проведении квалификационных (приемочных) и типовых испытаний загрязняющее вещество должно соответствовать требованиям п. 6.3. При этом, как правило, должна применяться суспензия следующего состава:

- 250 г нейтрального вещества (материал керамический электротехнический, подгруппа 110, ГОСТ 20419);
- 1000 г проточной воды;
- необходимое количество поваренной соли (NaCl) промышленной чистоты (от 1 до 25 г).

Дополнительные указания к методу ПЗ и другие возможные составы загрязняющих веществ, используемых при испытании этим методом при различных видах испытаний, кроме квалификационных, приведены в Приложении А.

В Приложении Г приведены некоторые особенности искусственного загрязнения полимерных изоляторов.

9.2.2 При испытании методом СТ должен использоваться солевой раствор, приготовленный из хлористого натрия (NaCl) коммерческой степени чистоты и водопроводной проточной воды. В проточной воде не должны содержаться вещества, создающие твердый слой на поверхности изолятора, в противном случае рекомендуется использовать деминерализованную воду.

9.3 Методика увлажнения

9.3.1 Для увлажнения поверхности изоляторов как во время нанесения слоя искусственного загрязнения, так и в процессе всех видов испытаний (измерение удельной поверхностной проводимости, приложение испытательного напряжения) должна применяться мелкокапельная влага (распыленная вода, туман, пар). При этом удельная объемная проводимость влаги не должна превышать 200 мкСм·см при 20 °С. Температура влаги должна находиться в пределах 5 - 20 °С.

В п. 4 Приложения Г приведены дополнительные указания по методике увлажнения.

9.3.2 При испытании методом ПЗ и проведении квалификационных (приемочных) и типовых испытаний методика увлажнения должна соответствовать требованиям п. 6.4.

9.4 Способы приложения напряжения

9.4.1 При испытании изоляторов должен использоваться один из следующих способов приложения напряжения:

ПД - длительное приложение неизменного напряжения к загрязненным методами ПЗ или ЕЗ (в редких случаях) изоляторам с последующим их непрерывным увлажнением или к чистым изоляторам с последующим осаждением на них солевого тумана (метод СТ);

ПТД - длительное приложение напряжения быстродействующим коммутирующим устройством («толчком») к загрязненным методами ПЗ или ЕЗ и заранее увлажненным изоляторам и выдержка его при продолжающемся увлажнении. Этот метод является допустимым при проведении квалификационных испытаний:

ПП - плавный подъем напряжения при предварительном увлажнении загрязненных изоляторов (только при методе ЕЗ);

ПТ - приложение неизменного напряжения «толчком» к загрязненным и заранее увлажненным изоляторам (только при проведении исследовательских испытаний).

При испытании методом ПЗ и проведении квалификационных (приемочных) и типовых испытаний способ приложения напряжения должен соответствовать требованиям п. 6.5.

В стандартах или технических условиях на отдельные виды электрооборудования или изоляторы должен быть указан способ приложения напряжения при каждом виде испытаний.

9.4.2 При испытании способом ПД (методы ПЗ, СТ, ЕЗ) к загрязненным изоляторам до начала увлажнения прикладывают напряжение, значение которого в течение всего времени испытания остается неизменным. После этого изоляторы увлажняют мелкокапельной влагой в течение всего времени приложения напряжения. Испытание продолжают до тех пор, пока не произойдет перекрытие изоляторов или пока изоляторы не выдержат приложенное напряжение в течение заданного времени. Длительность испытания должна приблизительно в два раза превышать время, необходимое для насыщения слоя загрязнения влагой, и после достижения этого состояния составлять не менее 20 мин.

9.4.3 При испытании способом ПТД (методы ПЗ и ЕЗ) изоляторы увлажняют мелкокапельной влагой до насыщения слоя загрязнения. Состояние насыщения устанавливают при достижении установившегося значения поверхностного сопротивления (измеренного, например, мегомметром). После этого к изоляторам, при продолжающемся увлажнении, прикладывают толчком напряжение, значение которого в течение всего времени испытания остается неизменным. Испытание продолжают до тех пор, пока не произойдет перекрытие изоляторов или пока изоляторы не выдержат приложенное напряжение в течение не менее 20 мин.

9.4.4 При испытании способом ПП (метод ЕЗ) загрязненные поверхности изоляторов предварительно увлажняют мелкокапельной влагой до насыщения слоя загрязнения. После этого должно быть произведено несколько последовательных измерений разрядных напряжений (перекрытий изоляторов) при плавном подъеме напряжения без дополнительного увлажнения поверхностей изолятора. Перекрытия должны проводиться до тех

пор, пока значения разрядных напряжений не будут систематически возрастать вследствие подсушки поверхности изоляторов.

После этого проводят новое увлажнение и новую серию перекрытий. Допускается проводить несколько повторных серий перекрытий на одном изоляторе без смены загрязнения, если не наблюдается разрушения слоя загрязнения, приводящего к систематическому увеличению разрядных напряжений в повторных сериях.

Таких серий перекрытий проводят десять. За значение разрядного напряжения принимают среднее значение из минимальных, полученных в каждой серии.

Если минимальное значение разрядного напряжения, полученное на одном и том же изоляторе, в одной из серий перекрытий будет превышать более чем на 10 % среднее значение из минимальных, полученных в других сериях, то проводят еще одну дополнительную серию перекрытий, а завышенный результат не учитывают.

Интервалы между двумя подъемами напряжения в каждой серии измерений не должны превышать 1 мин.

Скорость подъема напряжения до значения, равного 50 % ожидаемого разрядного напряжения, - произвольная. Сверх этого значения скорость подъема напряжения должна быть 2-10 % в секунду. Если во время подъема напряжения будет наблюдаться интенсивная подсушка поверхности изоляторов, то скорость подъема напряжения должна быть увеличена.

9.4.5 При испытании способом ПТ (исследовательские испытания: методы ПЗ и ЕЗ) поверхность изоляторов перед каждым приложением напряжения предварительно увлажняют так же, как указано в п. 9.4.3. После этого к изолятору толчком прикладывают напряжение до тех пор, пока не произойдет перекрытие или поверхность изолятора настолько подсохнет, что перекрытие его станет невозможным.

9.4.6 Количество приложений напряжения способами ПД, ПТД и ПТ при каждой ХЗ должно быть не менее 10.

9.5 Методика определения 50 %-ного разрядного напряжения.

50 %-ное разрядное напряжение определяют методом «вверх-вниз».

При этом испытательное напряжение изменяют от опыта к опыту на постоянное значение, составляющее не более 7 % от ожидаемого 50 %-ного разрядного напряжения. Порядок изменения напряжения следующий: если на данной ступени произошло перекрытие изолятора, то переходят на ступень ниже, если перекрытия не было - на ступень выше.

По результатам измерений определяют 50 %-ное разрядное напряжение в соответствии с Приложением Д по одной из двух альтернативных формул. В этом же Приложении даны примеры определения 50 %-ного разрядного напряжения.

9.6 Способы испытаний

9.6.1 Квалификационные (приемочные) испытания

9.6.1.1 Проверка электрической прочности изоляторов при нормированной ХЗ и испытательном напряжении (метод ПЗ, квалификацион-

ное испытание). Нормированная ХЗ (удельная поверхностная проводимость) указана в главе 1.9 ПУЭ-7 и в стандарте ОАО «ФСК ЕЭС» «Инструкция по выбору изоляции электроустановок» СТО 56947007-29.240.059-2010.

Измерение удельной поверхностной проводимости слоя загрязнения должно проводиться в соответствии с п. 4 Приложения А.

В качестве загрязняющего вещества должен применяться вариант по п. 9.2.1. Поверхностная плотность загрязнения γ должна составлять $3 \pm 0,5$ мг/см². При этом следует предусмотреть возможность изменения ЭПСО в пределах 0,01 - 1,0 мг/см².

При этих испытаниях ХЗ нормируется либо по удельной поверхностной проводимости (основной вариант), либо по эквивалентной поверхностной плотности солевых отложений ЭПСО (по требованию заказчика), соответствующим степени загрязнения в районе предполагаемой эксплуатации изоляторов.

Рекомендуется при квалификационных испытаниях применять значения удельной поверхностной проводимости из ряда: 5; 10; 15; 20; 30; 40 и 60 мкСм. Максимальное отклонение от выбранного значения не должно превышать ± 15 %.

9.6.1.2 При ХЗ не ниже нормированной и приложении напряжения способом ПД в соответствии с п. 0 определяется 50 %-ное разрядное напряжение испытываемого изолятора. Изоляторы считаются выдержавшими испытание, если значение 50 %-ного разрядного напряжения не менее нормированного значения, указанного в главе 1.9 ПУЭ-7 (основной метод квалификационных испытаний).

9.6.1.3 Для более точного определения 50 %-ного разрядного напряжения удобно определить зависимость 50 %-ных разрядных напряжений при разных ХЗ (разных значениях удельной поверхностной проводимости) и по полученной зависимости определить $U_{50\%}$ для нормированного значения ХЗ.

9.6.1.4 Квалификационные испытания изоляторов напряжением 500 кВ и выше могут проводиться также не менее чем десятью приложениями нормированного напряжения, указанного в нормативно-технической документации, при ХЗ не ниже нормированного значения. Изоляторы считают выдержавшими испытание, если не произошло ни одного перекрытия. В случае одного перекрытия допускается провести повторные испытания также при десяти приложениях напряжения. Изоляторы считаются выдержавшими испытание, если при повторном испытании не произошло ни одного перекрытия (дополнительный метод квалификационных испытаний).

9.6.2 Исследовательские и послеэксплуатационные испытания

9.6.2.1 Проверка электрической прочности изоляторов при нормированной ХЗ и заданном испытательном напряжении (метод СТ, исследовательское испытание).

В качестве загрязняющего и увлажняющего вещества применяется мелко распыленная проводящая влага (солевой туман). В качестве степени загрязненности изоляторов рекомендуется применение следующего ряда

солености (концентрации соли): 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40; 56; 80; 112; 160 и 224 г/л. Максимальное отклонение от номинального значения не должно превышать $\pm 5\%$.

При этом испытании к чистым изоляторам прикладывается напряжение, после чего включаются туманообразующие сопла (см. Приложение Б) и это напряжение держат приложенным до перекрытия изолятора или в течение заданного времени (не менее 30 мин).

Испытание проводится не менее чем десятью приложениями заданного напряжения, указанного в нормативно-технической документации, при ХЗ не ниже заданного значения. Изоляторы считают выдержавшими испытание, если не произошло ни одного перекрытия. В случае одного перекрытия допускается провести повторные испытания также при десяти приложениях заданного напряжения. Изоляторы считаются выдержавшими испытание, если при повторном испытании не произошло ни одного перекрытия.

По этой методике испытания могут проводиться также путем определения 50 %-ного разрядного напряжения методом «вверх-вниз», которое определяется по п. 0. Время выдержки на каждой ступени напряжения должно быть не менее 30 мин.

Изоляторы считают выдержавшими испытание, если при заданной солености 50 %-ное разрядное напряжение не меньше значения, заданного в нормативно-технической документации. Степень при изменении напряжения должна составлять около 10 % от приложенного значения.

9.6.2.2 Определение наибольшей ХЗ, при которой изоляторы выдерживают нормированное напряжение (методы ПЗ и СТ, исследовательские испытания).

При этих испытаниях нормированное испытательное напряжение принимается близким по значению к наибольшему рабочему напряжению, при котором изоляторы должны работать в эксплуатации, и указывается в нормативно-технической документации.

Испытания должны проводиться при воздействии испытательного напряжения при нескольких (не менее четырех) ХЗ. В качестве загрязняющих веществ могут применяться основной или дополнительный варианты по п. 9.6.1.1. Поверхностная плотность загрязнения должна составлять $3 \pm 0,5$ мг/см². Способы приложения напряжения при этих испытаниях - ПД или ПТД. При каждой ХЗ должно проводиться не менее 20 приложений напряжения и определяться отношение воздействий, приведших к перекрытию изолятора, к общему числу воздействий. Результаты испытаний должны наноситься на вероятностную бумагу логарифмически нормального распределения, на которой ХЗ откладывается по оси абсцисс, а затем способом наименьших квадратов проводится прямая линия.

Как правило, определяется ХЗ, при которой нормированное напряжение равно 50 %-ному разрядному напряжению изоляторов. Загрязнение, соответствующее этому напряжению, принимается в качестве наибольшей ХЗ, при которой изоляторы выдерживают нормированное напряжение.

Наибольшая выдерживаемая (например, 50 %-ная разрядная) ХЗ может

определяться также другими методами, обеспечивающими необходимую точность.

При использовании метода СТ для определения максимальной выдерживаемой солености испытания начинают с туманом большой солености, при которой происходит перекрытие изолятора. Последующие испытания проводят при уменьшающихся степенях солености тумана до тех пор, пока изолятор не выдержит приложенного напряжения в течение 30 мин без перекрытия, после чего опыты на данной степени солености повторяют. Если изолятор выдержит четыре таких приложения напряжения, то это значение принимают за выдерживаемую соленость.

9.6.2.3 Определение разрядных напряжений изоляторов при естественном загрязнении (метод ЕЗ, послеэксплуатационные испытания).

При наличии достаточного количества демонтированных изоляторов использовать способы приложения напряжения ПТ и ПД. Допускается при малом количестве изоляторов использовать способ ПП. Объем и периодичность испытаний устанавливается по согласованию между заказчиком и исполнителем.

9.6.2.4 Определение зависимостей разрядных напряжений изоляторов от ХЗ при их искусственном загрязнении методом ПЗ (удельной поверхностной проводимости, ЭПСО) или методом СТ (солености).

Разрядные напряжения должны определяться при нескольких ХЗ, обуславливающих изменение разрядных напряжений в пределах от наибольшего фазового напряжения изолятора (или приходящейся на него доли этого напряжения) до напряжения, превышающего фазовое приблизительно в два раза.

Разрядные напряжения должны определяться при удельной поверхностной проводимости от 1 до 15 мкСм для чистых и слабо загрязненных условий работы изоляторов, и от 8 до 45 мкСм - для средне и сильно загрязненных условий. Методика должна обеспечивать изменение ЭПСО в пределах, указанных в п. 9.6.1.1, и изменение солености тумана в пределах от 1 до 250 г/л. Поверхностная плотность загрязнения должна составлять $1 \pm 0,25$ мг/см² для чистых и слабозагрязненных условий, и $3 \pm 0,5$ мг/см² для средних и сильно загрязненных условий.

В стандартах или технических условиях на отдельные типы изоляторов должны быть указаны конкретные значения удельной поверхностной проводимости, ЭПСО и солености, соответствующие указанным условиям.

10 Требования к составу и содержанию протоколов испытаний

В протоколах испытаний должны быть указаны:

- тип испытываемого изолятора;
- эскиз с основными размерами испытанных изоляторов (габаритные размеры, длина пути утечки, коэффициент формы изолятора), а для нестандартных изоляторов - чертеж изоляционной части;
- метод и цель испытания; параметры испытательной установки; характеристики загрязняющего вещества;
- измеренные значения удельной поверхностной проводимости, при

которой проводились испытания, и способы ее определения;

- поверхностная плотность загрязнения, эквивалентная поверхностная плотность солевого отложения, поверхностная плотность нерастворимого загрязнения;

- соленость тумана;

- способ увлажнения;

- способ приложения напряжения;

- результаты испытаний (разрядное напряжение, степень загрязнения).

Дополнительные указания к методу предварительного загрязнения (ПЗ)

1. В качестве загрязняющих веществ рекомендуется применять суспензии, содержащие в своем составе инертное связующее вещество и поваренную соль (NaCl) не более 10 %. Конкретные рекомендации по основному составу загрязняющей суспензии даны в п. 9.2.1. настоящего стандарта.

2. В качестве дополнительных вариантов могут быть применены, например, следующие суспензии:

1) 40 г каолина или аналогичного инертного связующего, 1000 г воды, необходимое количество соли (NaCl) в зависимости от требуемой степени загрязнения;

2) 100 г кизельгура, 10 г высокодисперсной двуокиси кремния, 1000 г воды, необходимое количество соли (NaCl) в зависимости от требуемой степени загрязнения;

3) 200 г нейтрального вещества (каолина, кизельгура), 50 г алебаstra (ГОСТ 125), 1000 г проточной воды.

4) содержащие влагу (на основе аэросила, метилцеллюлозы и др.).

Все эти вещества не допускается применять при квалификационных испытаниях изоляторов.

3. Изоляторы могут покрываться слоем искусственного загрязнения любым способом, например:

1) разбрызгиванием (напылением) водной суспензии загрязняющего вещества на поверхность изолятора;

2) погружением (окунанием) изолятора в водную суспензию загрязняющего вещества;

3) обливанием изолятора суспензией загрязняющего вещества.

При этом равномерность слоя загрязнения в любых точках поверхности изолятора должна удовлетворять требованиям п. 8 настоящего приложения. Время нанесения загрязнения может быть сокращено предварительным нагревом изолятора.

4. Удельную поверхностную проводимость определяют путем умножения измеренного значения поверхностной проводимости увлажненного до состояния насыщения слоя загрязнения испытуемого изолятора на коэффициент формы, определяемый из размеров изолятора.

Определение поверхностной проводимости слоя загрязнения должно проводиться на изоляторе во время непрерывного увлажнения до состояния насыщения и повторяться с целью определения максимального измеренного значения. Измерение поверхностной проводимости слоя загрязнения должно проводиться путем приложения к испытуемому или контрольному изолятору напряжения, составляющего около 5 кВ (эффективное значение) на метр

длины пути утечки, и измерением тока, протекающего через увлажненный слой. При этом напряжение должно прикладываться толчком, а ток утечки должен измеряться в течение 3÷5 полупериодов, когда не наблюдается изменения его величины и формы (амплитуды и синусоидальности).

Сопротивление может измеряться любым способом при условии, что на всех участках оно будет определяться при одной и той же поверхностной напряженности.

5. Удельная поверхностная проводимость слоя загрязнения χ_t (мкСм) должна быть приведена к температуре 20 °С по формуле.

$$\chi_{20} = \chi_t \cdot [1 - b \cdot (t - 20)],$$

где χ_t - удельная поверхностная проводимость, измеренная при температуре t °С;

b - коэффициент, приведенный в п. 3 Приложения Б.

6. При испытании изоляторов рекомендуется дополнительно определять поверхностную плотность растворимого и нерастворимого вещества.

7. Средняя поверхностная плотность загрязнения, выражаемая в миллиграммах сухого вещества на квадратный сантиметр поверхности, для изоляторов, одновременно проходящих испытание, не должна отличаться от заданной более чем на ± 15 %.

8. Равномерность слоя загрязнения в пределах изолятора должна быть такова, чтобы поверхностная плотность слоя загрязнения в любом месте поверхности не отличалась от среднего значения более чем на ± 25 %.

9. Степень неравномерности загрязнения в пределах изолятора рекомендуется контролировать при помощи поверхностной плотности загрязнения, определяемой счисткой его с различных участков изолятора. Допускается для этой цели использование специальных зондов или металлических электродов (бандажей), определяющих удельную поверхностную проводимость различных участков поверхности. Плотность загрязнения или проводимость, измеряемая зондом, в любом месте поверхности не должна отличаться от среднего значения более чем на ± 30 %.

10. Поверхностную плотность загрязнения должна определяться при помощи взвешивания загрязняющего вещества, счищенного с определенной части поверхности испытуемого или контрольного изолятора. Затем значение γ определяется в соответствии со стандартом ОАО «ФСК ЕЭС» «Инструкция по выбору изоляции электроустановок» СТО 56947007-29.240.059-2010. Поверхностная плотность NaCl, ЭПСО и ПНО также определяются в соответствии с этим СТО.

Дополнительные указания к методу солевого тумана (СТ)

1. Перед испытанием все металлические части и цемент должны быть окрашены противокоррозийной краской. При очистке должны быть удалены следы грязи и жиров, после чего изолятор должен быть ополоснут водой с проводимостью не более $500 \text{ мкСм} \cdot \text{см}^{-1}$.

2. Раствор соли должен готовиться путем растворения в воде соли (NaCl) в заданной концентрации в граммах на литр. Концентрация раствора может быть измерена по плотности (ареометром) или проводимости с поправкой на температуру.

Значения удельной электрической проводимости и плотности раствора, отвечающие рекомендованному ряду солёности (концентрации) раствора, указаны в таблице Б данного приложения.

3. Испытания должны проводиться в специально оборудованном помещении (камере). При помощи определенного числа распылителей из раствора соли струей сжатого воздуха, проходящей поперек сопла, подающего раствор, создается мелкораспыленная влага (туман). Концы сопел должны быть срезаны перпендикулярно оси и полированы.

Распылители должны устанавливаться на двух параллельных колоннах, располагаемых с противоположных сторон испытуемого изолятора, параллельных его оси, т.е., для подвесных гирлянд колонны располагаются вертикально, для натяжных гирлянд - горизонтально. В случае наклонного расположения изолятора колонны должны также располагаться наклонно. Расстояние между распылителями и осью изолятора должно составлять $(3 \pm 0,05) \text{ м}$.

Распылители должны быть установлены на колоннах с интервалом $0,6 \text{ м}$.

Каждый распылитель должен быть установлен перпендикулярно оси колонны по направлению к противоположной колонне в пределах 1° по проекции факела. Средняя точка изолятора должна располагаться по центру с распылителями. Обе колонны должны с обоих концов выступать за края изолятора на $0,6 \text{ м}$. При вертикальных изоляторах нижнее сопло должно быть на $0,6 \text{ м}$ выше пола помещения.

К воздушному соплу должен подводиться отфильтрованный очищенный от масла сжатый воздух при давлении $(7 \pm 0,28) \text{ кгс/см}^2$.

Таблица Б

Соотношение солёности, плотности и удельной объемной
электрической проводимости раствора солевого тумана

Солёность раствора при 20°C , г/л	Плотность раствора при 20°C , кг/л	Удельная электрическая проводимость раствора при 20°C , $\text{мСм} \cdot \text{см}^{-1}$
--	---	--

Соленость раствора при 20 °С, г/л	Плотность раствора при 20 °С, кг/л	Удельная электрическая проводимость раствора при 20 °С, мСм·см ⁻¹
2,5	0,9999	4,32
3,5	1,0007	6,0
5	1,0017	8,33
7	1,0031	11,52
10	1,0052	15,91
14	1,0082	21,59
20	1,0124	29,86
28	1,0180	40,97
40	1,0259	55,94
56	1,0373	75,63
80	1,0527	100,80
112	1,0746	130,10
160	1,1045	167,30
224	1,1400	202,60

Если температура раствора отличается от 20 °С, значения проводимости должны быть пересчитаны по следующей формуле:

$$\sigma_{20} = \sigma_t \cdot [1 - b \cdot (t - 20)],$$

где t - температура раствора, °С;

σ_t - проводимость при температуре t °С, мСм·см⁻¹;

σ_{20} - проводимость при температуре 20°С, мСм·см⁻¹;

b - коэффициент со следующими значениями:

при $t = 0$ °С 0,03675;

при $t = 10$ °С 0,02817;

при $t = 20$ °С 0,02277;

при $t = 30$ °С 0,01905.

Для промежуточных температур значения b могут быть получены интерполяцией.

Дополнительные требования к источнику переменного и постоянного напряжения

Источник переменного и постоянного напряжения должен обеспечивать при непрерывном протекании тока утечки и его бросках падение напряжения, приложенного непосредственно к испытуемому изолятору, не более 10 % от значения приложенного напряжения при отсутствии тока утечки.

Источник переменного напряжения (испытательный трансформатор вместе с питающим устройством) следует выбирать так, чтобы эффективное значение тока короткого замыкания не менее чем в 10 раз превышало наибольшее значение амплитуды импульсов тока утечки по испытуемому изолятору, возникающих в процессе испытаний и не приводящих к перекрытию изолятора.

Источник постоянного напряжения (выпрямительная установка), пригодный для испытаний загрязненных и увлажненных изоляторов без введения поправок в полученные значения разрядных напряжений, должен обеспечивать отношение $Q_1/Q_2 < 0,1$, где Q_1 - заряд, стекающий с поверхности загрязненных изоляторов при протекании тока утечки, Q_2 - заряд, накопленный в выходной емкости выпрямительной установки. Испытания загрязненных изоляторов на выпрямительных установках с $Q_1/Q_2 > 1,0$ недопустимы. При использовании выпрямительных установок с $0,1 \leq Q_1/Q_2 \leq 1,0$ в результаты испытаний следует вводить поправки в соответствии с формулой

$$U_{po} = \frac{U_p}{1 + 0,5 \cdot (1 - e^{Q_1/Q_2})},$$

где - U_{po} - разрядное напряжение, загрязненных изоляторов при $Q_1/Q_2 < 0,1$; U_p - разрядное напряжение, загрязненных изоляторов, полученное на установке с $0,1 \leq Q_1/Q_2 \leq 1,0$.

Методика искусственного загрязнения и увлажнения полимерных изоляторов

1. Если после первичного нанесения слоя загрязнения на изоляторе наблюдается пятнистость, поверхность изолятора необходимо обмыть и очистить. Затем необходимо произвести одно или несколько повторных загрязнений, каждое из которых должно быть вновь смыто. Если после такой процедуры на поверхности изолятора будет получен сплошной (равномерный) слой, можно приступить к испытаниям. Как правило, достаточно повторить загрязнение и смыть 2 - 3 раза, чтобы получить поверхность изолятора, готовую к практически равномерному загрязнению.

В случае если после указанных процедур не удастся достигнуть равномерного слоя загрязнения, на чистую сухую поверхность изолятора следует нанести порошок, приготовленный из керамической массы. Нанесение должно производиться путем протирки изолятора мягкой тканью, на которой находится некоторое количество порошка.

Не допускается какая-либо механическая или химическая обработка поверхности изолятора.

2. Затем производится загрязнение изоляторов способом разбрызгивания (распыления) водной суспензии загрязняющего вещества на поверхность изолятора, предварительно подготовленную в соответствии с п. 1.

Направление сопла распылителя должно быть отрегулировано так, чтобы обеспечить достаточно равномерный слой на всей поверхности изолятора. Необходимая плотность загрязнения на изоляторе может быть получена повторяющимися нанесениями.

Средняя поверхностная плотность загрязнения, выражаемая в миллиграммах сухого вещества на квадратный сантиметр поверхности, для изоляторов, одновременно проходящих испытание, должна составлять $3 \pm 0,5$ мг/см².

Поверхностную плотность загрязнения (γ) определяют путем деления массы загрязняющего вещества (мг), счищенного с определенной части поверхности испытуемого изолятора, на площадь очищенной поверхности (см²).

3. ХЗ определяется удельной поверхностной проводимостью α , измеренной на испытуемом или контрольном изоляторе, находящемся в одинаковых условиях с испытуемым.

При использовании не менее 5 контрольных изоляторов общее число измерений α должно быть не менее 10, т. е. на каждом контрольном изоляторе допускается проводить не более двух отдельных измерений.

Изоляторы считают имеющими одинаковую степень загрязнения, если их удельная поверхностная проводимость составляет $(0,85 \div 1,15) \cdot \alpha$, где α - нормированное значение для испытаний.

4. Испытуемый изолятор должен быть увлажнен при помощи генератора тумана (пара), который обеспечивает равномерное распределение тумана (пара) по всей поверхности изолятора.

Испытания должны проводиться в заполняемой туманом (паром) испытательной камере или на открытой испытательной площадке при увлажнении восходящим потоком пара. В последнем случае для ограничения объема воздуха вокруг испытуемого изолятора и поддержания стабильности увлажнения может быть использован тент из полиэтиленовой пленки.

При установке испытуемого изолятора на открытой площадке, увлажнение должно вырабатываться в виде пара (тумана) путем нагревания воды в парогенераторе и подаваться к изолятору с малой скоростью через сопла большого диаметра. Сопла должны находиться под испытуемым изолятором на уровне пола, на расстоянии не менее чем 1,5 м от испытуемого объекта. Подача пара не должна быть направлена на изолятор, т.е., сопла должны быть установлены на некотором расстоянии от оси изолятора и равномерно располагаться вокруг него. Испытуемый изолятор должен увлажняться так, чтобы видимый туман окружал его возможно более равномерно.

Стабильность увлажнения от опыта к опыту при проведении испытаний рекомендуется контролировать характером изменения поверхностной проводимости во времени. В период отработки методики испытания рекомендуется получить характерную для данного изолятора кривую изменения проводимости слоя загрязнения во времени при непрерывном увлажнении испытуемого изолятора с заданной степенью загрязнения. При проведении испытаний рекомендуется контролировать изменение проводимости слоя загрязнения во времени и сравнивать с этой кривой. Идентичность изменения проводимости во времени на испытуемом изоляторе с предварительно полученной характерной зависимостью (кривой) может быть обеспечена регулированием расхода пара или направлением струй пара вокруг испытуемого изолятора.

Генерирование тумана вокруг испытуемого изолятора должно производиться до конца каждого отдельного испытания с постоянным устойчивым расходом, который необходимо контролировать.

5. Изолятор с сухим слоем загрязнения, подготовленный к испытанию в соответствии с пунктами 1 и 2, должен помещаться в испытательную камеру или на испытательную площадку не ранее чем через 24 часа и не позднее 36 часов после загрязнения.

Один и тот же искусственно загрязненный изолятор должен испытываться (увлажняться) один раз, за исключением увлажнения при измерении удельной поверхностной проводимости. Для следующего приложения напряжения (увлажнения) должен использоваться другой изолятор, с той же степенью загрязнения. Допускается проводить повторное испытание на одном изоляторе без смены слоя загрязнения, если после предыдущего воздействия напряжения (увлажнения) визуально не отмечено разрушения слоя загрязнения и удельная поверхностная проводимость,

измеренная перед очередным приложением напряжения, отличается не более чем на 10 % от значения, измеренного перед первым приложением напряжения.

Интенсивность увлажнения должна быть достаточно высокой и устойчивой, чтобы проводимость слоя загрязнения достигла своего максимального значения через несколько минут с начала генерирования пара. Максимальное значение проводимости слоя загрязнения, измеренное при испытании, должно соответствовать заданному значению удельной поверхностной проводимости.

Формулы для определения 50 %-ного разрядного напряжения

1. 50 %-ное разрядное напряжение определяют в соответствии с п. 2 или п. 3.

2. По результатам измерений 50 %-ное разрядное напряжение определяют по формуле Д.1:

$$U_{50\%} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot U_i}{N} \quad (\text{Д.1})$$

где k - число зачетных ступеней;

U_i - напряжение ступени, В;

n_i - число воздействий напряжения на i -й ступени;

N - общее число зачетных воздействий напряжения, которое должно быть не менее 10.

Зачетными являются точки всех ступеней, на которых как имелись, так и отсутствовали перекрытия, а также точки ближайшей ступени, на которой имелись только перекрытия, и ближайшей ступени, на которой перекрытия отсутствовали.

3. Результаты испытаний представляют в виде ряда возрастающих значений напряжения U_i следующих через равные интервалы напряжения ΔU и соответствующих этим значениям напряжений чисел перекрытий и отсутствия перекрытий. Уровень U_i , при котором рассматриваемое более редкое событие встречается первый раз, обозначается $i=0$. На основании серии таких испытаний значение $U_{50\%}$ вычисляют по формуле:

$$U_{50\%} = U_0 + \Delta U \cdot \left(\frac{A}{N} \pm \frac{1}{2} \right), \quad (\text{Д.2})$$

где U_0 - величина испытательного напряжения на нулевой ступени; ΔU - изменение напряжения между соседними ступенями; N - наименьшая величина из суммарного числа испытаний на всех ступенях, приводящих к перекрытию или отсутствию перекрытия.

Знак «+» в формуле Д.2 принимается, когда суммарное число отсутствия перекрытий меньше суммарного числа перекрытий. Когда суммарное число отсутствия перекрытий больше суммарного числа перекрытий принимается знак «-».

$$A = \sum_{i=0}^{m-1} i \cdot n_i, \quad (\text{Д.3})$$

где m - число ступеней испытательного напряжения; n_i - число тех событий (перекрытие или отсутствие перекрытия) на i -ой ступени, которым соответствует число N из общего числа испытаний.

Зачетными являются ступени от наибольшей, при которой не было перекрытий, до наименьшей, при которой не было отсутствия перекрытий.

4. Примеры определения 50 %-ного разрядного напряжения

Расчет производят на основании результатов испытаний, приведенных

в качестве примера в таблице Д.1 данного Приложения Д (X - перекрытие, O - нет перекрытия).

Таблица Д.1

Воздействующее напряжение U_i , кВ	Номер воздействия											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
34	X											
32		X										
30			X		X							
28				O		X		X				X
26							O		X		O	
24										O		

4.1 Пример определения 50 %-ного разрядного напряжения по формуле Д.1.

Таблица Д.2

Номер ступени, i	Воздействующее напряжение U_i , кВ	Номер воздействия												Количество воздействий на ступени n_i	Примечание
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
-	34	X												1	Незачетные точки
-	32		X											1	
1	30			X		X								2	Зачетные точки $\sum_1^4 n_i = 10$
2	28				O		X		X				X	4	
3	26							O		X		O		3	
4	24										O			1	

$$U_{50\%} = \frac{\sum_{i=1}^4 n_i \cdot U_i}{N} = \frac{30 \cdot 2 + 28 \cdot 4 + 26 \cdot 3 + 24 \cdot 1}{10} = 27,4 \text{ кВ}$$

Примечание. Зачетными являются точки всех ступеней, на которых как имелись, так и отсутствовали перекрытия, а также точки ближайшей ступени, на которой имелись только перекрытия, и ближайшей ступени, на которой перекрытия отсутствовали.

4.2 Пример определения 50 %-ного разрядного напряжения по формуле Д.2.

Таблица Д.3

Номер ступени, i	Воздействующее напряжение	Номер воздействия												Количество перекрытий на ступени	Количество отсутствия перекрытий на ступени	Примечание
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			

	жение U_i , кВ												пени n_{xi}	крытий на ступени n_{oi}	
-	34	X											1	0	Незачетные точки
-	32		X										1	0	
3	30			X		X							2	0	$n = 10;$ $n_x = 6,$ $n_o = 4 \Rightarrow N=4$ и в формуле Д.2 «+»; $U_0=24кВ$
2	28				О		X		X			X	3	1	
1	26							О		X		О	1	2	
0	24										О		0	1	

$$A = \sum_{i=0}^{4-1} i \cdot n_i = 0 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 4$$

$$U_{50\%} = 24 + 2 \cdot \left(\frac{4}{4} + \frac{1}{2} \right) = 27кВ$$

Примечание. Зачетными являются ступени от наибольшей, при которой не было перекрытий, до наименьшей, при которой не было отсутствия перекрытий.

Библиография

1. МЭК 60507 Изоляторы высокого напряжения переменного тока. Методы испытаний в условиях искусственного загрязнения.
2. МЭК 61245 1993 Испытания на искусственное загрязнение высоковольтных изоляторов, используемых в системах постоянного тока.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7 издание. Глава 1.9. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.
4. СТО 56947007-29.240.059-2010 «Инструкция по выбору изоляции электроустановок», ОАО «ФСК ЕЭС».
5. СТО 56947007-29.240.069-2011 «Изоляторы подвесные для ВЛ 110-750 кВ. Методы испытаний», ОАО «ФСК ЕЭС».