ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56735— 2015 (IEC/TS 60815-1:2008)

ИЗОЛЯТОРЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЫБОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ

Часть 1

Определения, информация и общие принципы

(IEC/TS 60815-1:2008, MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Ц СВЭП» (ООО «Ц СВЭП») и Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский электротехнический институт имени В.И. Ленина» (ФГУП ВЭИ) на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии международного документа, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 016 «Электроэнергетика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 ноября 2015 г. № 1902-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному документу IEC/TS 60815-1:2008 «Изоляторы высокого напряжения для работы в загрязненных условиях. Выбор и определение размеров. Часть 1. Определения, информация и общие принципы» (IEC/TS 60815-1:2008 «Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions — Part 1: Definitions, information and general principles», MOD) путем изменения содержания отдельных структурных элементов, которые выделены вертикальной линией, расположенной на полях напротив соответствующего текста, а также путем изменения отдельных фраз (слов, значений показателей, ссылок), которые выделены в тексте курсивом. Оригинальный текст структурных элементов примененного международного стандарта и объяснения причин внесения технических отклонений приведены в дополнительном приложении ДА.

Международный стандарт разработан Техническим комитетом по стандартизации ТС 36 «Изоляторы» Международной электротехнической комиссии (IEC).

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном документе, приведены в дополнительном приложении ДБ

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2016

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 2
3 Термины, определения и сокращения . . . 2
3.1 Термины и определения . . . 2
3.2 Сокращения . . . 3
4 Предлагаемые подходы к выбору изоляторов и определению их размеров . . . 3
4.1 Предварительные замечания . . . 3
4.2 Подход 1 . . . 4
4.3 Подход 2 . . . 4
4.4 Подход 3 . . . 4
5 Исходные данные для выбора изоляторов и определения их размеров . . . 6
6 Системные требования . . . 6
6.1 Тип системы (переменного или постоянного тока) . . . 6
6.2 Максимальное рабочее напряжение на изоляции . . . 6
6.3 Перенапряжения . . . 6
6.4 Заданные требования к исполнению . . . 7
6.5 Изоляционные расстояния, используемая геометрия, размеры . . . 7
7 Условия окружающей среды . . . 7
7.1 Определение типа загрязнения . . . 7
7.2 Основные типы окружающей среды . . . 8
7.3 Степень загрязнения . . . 9
8 Степень загрязнения на месте эксплуатации (СЗЭ) . . . 9
8.1 Оценка степени загрязнения на месте эксплуатации . . . 9
8.2 Методы оценки степени загрязнения на месте эксплуатации . . . 9
8.3 Классы степени загрязнения на месте эксплуатации . . . 10
9 Выбор изоляции и определение ее размеров . . . 13
9.1 Общее описание процесса выбора . . . 13
9.2 Общее руководство по выбору материала . . . 14
9.3 Общее руководство по выбору профиля ребер изоляторов . . . 14
9.4 Соображения по выбору длины пути утечки и длины изолятора . . . 16
9.5 Соображения относительно особых или специфических случаев применения или особенностей окружающей среды . . . 17
Приложение А (справочное) Блок-схемы различных подходов к выбору конструкции . . . 19
Приложение В (справочное) Механизмы перекрытия загрязненной изоляции . . . 22
Приложение С (обязательное) Измерение ЭПСО и ПНО . . . 24
Приложение D (обязательное) Оценка степени загрязнения типа В . . . 29
Приложение Е (обязательное) Измерения направленных пылевых отложений . . . 31
Приложение F (обязательное) Использование лабораторных методов испытаний . . . 34
Приложение G (обязательное) Детерминистские и статистические подходы при испытании изоляции искусственным загрязнением и критерии оценки . . . 35
Приложение Н (справочное) Пример вопросника для сбора информации по поведению изоляторов в загрязненных районах . . . 37
Приложение I (справочное) Коэффициент формы . . . 39

Приложение J (справочное) Соотношение между удельной длиной пути утечки и нормированной удельной длиной пути утечки 40
Приложение ДА (справочное) Оригинальный текст положений МЭК/ТТ 60815-1:2008, которые применены в настоящем стандарте с изменением их содержания для учета технических особенностей объекта стандартизации, принятых в Российской Федерации 41
Приложение ДБ (справочное) Сведения о соответствии ссылочных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 42
Библиография 43

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИЗОЛЯТОРЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЫБОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ

Часть 1

Определения, информация и общие принципы

Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions. Part 1. Definitions, information and general principles

Дата введения — 2016—08—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает определения, информацию и основные принципы, применяемые при выборе, а также определении основных размеров изоляторов, предназначенных для использования в системах высокого напряжения в условиях загрязнения, в том числе нормирование удельной длины пути утечки, рассчитанной по фазному напряжению электроустановки, рекомендации по профилям (конфигурации) изоляторов различного исполнения с учетом их диаметра вылета ребер и расстояний между ребрами, применения специальных разнонаправленных сборников загрязнения.

Настоящий стандарт в большинстве случаев применим ко всем типам внешней изоляции, включая изоляцию, составляющую часть другого аппарата. В дальнейшем, термин «изолятор» используется по отношению к любому типу изолятора.

Настоящий стандарт основан на документах [1], [2], [3] и является удобной формой для желающих более глубоко изучить характеристики изоляторов в условиях загрязнения.

Основные правила и принципы выбора и определения основных размеров изоляторов, предназначенных для использования в системах высокого напряжения в условиях загрязнения, рекомендованы документами [9], [10], [11], [12], а нормирование удельной длины пути утечки, рассчитанной по фазному напряжению электроустановки, рекомендации по профилям (конфигурации) изоляторов различного исполнения с учетом их диаметра вылета ребер и расстояний между ребрами, применения специальных разнонаправленных сборников загрязнения настоящим стандартом.

Настоящий стандарт не рассматривают влияния снега, льда или высоты над уровнем моря на загрязнение изоляторов. Несмотря на то, что эта тема указана в документах [1], [4], имеющиеся знания крайне ограничены и практические результаты слишком противоречивы.

Целью настоящего стандарта является:

- понять и установить параметры системы, применение, оборудование и влияние эксплуатационных загрязнений на поведение изоляторов;
- понять и выбрать соответствующий подход к проектированию конструкции изолятора, основанный на доступных данных, с учетом времени и ресурсов;
- охарактеризовать тип загрязнения в эксплуатации и определить степень загрязнения (СЗЭ);
- определить базисную нормированную удельную длину пути утечки (БНДПУ) в зависимости от СЗЭ;
- определить поправки к БНДПУ с учетом специфических свойств (в особенности профиля ребра изолятора) изолятора, предполагаемого для использования его в эксплуатации для данного типа системы;
- определить относительные преимущества и недостатки возможных решений;
- учесть возможность принятия «гибридных» решений или профилактических измерений;
- если требуется определить соответствующие методы испытания и параметры, чтобы проверить характеристики выбранных изоляторов.

Примечание — См. приложение ДА.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 721—77 Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи, приемники электроэнергии. Номинальные напряжения свыше 1000 В

ГОСТ 10390—86 Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии

ГОСТ 27744—88 Изоляторы, термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем разделе использованы термины по *ГОСТ 27744*, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **стандартный тарельчатый изолятор:** Изоляторы U120B или U160B тарельчатого типа (согласно *ГОСТ 27661—88*) обычно используются в гирлянде от 7 до 9 элементов для измерения степени загрязнения в районе эксплуатации.

3.1.2 **стандартный длинностержневой изолятор:** L100 длинностержневой изолятор с простыми ребрами, имеющими ровную поверхность сверху и снизу, с максимальным углом наклона ребра в диапазоне от 14° до 24° и минимальным углом наклона ребра в диапазоне от 8° до 16°, и имеющий не менее 14 ребер, используемый для измерения эксплуатационной степени загрязнения.

3.1.3 **тело изолятора:** Центральная часть изолятора, от которой отходят ребра.

Примечание — Известно также как ствол или место наименьшего диаметра изолятора.

3.1.4 **ребра:** Ответвления от тела изолятора, используемые с целью увеличения длины пути утечки.

Примечание — Несколько типичных профилей ребер показаны в разделе 9.

3.1.5 **длина пути утечки:** Кратчайшее расстояние или сумма расстояний вдоль поверхности изоляционной части изолятора между элементами, к которым, при нормальной работе, приложено рабочее напряжение.

Примечание 1 — Поверхность цемента иди другого неизоляционного заделочного материала не рассматривается как образующая часть длины пути утечки.

Примечание 2 — Если на изолирующие части изолятора наложено высокоомное покрытие, а именно: полупроводниковое глазурное, то эти части рассматриваются в качестве эффективных изолирующих поверхностей и расстояние вдоль них включается в длину пути утечки.

3.1.6 **нормированная удельная длина пути утечки НУДПУ:** Длина пути утечки, деленная на действующее значение наибольшего рабочего фазного напряжения сети.

Примечание — Как правило, НУДПУ выражается в мм/кВ, и обычно принимается за минимальное значение.

3.1.7 **параметры профиля изолятора:** Набор геометрических параметров, оказывающих влияние на характеристики загрязненной изоляции.

3.1.8 **плотность солевых отложений ПСО:** Количество хлористого натрия (NaCl), искусственно нанесенного на поверхность изолятора (металлические части и компоновочные материалы не учитываются), деленное на площадь поверхности; обычно выражается в мг/см^2.

3.1.9 **эквивалентная плотность солевых отложений ЭПСО:** Количество хлористого натрия (NaCl), которое при растворении в деминерализованной воде дает такую же объемную проводимость, как и снятое с заданной поверхности изолятора естественное загрязнение, деленное на площадь поверхности; обычно выражается в мг/см^2.

3.1.10 **плотность нерастворимых отложений ПНО:** Количество нерастворимого осадка, снятого с определенной поверхности изолятора, деленное на величину этой поверхности; обычно выражается в мг/см^2.

3.1.11 **эквивалентная соленость ЭС:** Соленость среды при испытаниях в соленом тумане согласно *ГОСТ 10390—86*, которое дает одинаковое наибольшее значение тока утечки на таком же изоляторе и при таком же напряжении, как естественное загрязнение; обычно выражается в кг/м^3.

3.1.12 **показатель растворимых пылевых отложений — растворимость ПРПО:** Объемная проводимость загрязнений, обычно выраженная в мкСм/см, собранных устройством сбора пылевых отложений за заданный период времени, при растворении его в данном количестве деминерализованной воды.

3.1.13 **показатель нерастворимых пылевых отложений — нерастворимость ПНПО:** Масса нерастворимых загрязнений, накопившихся на эталонном образце за заданный период времени, обычно выражается в мг.

3.1.14 **степень загрязнения на месте эксплуатации СЗЭ:** Максимальная из величин ЭПСО/ПНО, ЭС или ПРПО/ПНПО, зафиксированная за заданный период времени.

3.1.15 **класс загрязнений:** Мера интенсивности загрязнений, от очень легкой до очень сильной, зависящая от СЗЭ.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте использованы следующие сокращения:

УИНПО — устройство для измерения направленных пылевых отложений;

ПРПО — показатель растворимых пылевых отложений — растворимость;

ПНПО — показатель нерастворимых пылевых отложений — нерастворимость;

$C_м$ D_m — сухие месяцы (для УИНПО);

ЭПСО — эквивалентная плотность солевых отложений;

$T_д$ F_d — дни с туманом (для УИНПО);

$K_ф$ F_f — коэффициент формы;

НО — нерастворимые отложения;

ПНО — плотность нерастворимых отложений,

ПЗ — показатель загрязнения (для УИНПО);

ПСО — SDD плотность солевых отложений;

ЭС — соленость при испытаниях, эквивалентная солености на месте эксплуатации;

СЗЭ — степень загрязнения на месте эксплуатации;

КП — кратковременные перенапряжения;

НУДПУ — нормированная удельная длина пути утечки.

4 Предлагаемые подходы к выбору изоляторов и определению их размеров

4.1 Предварительные замечания

Для выбора подходящих изоляторов из каталогов с учетом системных требований и условий окружающей среды рекомендуются три подхода (см. ниже 1, 2 и 3 в таблице 1). Эти подходы также показаны на блок-схеме в приложении ДА.

В таблице 1 указаны необходимые исходные данные и решения для каждого подхода. Практическая применимость каждого подхода зависит от доступной информации, временных затрат и эконо-

мических условий, указанных в проекте. Степень вероятности того, что был выбран правильный тип и размеры изолятора зависит также от решений, принятых в процессе выбора. Предполагается, что если был выбран «короткий» путь, то в результате это приведет к созданию изоляции с большим запасом, по сравнению с теми случаями, когда можно допустить риск повреждения изоляции в эксплуатации.

В действительности характеристики загрязненной изоляции определяются сложными и динамическими взаимодействиями между окружающей средой и изолятором. В приложении В дается краткое описание механизма формирования разряда вдоль загрязненной поверхности изолятора.

4.2 Подход 1

В подходе 1 такое взаимодействие представлено для воздушных линий электропередачи или подстанций, и может быть также использовано для испытательных стендов.

4.3 Подход 2

В подходе 2 эти взаимодействия не могут быть в полной мере учтены при лабораторных испытаниях, например, при испытаниях, указанных в *ГОСТ 10390—86*.

4.4 Подход 3

В полной мере эти взаимодействия могут быть учтены при использовании подхода 3 путем введения поправочных коэффициентов. При выборе размеров изоляторов подход 3 является простым и дешевым, но может привести к недооценке степени загрязнения или к менее экономичному решению благодаря излишним размерам. Полные затраты, учитывающие все предъявляемые требования, следует оценивать с применением всех трех подходов. Если обстоятельства позволяют, следует использовать подходы 1 и 2.

В указанных трех подходах заложены следующие условия по временным затратам:

- Для накопления опыта эксплуатации (подход 1) необходим период успешной эксплуатации изоляторов в течение от пяти до десяти лет. Этот период может быть большим или меньшим в зависимости от частоты и интенсивности климатических воздействий и загрязнений.

- Для накопления опыта на испытательных стендах (подход 1) в качестве типичной можно указать длительность от двух до пяти лет. Этот период может быть большим или меньшим в зависимости от процедуры и интенсивности проведения испытаний.

- Для измерения степени загрязнений в эксплуатации (подходы 2 и 3) необходимо не менее одного года (см. 8.2).

- Для оценки степени загрязнений в эксплуатации (подходы 2 и 3) необходимо изучать климат и окружающую среду, идентифицировать и анализировать источники загрязнений. Такая оценка не является кратковременным процессом и выполняется в течение нескольких недель или месяцев.

- Для лабораторных испытаний (подход 2) необходимо время порядка недель или месяцев, в зависимости от типа и масштабов испытаний.

Ниже приведена более подробная информация о системных требованиях, окружающей среде и определении степени загрязнения в эксплуатации.

Пример вопросника, который может быть использован в подходе 1, для получения данных опыта эксплуатации на действующей линии или подстанции, приведен в приложении Н.

Руководство по использованию результатов лабораторных испытаний при подходе 2, в основном, приведено в приложении F. Детерминистский и статистический методы приемлемы для принятия соответствующих решений по выбору изоляторов, основанные на данных по степени загрязнения в эксплуатации и результатах лабораторных испытаний; краткое описание этих двух методов представлено в приложении G.

Для подхода 3 требования по выбору минимальной нормированной удельной длины пути утечки и поправочных коэффициентов приведены в соответствующих частях настоящей публикации.

Таблица 1 — Три подхода к выбору изоляторов и определению их размеров

<table>
<tr><th>Факторы выбора</th><th colspan="2">Подход 1
(Использование опыта эксплуатации)</th><th colspan="2">Подход 2
(Измерения и испытания)</th><th colspan="2">Подход 3
(Измерения и разработка)</th></tr>
<tr><td>Метод</td><td colspan="2">- Использование имеющегося опыта, накопленного в полевых условиях или на испытательных стендах при одинаковых, близких или сходных условиях</td><td colspan="2">- Измерения или оценка степени загрязнения в эксплуатации
- Выбор варианта изолятора в соответствии с изложенными ниже рекомендациями относительно его профиля и длины пути утечки
- Выбор подходящих лабораторных испытаний и критериев оценки
- Подтверждение выбора изолятора или отказ от него</td><td colspan="2">- Измерения или оценка степени загрязнения в эксплуатации
- Использование этой информации для выбора типа и размеров изоляторов в соответствии с изложенными ниже рекомендациями относительно его профиля и длины пути утечки</td></tr>
<tr><td>Исходные данные</td><td colspan="2">- Системные требования
-Условия окружающей среды
- Параметры изолятора
- Технические характеристики</td><td colspan="2">- Системные требования
- Условия окружающей среды
- Параметры изолятора
- Имеющиеся ресурсы и время</td><td colspan="2">- Системные требования
- Условия окружающей среды
- Параметры изолятора
- Имеющиеся ресурсы и время</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Принятие решения</td><td colspan="2">Удовлетворяет ли предъявляемым требованиям существующая изоляция и возможно ли использовать ее для таких же изоляционных конструкций?</td><td colspan="2">Имеется ли достаточное время для измерения степени загрязнения в эксплуатации?</td><td colspan="2">Имеется ли достаточное время для измерения степени загрязнения в эксплуатации?</td></tr>
<tr><td>ДА
Использовать такую же изоляционную конструкцию</td><td>НЕТ
Использовать другую изоляционную конструкцию, материалы или размеры. Использовать опыт эксплуатации для предварительного выбора нового решения или размеров</td><td>ДА
Выполнить измерения</td><td>НЕТ
Выполнить оценку
- Тип загрязнения определяет необходимые методы проведения лабораторных испытаний
- Степень загрязнения в эксплуатации определяет испытательные величины</td><td>ДА
Выполнить измерения</td><td>НЕТ
Выполнить оценку</td></tr>
<tr><td>Процесс выбора</td><td colspan="2">- При необходимости использовать приведенное ниже руководство по выбору длины пути утечки и профиля для адаптирования параметров существующей изоляции к новому выбору в соответствии с подходом 2 или 3</td><td colspan="2">- Выбрать предполагаемый вариант изолятора
- Испытать его, если грязеразрядные характеристики для него отсутствуют
- При необходимости скорректировать выбор / размеры в соответствии с результатами испытаний</td><td colspan="2">- Использовать тип загрязнения и климатические условия для выбора подходящих профилей в соответствии с приведенным ниже руководством
- Использовать уровень загрязнения и поправочные коэффициенты для определения профиля, выбора материалов и размеров в соответствии с приведенным ниже руководством</td></tr>
<tr><td>Надежность</td><td colspan="2">- Выбор с хорошей надежностью</td><td colspan="2">- Выбор с надежностью, изменяющейся в зависимости от величины погрешности и/или недостаточной оценки степени загрязнения в эксплуатации в предположении и/или ограничений, возникающих при лабораторных испытаниях</td><td colspan="2">- Возможность выбора излишних или недостаточных размеров по сравнению с подходами 1 или 2.
- Выбор с надежностью, изменяющейся в зависимости от величины погрешности и/или недостаточной оценки степени загрязнения в эксплуатации и от правильности выбранных поправочных коэффициентов</td></tr>
</table>

5 Исходные данные для выбора изоляторов и определения их размеров

Выбор изоляторов наружного исполнения и их размеров является сложным процессом; для получения успешного результата необходимо принимать во внимание большое число параметров. При заданной местности эксплуатации или готовом проекте исходные данные делятся на три категории.

Системные требования, условия окружающей среды на месте эксплуатации и параметры изолятора по каталогам изготовителей. Каждая из этих трех категорий включает несколько параметров, представленных в таблице 2. Эти параметры описаны в последующих разделах.

Таблица 2 — Исходные данные для выбора изоляторов и определения их размеров

Системные требования	Условия окружающей среды	Параметры изолятора
Тип системы	Тип и уровень загрязнения	Строительная высота
Максимальное рабочее напряжение на изоляции	Дождь, туман, роса,... снег и лед	Тип
Параметры координации изоляции	Ветер, шторм	Материал
	Температура, влажность	Профиль
Требования к исполнению	Высота расположения над уровнем моря	Длина пути утечки
Изоляционные расстояния, используемая геометрия, размеры	Грозовая и сейсмическая активность	Диаметры
	Вандализм, воздействие со стороны животных	Длина дуги
Система технического обслуживания и ремонта	Биологическая активность	Механические и электрические характеристики

6 Системные требования

При выборе изоляторов наружного исполнения и их размеров должны быть приняты во внимание системные требования. Следующие параметры могут оказать существенное влияние на размеры изолятора и поэтому должны быть учтены в обязательном порядке.

6.1 Тип системы (переменного или постоянного тока)

Из опыта эксплуатации и результатов лабораторных испытаний хорошо известно, что при одинаковых условиях загрязнения изоляторы, предназначенные для работы в системах постоянного тока, должны обладать несколько большей длиной пути утечки, чем изоляторы, используемые в сетях переменного тока.

6.2 Максимальное рабочее напряжение на изоляции

Как правило, системы переменного тока характеризуются максимальным рабочим линейным напряжением оборудования U_m (см. ГОСТ 721-77).

Изоляция относительно земли находится под воздействием напряжения

$$U_{н.р.ф.} = U_m/\sqrt{3}.$$

Изоляторы, включенные между фазами, испытывают воздействие наибольшего рабочего линейного напряжения $U_{н.р.л.} = U_m$.

Для систем постоянного тока, максимальное рабочее напряжения обычно равно максимальному рабочему напряжению относительно земли. В случае смешанного напряжения необходимо использовать действующее значение напряжения.

6.3 Перенапряжения

Влияние переходных перенапряжений не следует учитывать из-за их малой длительности.

Кратковременные перенапряжения (КП) могут возникать при внезапном сбросе нагрузки генераторов и линий или однофазных коротких замыканий на землю, ими нельзя пренебречь.

Примечание — Длительность КП зависит от структуры системы и может достигать получаса и даже более в системах с изолированной нейтралью. Влияние длительности воздействия КП и одновременно вероятности их появления на характеристики загрязненной изоляции могут быть рассмотрены. Информация по этому вопросу и другим рискам, таким как включение на холостой ход, изложена в [1].

6.4 Заданные требования к исполнению

Продольная изоляция, используемая для синхронизации, может подвергаться воздействию перенапряжений, в 2,5 раза превышающих фазное напряжение.

Некоторые потребители требуют установления уровня изоляции наружного исполнения с учетом требований надежности, удобства обслуживания и доступности. Требования надежности могут быть сформулированы, например, как максимальное число перекрытий по поверхности загрязненной изоляции на одну подстанцию, или на 100 км линии электропередачи за заданное время. Такие требования также могут включать максимальное время восстановления после перекрытия.

В дополнение к определению размеров изолятора, исходя из условий эксплуатации, заданные требования могут стать фактором, определяющим параметры изолятора.

6.5 Изоляционные расстояния, используемая геометрия, размеры

Можно выделить несколько случаев, когда требуются специальные решения по выбору типов изоляторов и их размеров.

Например:

- компактные линии и подстанции;
- необычное положение изолятора;
- необычная конструкция опор и подстанций;
- изолированные провода;
- линии или подстанции с низким визуальным обзором.

7 Условия окружающей среды

7.1 Определение типа загрязнения

Существуют два основных типа загрязнения изоляторов, которые могут привести к их перекрытию:

Тип А: твердые загрязнения с нерастворимой компонентой, оседающие на поверхности изолятора. При увлажнении эти загрязнения делаются проводящими. Этот тип загрязнений лучше всего характеризуется измерениями ЭПСО/ПНО и ПРПО/ПНПО.

Тип В: когда жидкие электролиты выпадают на поверхности изолятора с очень малым содержанием нерастворимой компоненты или при ее отсутствии. Этот тип загрязнений лучше всего характеризуется измерениями проводимости или тока утечки.

Могут возникать также комбинации указанных двух типов.

В приложении А содержится краткое описание механизмов перекрытий при загрязнениях типа А и В.

7.1.1 Загрязнения типа А

Загрязнения типа А чаще всего связаны с континентальными областями, пустынями или областями с промышленными загрязнениями (см. п. 7.2). Загрязнения типа А могут также возникать в прибрежных районах в том случае, когда образуется сухой слой соли, который быстро увлажняется при тумане, росе и моросящем дожде. Загрязнения типа А имеют две основных компоненты, а именно растворимые загрязнения, принимающие форму проводящего слоя на поверхности при увлажнении, и нерастворимые загрязнения, образующие слой для растворимых загрязнений. Они описаны ниже:

- Растворимые загрязнения:

Растворимые загрязнения подразделяются на сильно растворимые соли (то есть соли, которые быстро растворяются в воде) и слаборастворимые соли (то есть соли, плохо растворяющиеся). Растворимые загрязнения определяются ЭПСО в мг/см^2.

- Нерастворимые загрязнения:

Примерами нерастворимых загрязнений являются песок, пыль, глина, масло и т. п. Нерастворимые загрязнения определяются ПНО в мг/см^2.

Примечание — Влияние растворимости солей на выдерживаемое напряжение загрязненной изоляции не рассматривается в настоящем техническом требовании и в настоящее время находится в стадии обсуждения. Аналогичным образом не рассматривается влияние нерастворимых загрязнений. Кроме того, нерастворимая компонента может содержать проводящую фракцию (например, загрязнение с металлическими проводящими частицами).

В [1] приведено больше информации относительно влияния материала загрязнения.

7.1.2 Загрязнения типа В

Загрязнения типа В чаще всего связаны с районами морского побережья, где соленая вода или проводящий туман оседают на поверхности изолятора. Другими источниками загрязнений типа В являются, например, выветривание почвы, химические выбросы и кислотные дожди.

7.2 Основные типы окружающей среды

В настоящей публикации окружающая среда описана пятью следующими типами. Эти типы описывают типичные загрязнения в данном районе. Примеры типов загрязнений (А или В согласно 7.1) приведены в тексте. На практике основная часть загрязнений образована более, чем одним типом, например, областями морского побережья с песчаными пляжами; в таких случаях важно определить, который тип загрязнения (А или В) является преобладающим.

- Тип области «Пустыня»

Это области, характеризуемые песчаными почвами с длительным периодом засухи. Эти области могут быть протяженными. Загрязнения в этих местностях обычно содержат медленно растворяющиеся соли с высоким уровнем ПНО (А). Изоляторы загрязняются, главным образом, при обдувании ветром. Естественная очистка осуществляется либо во время редких дождей, либо «пескоструйным» способом при сильном ветре. Редкость дождей при данном типе загрязнения (медленно растворяющиеся соли) делают естественную очистку малоэффективной. Критическое увлажнение, создающее риск перекрытия, возникает относительно часто при выпадении росы на изоляторах.

- Тип области «Побережье»

Эти области обычно примыкают непосредственно к побережью, однако в некоторых случаях, в зависимости от топографии, простираются на расстояние до 50 км вглубь материка. Загрязнение осаждается на изоляторах, в основном, при распылении, ветре и тумане. Образование загрязнения происходит, как правило, быстро, особенно в условиях проводящего тумана (тип В). В течение длительного времени возможно также образование загрязнения частицами, переносимыми ветром, где слой загрязнений на изоляторах состоит из быстрорастворимых солей с низким уровнем содержания инертной компоненты (тип А), которая зависит от адгезии к поверхности. Естественная очистка изоляторов обычно эффективна, поскольку загрязнения состоят, главным образом, из хорошо растворимых солей.

- Тип «Промышленные» области

Это области, находящиеся в непосредственной близости от источников промышленных загрязнений, которые могут воздействовать только на малое число установок. Загрязнения могут содержать высоко проводящие частицы — такие, например, как уголь, металлическая пыль — или растворенные газы — такие, как NOx, SOx, (тип В) — или медленно растворяющиеся загрязнения — как цемент, гипс (тип А). Слой загрязнений может обладать средним или высоким содержанием инертной компоненты (средний или высокий (ПНО) (тип А). Эффективность естественной очистки в промышленных областях может очень сильно зависеть от типа загрязнения. Часто загрязнениями являются тяжелые частицы, оседающие на горизонтальной поверхности изоляторов.

- Тип «Сельскохозяйственные» области

Это области, расположенные в зоне сельскохозяйственной деятельности. Обычно это области пахоты (тип А) или поливного земледелия (тип В). Слой загрязнения на изоляторах состоит, главным образом, из быстро или медленно растворимых солей, таких, как химикаты, птичий помет, или солей, присутствующих в почве. Слой загрязнения обычно обладает средним или высоким содержанием инертной компоненты (средний или высокий ПНО). Естественная очистка изоляторов может быть чрезвычайно эффективной в зависимости от типа отложений. Часто загрязнениями являются тяжелые частицы, оседающие на горизонтальной поверхности изоляторов, однако это может быть и переносимое ветром загрязнение.

- Тип «Внутриматериковые» области

Это области с низким уровнем загрязнений и легко определяемыми источниками загрязнений.

7.3 Степень загрязнения

Степень загрязнения измеряется на месте эксплуатации (например, с помощью сборников отложений, моделей изоляторов, измерения тока и т. п.) и обычно выражается через:

— ЭПСО и ПНО для загрязнений типа А,

— поверхностную проводимость для загрязнений типа В.

Примечание — В некоторых случаях измерения ЭПСО могут быть использованы для загрязнений типа В.

Степень загрязнения при проведении испытаний в условиях искусственного загрязнения обычно выражается через:

— ЭПСО и ПНО — при методах испытаний с нанесением твердого слоя загрязнений;

— Соленость тумана (кг/м^3) — при методах испытаний в соленом тумане.

8 Степень загрязнения на месте эксплуатации (СЗЭ)

8.1 Оценка степени загрязнения на месте эксплуатации

СЗЭ — это максимальная величина(ы) либо ЭПСО и ПНО (в случае тарельчатых и штыревых изоляторов, средняя величина ЭПСО/ПНО для верхней и нижней поверхностей), либо из СЗЭ, или ПРПО и ПНПО, измеренные согласно методам, изложенным в настоящих Технических требованиях и зарегистрированным в течение заданного периода времени, то есть за один год или более лет, и через определенный интервал времени регистрации. Интервалы времени регистрации (непрерывная, каждый месяц, через три месяца, через шесть месяцев, каждый год и т.д. — см. приложения С и D) могут быть выбраны в соответствии с известными местными климатическими условиями или другими особенностями окружающей среды.

При возникновении дождя в период измерений их следует повторить спустя приемлемое время для определения влияния естественной очистки; СЗЭ должна определяться как наибольшая величина, зарегистрированная в этой серии измерений.

Примечание 1 — Если наибольшие значения ЭПСО и ПНО (или ПРПО и ПНПО) возникают не одновременно, то СЗЭ выбирается из комбинаций этих наибольших величин.

Примечание 2 — При отсутствии естественной очистки за период времени измерений, максимальные величины ЭПСО и ПНО могут быть оценены путем построения зависимости плотности отложений от логарифма времени, принимая значения времени в отношении к ожидаемой частоте возникновения дождя.

Примечание 3 — При наличии необходимых данных, максимальная величина может быть заменена статистическими величинами (например, 1 %, 2 %, 5 %).

8.2 Методы оценки степени загрязнения на месте эксплуатации

Оценка степени загрязнения может быть произведена со снижением степени достоверности:

- на основании измерений на месте эксплуатации;
- на основании информации по поведению изоляторов на линиях и подстанциях, уже находящихся в эксплуатации или близких к месту измерений (см. приложение Н);
- на основании моделирования для проведения расчетов уровня загрязнений в зависимости от погодных условий и других параметров окружающей среды (см. [1]);
- если нет других возможностей, то качественно по данным таблицы 5.

Для измерений на месте эксплуатации обычно используются различные методы измерения:

- измерение ЭПСО/ПНО на поверхности стандартных изоляторов (см. приложение С) для загрязнения типа А,

или измерение ЭС по току утечки или проводимости на стандартных изоляторах или с помощью мониторинга (см. приложение D) для загрязнения типа В,

или измерение ПРПО, ПНПО собранных отложений по показаниям УИНПО (см. приложение Е) для загрязнений типов А или В,

- определение общего числа перекрытий изоляторов различной длины;
- измерение тока утечки или проводимости выборочных изоляторов.

Примечание 1 — В [6] указаны примеры основных решений по измерению степени загрязнения в эксплуатации.

Для первых вышеуказанных трех методов измерения (ЭПСО, ЭС или ПРПО) не требуется дорогостоящее оборудование, и они могут быть легко выполнены. Методы измерения ЭПСО/ПНО и ЭС характеризуют степень

загрязнения в эксплуатации стандартного изолятора. Метод измерения по показаниям УИНПО обеспечивает измерение количества загрязнения в окружающей среде. Во всех случаях информация о возникновении дождя и увлажнения должна быть получена отдельно при использовании соответствующего метеорологического оборудования.

Точность всех этих методов зависит от частоты измерения и длительности изучения. Точность может быть увеличена при использовании комбинации из двух или более методов.

Метод, основанный на определении общего числа перекрытий, требует дорогого испытательного оборудования. Может быть получена надежная информация от результатов испытаний изоляторов с длиной, близкой к расчетной и, перекрытиях, имеющих место при напряжении, близком к действительному рабочему напряжению.

Последние два метода, требующие источник питания и специальную регистрирующую аппаратуру, имеют преимущество в том, что степень загрязнения постоянно контролируется. Они получили развитие для оценки роста уровня загрязнений во времени. Используя опытные данные, эти методы могут быть применены для суждения об уровне безопасности, на котором находится степень загрязнения. Если степень загрязнения превышает безопасный уровень, то следует позаботиться о чистке изоляторов или о других профилактических мерах. Данные два метода позволяют напрямую определять минимальную НУДПУ, необходимую для испытуемых изоляторов в эксплуатации.

Если измерения проводятся на контрольных изоляторах, может быть очень полезным включить в состав контрольных образцов изоляторы с другими профилями ребер и пространственным расположением с целью изучения механизмов отложения и самоочистки в эксплуатации. Данная информация затем может использоваться для уточнения выбора соответствующего профиля.

Загрязнения часто бывают сезонными и связанными с климатическими особенностями; следовательно, период измерения, по крайней мере, в один год, должен учитывать любые сезонные изменения. Могут потребоваться более длительные периоды, чтобы учитывать исключительные случаи загрязнения, или чтобы определить общие тенденции. Возможно, что для засушливых районов измерения необходимо проводить, по крайней мере, через каждые три года (см. п. 9.5.2).

Примечание 2 — Необходимо учитывать перспективы промышленного развития, транспортных сетей и т.д. Рекомендуется после такого развития продолжить контролировать степень загрязнения.

8.3 Классы степени загрязнения на месте эксплуатации

В целях стандартизации количественно определены следующие пять классов, характеризующих степень загрязнения в эксплуатации — от очень легкой до очень сильной.

a — Очень легкое загрязнение;

b — Легкое загрязнение;

c — Среднее загрязнение;

d — Сильное загрязнение;

e — Очень сильное загрязнение.

Примечание 1 — Данные буквенные классы не соответствуют предыдущим цифровым классам МЭК/ТТ 60815: 1986.

Примечание 2 — В действительности переход от одного класса к другому осуществляется постепенно, поэтому, если имеются результаты измерений, то при определении размеров изоляторов следует учитывать не столько класс степени загрязнения, сколько реальную величину СЗЭ.

Для загрязнений типа А на рисунках 1 и 2 изображены диапазоны изменения значений ПНО и ЭПСО, соответствующих каждому классу СЗЭ, соответственно для стандартных тарельчатых и длинностержневых изоляторов. Данные значения получены на основе полевых измерений, исследований и результатов лабораторных испытаний в условиях загрязнения. Это максимальные значения, которые могут быть найдены при регулярных измерениях, проводимых, как минимум, в течение одного года. Эти рисунки применяются только для стандартных изоляторов с учетом их специфических свойств накопления загрязнений.

Если имеется важная информация с места эксплуатации или информация национального масштаба (например, региональные карты загрязнения, связанные с эксплуатационными данными, измерениями поверхностной проводимости, ЭПСО, ПРПО и т.д.), то специфические классы СЗЭ, относящиеся к данной информации, могут быть перенесены на рисунки 1 и 2.

Для экстремальных степеней загрязнения в затемненных зонах сверху правой стороны рисунков 1 и 2 и с правой стороны рисунка 3 не могут в дальнейшем использоваться простые правила для удовлетворительной оценки характеристик загрязнения. Кроме того, для очень высоких значений ПНО и соответствующим им значениям ЭПСО (затемненная зона сверху левой стороны рисунков 1 и 2) имеются очень ограниченные данные. Эти зоны требуют подробного изучения, комбинированных решений по выбору изоляции и паллиативных измерений (см. п. 9.5.5).

Примечание — Для двух типов стандартных изоляторов даны отдельные рисунки, поскольку в одних и тех же условиях окружающей среды они не накапливают одинаковое количество загрязнения. В общем случае,

стандартный длинностержневой изолятор накапливает меньше загрязнений, чем тарельчатый изолятор. Однако необходимо отметить, что в некоторых условиях быстрого накопления загрязнения (например, прибрежные бури, тайфуны) коэффициент накопления между двумя типами может быть временно изменен в противоположную сторону.

Для загрязнения типа В на рисунке 3 представлена взаимосвязь между измерениями ЭСЭ и классом СЗЭ для обоих типов стандартных изоляторов.

Соответствие между измерениями УИНПО и классом СЗЭ применительно к обоим типам загрязнений А и В представлено в таблицах 3 и 4.

Приведенные на рисунках 1—3 значения базируются на естественных загрязнениях, накапливаемых на стандартных изоляторах.

Данные этих рисунков не должны непосредственно использоваться для определения степеней загрязнения при проведении лабораторных испытаний. Необходимо вводить поправки, учитывающие различие между естественными условиями загрязнения и условиями при лабораторных испытаниях, так же как и для различных типов изоляторов (см. приложение F и [1]).

Переход от одного класса СЗЭ к другому постепенен, поэтому границы между каждым классом СЗЭ на рисунках 1—3 затемнены (см. примечание 2 выше).

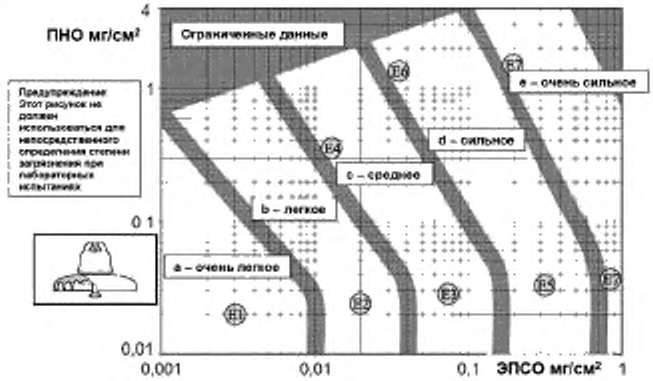


Рисунок 1 — Определение областей классов степени загрязнения в эксплуатации (СЗЭ) типа А по зависимостям плотности нерастворимых осаждений (ПНО) от эквивалентной плотности солевых отложений (ЭПСО) для стандартного тарельчатого изолятора

Обозначения Е1—Е7 соответствуют примерам, указанным в таблице 5

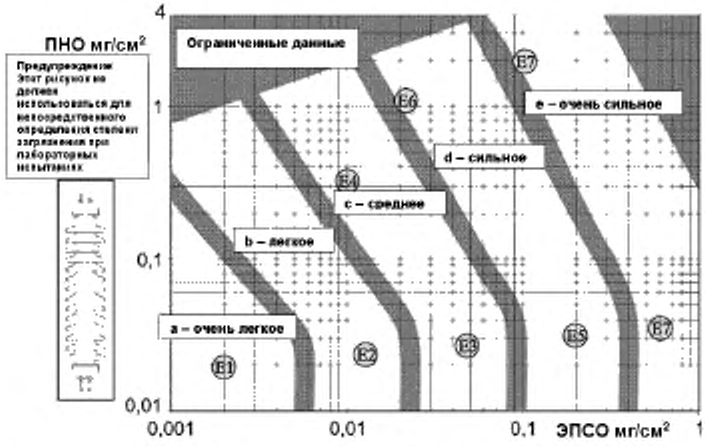


Рисунок 2 — Определение областей классов степени загрязнения в эксплуатации (СЗЭ) типа А по зависимостям плотности нерастворимых осаждений (ПНО) от эквивалентной плотности солевых отложений (ЭПСО) для стандартного длинностержневого изолятора

Обозначения Е1 — Е7 соответствуют примерам, указанным в таблице 5



Рисунок 3 — Взаимосвязь между измерениями ЭС типа В и классом СЗЭ для обоих типов стандартных изоляторов или мониторинга

Таблица 3 — Показатель загрязнения по данным устройства для измерения направленных пылевых отложений по отношению к классу СЗЭ

Показатель загрязнения по данным устройства для измерения направленных пылевых отложений, (ПЗ (мкСм/см) (выберете самое высокое значение)[a]		Класс степени загрязнения на месте эксплуатации	
Средняя месячная величина за более чем 1 год	Максимальная месячная величина за более чем 1 год		
< 25	< 50	a	Очень легкое
от 25 до 75	от 50 до 175	b	Легкое
от 76 до 200	от 176 до 500	c	Среднее
от 201 до 350	от 501 до 850	d	Сильное
> 350	> 850	e	Очень сильное
[a] — Если данные о погоде на месте эксплуатации находятся под сомнением, то показатель загрязнения по данным устройства для измерения направленных пылевых отложений может быть задан с учетом климатического влияния — см. приложение Е			

Таблица 4 — Поправки на класс степени загрязнения на месте эксплуатации в зависимости от уровня НО по данным УИНПО

Измерения нерастворимых отложений (НО) устройством для измерения направленных пылевых отложений (граммы) (выберете самое высокое значение)		Поправки на класс степени загрязнения в эксплуатации
Средняя месячная величина за более чем 1 год	Максимальная месячная величина за более чем 1 год	
< 0,5	< 1,5	Нет
от 0,5 до 1,0	от 1,5 до 2,5	Увеличение на один класс
> 1,0	> 2,5	Увеличение на один или два класса и рассмотреть — (см. п. 9.5.5)

В таблице 5 для каждого уровня загрязнения приведены примеры приблизительного описания некоторых типичных вариантов соответствующей окружающей среды.

Таблица 5 — Типовые примеры окружающей среды

Пример	Описание типичных условий окружающей среды
E1	- 50 км[a] от моря, пустыни или суши - 10 км от искусственных источников загрязнения[b] В пределах более короткого расстояния, чем указанные выше источники загрязнения, но: - господствующий ветер непосредственно не от этих источников загрязнения - и/или регулярное ежемесячное очищение дождем
E2	10-50 км[a] от моря, пустыни или суши 5-10 км от искусственных источников загрязнения[b] В пределах более короткого расстояния, чем указано в E1 от источников загрязнения, но: - господствующий ветер непосредственно не от этих источников загрязнения - и/или регулярное ежемесячное очищение дождем
E3	3-10 км[c] от моря, пустыни или суши 1-5 км от искусственных источников загрязнения[b] В пределах более короткого расстояния, чем указанные выше источники загрязнения, но: - господствующий ветер непосредственно не от этих источников загрязнения - и/или регулярное ежемесячное очищение дождем
E4	Дальше от источников загрязнения, чем указано в E3, но: - густой туман (или моросящий дождь) часто возникает после длительного (несколько недель или месяцев) сухого сезона накопления загрязнений - и/или возникает сильный дождь высокой проводимости - если имеется высокий уровень ПНО между 5 и 10-кратной величиной от ЭПСО
E5	В пределах 3 км[c] от моря, пустыни или суши В пределах 1 км от искусственных источников загрязнения[b]
E6	С большим расстоянием от источников загрязнения, чем указано в E5, но: - густой туман (или моросящий дождь) часто возникает после длительного (несколько недель или месяцев) сухого сезона накопления загрязнений - и/или возникает сильный дождь высокой проводимости - если имеется высокий уровень ПНО между 5 и 10-кратной величиной от ЭПСО
E7	В пределах того же расстояния от источников загрязнения, как определено для «сильных» областей - непосредственно подвержено воздействию морских брызг и густого соляного тумана - непосредственно подвержено воздействию загрязняющих веществ с высокой проводимостью, цементной пыли с высокой плотностью и частым увлажнением при тумане или моросящем дожде - области пустыни с быстрым скоплением песка и соли, и регулярной конденсацией
	[a] — степень загрязнения — очень легкое; [b] — степень загрязнения — легкое; [c] — степень загрязнения — среднее.

Перечень типов окружающей среды неполный и предпочтительно, чтобы только одни эти описания не использовались для определения степени загрязнения на месте эксплуатации.

Приведенные в таблице 5 примеры E1—E2 представлены на рисунках 1, 2 и 3 для иллюстрации типичных уровней СЗЭ. Некоторые характеристики изолятора, например, его профиль, значительно влияют на количество загрязнения, накопленного на самих изоляторах; поэтому эти типичные величины применимы только для стандартных тарельчатых и длинностержневых изоляторов.

9 Выбор изоляции и определение ее размеров

9.1 Общее описание процесса выбора

Общий процесс выбора изоляции и определение ее размеров может быть представлен следующим образом:

- определение соответствующего подхода 1, 2 и 3 в зависимости от имеющихся знаний, временных затрат и ресурсов;

- сбор необходимых исходных данных, особенно данных о типах источников энергии (переменного или постоянного тока), о напряжении системы, о видах изоляции (линейная, опорная, вводы и т.д.);

- сбор необходимых данных об окружающей среде, особенно о степени загрязнения на месте эксплуатации, классе степени загрязнения.

На этой стадии проектирования может быть сделан предварительный выбор возможных вариантов исполнения изоляторов, пригодных для применения в данной окружающей среде (см. п. 9.2—9.4):

- определение базисной нормированной удельной длины пути утечки для типов и материалов изолятора, либо при использовании указаний в соответствующих частях 2 и далее в МЭК 60815, либо по данным опыта эксплуатации либо по результатам лабораторных исследований в случае использования подхода 1;

- корректировка при необходимости БНУДПУ с помощью поправочных коэффициентов, зависящих от размера, профиля, ориентации и т.д. рассматриваемого изолятора;

- проверка возможности рассматриваемого изолятора отвечать требованиям другой системы и линии электропередачи, указанным в таблице 2 (а именно: определенная геометрия и пространственное расположение, размеры, экономические факторы), изменение решения или требований, если нет подходящего варианта;

- проверка размеров изолятора в случае использования подхода 2 с помощью лабораторных испытаний (см. приложение Е).

Примечание — Специальные руководства для каждого из указанных выше типов изоляторов даны в соответствующих частях 2 и далее в МЭК 60815.

9.2 Общее руководство по выбору материала

В целом выбор материала изолятора может быть продиктован ограничениями, задаваемыми окружающей средой или системой. С другой стороны, выбор материала изолятора может быть продиктован только политикой потребителя и его экономическими соображениями. Традиционными материалами, используемыми в качестве внешней изоляции, являются фарфор и стекло. Альтернативой этим вариантам являются полимеры, которые используются для изготовления изоляторов, выполненных либо целиком из однородного материала, либо в качестве защитной оболочки, насаженной на стекловолоконное основание. Различные профили и технологии, используемые при изготовлении полимерных материалов и изоляторов, способствуют тому, что разрядные характеристики таких изоляторов не обязательно будут такими же, как у традиционных изоляторов. В МЭК/ТТ 60815-2 изложен процесс выбора и определение размеров изоляторов, выполненных из традиционных материалов. В МЭК/ТТ 60815-3 представлены полимерные изоляторы. См. также ссылки [2], [3] для более подробного описания результатов работы СИГРЭ по этой теме и ссылки [7], [8] для информации по полимерным материалам и их смачиваемости.

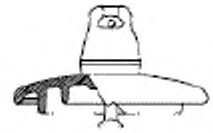
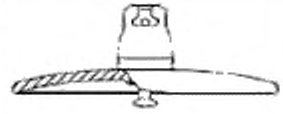
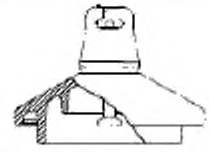
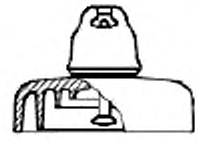
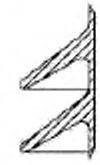
Примечание — В дальнейших эквивалентных частях МЭК/ТТ 60815 рассматриваются системы постоянного тока.

9.3 Общее руководство по выбору профиля ребер изоляторов

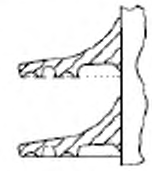
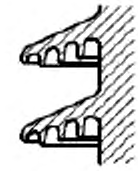
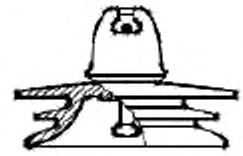
Различные типы изоляторов и даже ориентации одного и того же типа изолятора могут характеризоваться различными уровнями накопленных загрязнений при работе в одной и той же окружающей среде. Следует отметить, что различия в природе загрязняющего вещества могут приводить к тому, что некоторые формы изолятора оказываются более эффективными, чем другие. Краткое руководство по выбору профиля изолятора состоит в следующем. Следует иметь в виду, что минимальная или максимальная полная длина изоляции является важным параметром, например, для координации изоляции или высоты опоры. В таблице 6 представлены основные характеристики каждого типа профиля изолятора.

Более подробную информацию по профилям изоляторов см. в соответствующих частях МЭК 60815.

Таблица 6 — Типовые профили изоляторов и их основные характеристики

Тип профиля	Тарельчатые изоляторы	Стержневые изоляторы
Стандартные профили Стандартные профили эффективны для использования в районах со степенью загрязнения от «очень легкой» до «средней», где не требуется очень большая длина пути утечки, или аэродинамический профиль	 Стандартные тарельчатые изоляторы	 Стандартный фарфоровый профиль, длинностержневые изоляторы, подстанционные изоляторы, полые изоляторы
Аэродинамические или открытые профили Аэродинамические или открытые профили оказываются наиболее пригодными для работы в пустынях, где загрязнение выносится на изолятор ветром, в сильно загрязненных промышленных областях или в прибрежных зонах, в которых изоляторы непосредственно не подвергаются соленым брызгам. Этот тип профиля особенно эффективен в областях, которые характеризуются длительными сухими периодами. Открытые профили имеют хорошие свойства самоочищения и также могут быть легко очищены при обслуживании	 Аэродинамические дисковые изоляторы	 Полимерные длинностержневые изоляторы, подстанционные изоляторы, полые изоляторы  Фарфоровые длинностержневые изоляторы, подстанционные изоляторы, полые изоляторы
Противотуманные профили Использование противотуманных профилей с крутыми ребрами или развитыми ребрами на нижней поверхности наиболее пригодными для работы в областях, где изоляторы подвергаются воздействию соленого тумана, брызгам соленой воды, или другим загрязнениям, находящимся в растворенном состоянии. Эти профили также могут быть эффективны в областях с осаждением загрязнений, содержащих микрочастицы медленно растворимых солей.	 Противотуманные дисковые изоляторы с крутыми ребрами  Дисковые изоляторы с развитыми ребрами на нижней поверхности	 Фарфоровые длинностержневые изоляторы с крутыми ребрами, подстанционные, полые изоляторы  Полимерные длинностержневые изоляторы с крутыми ребрами, подстанционные, полые изоляторы

Окончание таблицы 6

Тип профиля	Тарельчатые изоляторы	Стержневые изоляторы
Эти профили также могут быть эффективны в областях с низким значение ПНО и содержанием медленно растворимых солей		 Развитые ребра на полимерных длинностержневых изоляторах, подстанционных, полых изоляторах  Развитые ребра на фарфоровых длинностержневых изоляторах, подстанционных, полых изоляторах
Профиль с переменным вылетом ребра Переменный вылет ребра, в основном, пригоден для всех профилей, хотя для изоляторов с крутыми ребрами он менее приемлем. Такой профиль позволяет увеличить длину пути утечки на единицу длины без ущерба для характеристик при сильном дожде или обледенении. Здесь также обеспечиваются преимущества открытых профилей	 Дисковые изоляторы с переменным вылетом ребра	 Фарфоровые длинностержневые изоляторы, подстанционные изоляторы, полые изоляторы  Полимерные длинностержневые изоляторы, подстанционные изоляторы, полые изоляторы

9.4 Соображения по выбору длины пути утечки и длины изолятора

Выбор изоляторов и их характеристик исходя из работы в условиях загрязнения, очень часто выражается только в оценке длины пути утечки, необходимой для надежной работы изоляции при данном напряжении сети. Это может привести к сравнению изоляторов через отношение необходимой длины пути утечки к единице напряжения. Однако использование одной лишь длины пути утечки, для определения разрядной характеристики, не учитывая другие факторы, которые зависят от длины пути

утечки на единицу длины изолятора, не достаточно. Например, гирлянда стандартных тарельчатых изоляторов со строительной высотой 146 мм может иметь похожую грязеразрядную характеристику, как и эквивалентная гирлянда изоляторов той же длины с большей длиной пути утечки изолятора строительной высотой 170 мм за счет увеличенного числа изоляторов в первой гирлянде. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе изоляторов, особенно в случаях, когда есть небольшие ограничения по длине изолятора.

Напротив, если основные ограничения касаются длины изолятора или его высоты, то увеличение длины пути утечки при имеющемся изоляционном расстоянии не может дать полного улучшения ожидаемой характеристики, благодаря уменьшению эффективности действия профиля. Для полимерных материалов такое увеличение длины пути утечки или уменьшение межреберного расстояния может привести к усилению эффекта старения.

9.5 Соображения относительно особых или специфических случаев применения или особенностей окружающей среды

9.5.1 Полые изоляторы

Полимерные и фарфоровые подстанционные изоляторы используются в качестве опорных изоляционных конструкций, вводов и входят в состав аппаратов. Например, они используются как изоляционные покрышки конденсаторов, разрядников, дугогасительных камер и опорной изоляции выключателей, концевых разделок кабеля, проходных и трансформаторных вводов, измерительных трансформаторов и других измерительных устройств.

Грязеразрядные характеристики полых изоляторов зависят не только от их профиля, длины пути утечки и диаметра, но и от равномерности распределения напряжения вдоль изоляции. Двумя параметрами, которые влияют на распределение напряжения, являются внутренние и внешние компоненты и неравномерность увлажнения (см. п. п. 9.5.1.1 и 9.5.1.2). Поэтому следует осторожно подходить к проектированию изоляции, особенно для районов с низким уровнем степени загрязнения, когда эффект неравномерности становится более критическим, что может привести к снижению электрической прочности изоляции и увеличению риска ее перекрытия

9.5.1.1 Внутренние и внешние компоненты

Наличие проводов, экранной арматуры внутри или вне полого изолятора, может значительно влиять на электрические характеристики конструкции. Известно, что при импульсных воздействиях в сухом состоянии и под дождем разрядные характеристики полых изоляторов отличаются от соответствующих характеристик полностью укомплектованных внутренними и внешними компонентами конструкций, собранных на базе тех же полых изоляторов. Похожие различия между разрядными характеристиками двух упомянутых конструкций существует и при испытании в условиях загрязнения. Эффект неравномерности распределения напряжения наиболее ярко проявляется при более низких уровнях загрязнения (ЭПСО — от 0,01 до 0,03 мг/см^2), поскольку более слабые активные токи утечки не могут в полной мере компенсировать, корректировать или значительно исправлять неравномерность распределения напряжения.

При более высоких уровнях загрязнения токи утечки становятся доминирующими, что приводит к снижению влияния неравномерности распределения напряжения. Этот эффект наблюдался во время проведения лабораторных испытаний. Полученные при этом данные свидетельствуют о близости результатов испытаний полых изоляторов и тех же изоляторов, укомплектованных внутренними и внешними компонентами. Наилучшие характеристики (высокое разрядное напряжение и малый риск перекрытия) в целом получены для конструкции с равномерным осевым или радиальным распределением напряжения, такой, например, как конструкция с емкостным распределением напряжения. Конструкция изолятора, в которой в первую очередь обеспечивается выравнивание распределения напряжения, и затем учитываются внутренние взаимосвязанные компоненты, следовательно, является преимущественной.

9.5.1.2 Неравномерное увлажнение и загрязнение

Защита от дождя с помощью строений или других конструкций может привести к неравномерному увлажнению вводов или изоляционных покрышек. В некоторых положениях вводов их рабочая температура может привести к неравномерному увлажнению изоляционной покрышки вследствие простого высушивания. Кроме того, неравномерное загрязнение может возникнуть в естественных условиях. Поэтому даже при более высоких уровнях загрязнения компенсация влияния неравномерного распределения напряжения может быть не так эффективна для аппаратов, как для горизонтальных проходных вводов.

9.5.2 Засушливые районы

При выборе изоляторов и определении их размеров для засушливых районов возникают определенные трудности. Длительные периоды засухи могут привести к экстремальным уровням ЭПСО и ПНО, даже в районах, не находящихся в непосредственной близости к берегу. Это происходит из-за того, что окружающий песок имеет высокое содержание соли.

Использование аэродинамических «самоочищающихся» профилей изоляторов может уменьшить влияние загрязнения, как это возможно при использовании полимерных изоляторов. В равной степени полупроводниковое покрытие поверхности фарфоровых изоляторов обеспечивает постоянное протекание тока около 1 мА, что помогает избежать образования влаги.

9.5.3 Эффекты близости

Любые изоляционные конструкции, находящиеся в непосредственной аксиальной близости друг от друга, например: дугогасительные камеры маломасляных выключателей и конденсаторы, предназначенные для выравнивания распределения напряжения, некоторые разъединители и ряд параллельных гирлянд линейных изоляторов, могут оказывать неблагоприятное влияние на грязеразрядные характеристики изоляторов. Это вызвано напряженностью электрического поля, возникающего при загрязнении от взаимодействия различных полей, вызванных разрядными процессами.

9.5.4 Ориентация

Влияние ориентации изоляции на ее разрядные характеристики в целом не подчиняется простым правилам. Тип и размер изолятора непосредственно влияют на характеристики загрязненной изоляции при ее различной ориентации. В дополнение к этому влияние ориентации может зависеть от степени загрязнения изоляции на месте эксплуатации и времени, необходимом для достижения максимального уровня загрязнения. Природа процесса увлажнения и механизм перекрытия (например, разряд по поверхности изолятора или разряд в межреберном промежутке) являются также важными факторами, степень влияния которых зависит от ориентации и размеров изолятора.

Следовательно, электрическая прочность различных типов изоляторов и их ориентация составляют баланс между различными процессами, которые непосредственно влияют на разрядные характеристики загрязненной изоляции.

Информация, изложенная в данном техническом требовании, как правило, относится к вертикальной ориентации изоляции. Дальнейшие сведения относительно эффекта ориентации можно найти в [1].

9.5.5 Методы технического обслуживания и профилактики

В исключительных случаях проблемы загрязнения не могут быть решены экономически лишь с помощью правильного выбора изолятора. Например, в районах с сильной степенью загрязнения или с редким ежегодным выпадением дождя может потребоваться техническое обслуживание изоляторов. Потребность в таком обслуживании также может возникнуть при изменении окружающей среды в районе уже построенной подстанции (или линии) благодаря появлению новых источников загрязнения.

Возможны различные методы технического обслуживания и профилактики.

- Очистка и мытье. Эти методы могут осуществляться вручную или автоматически. Некоторые автоматические методы мытья могут использоваться для изоляторов, находящихся под напряжением. Эти методы могут снизить уровень накопленного на изоляторах загрязнения.

- Применение гидрофобных покрытий, например: силиконовой резины или гидрофобной смазки. Гидрофобное свойство этих покрытий улучшает грязеразрядные характеристики изоляторов.

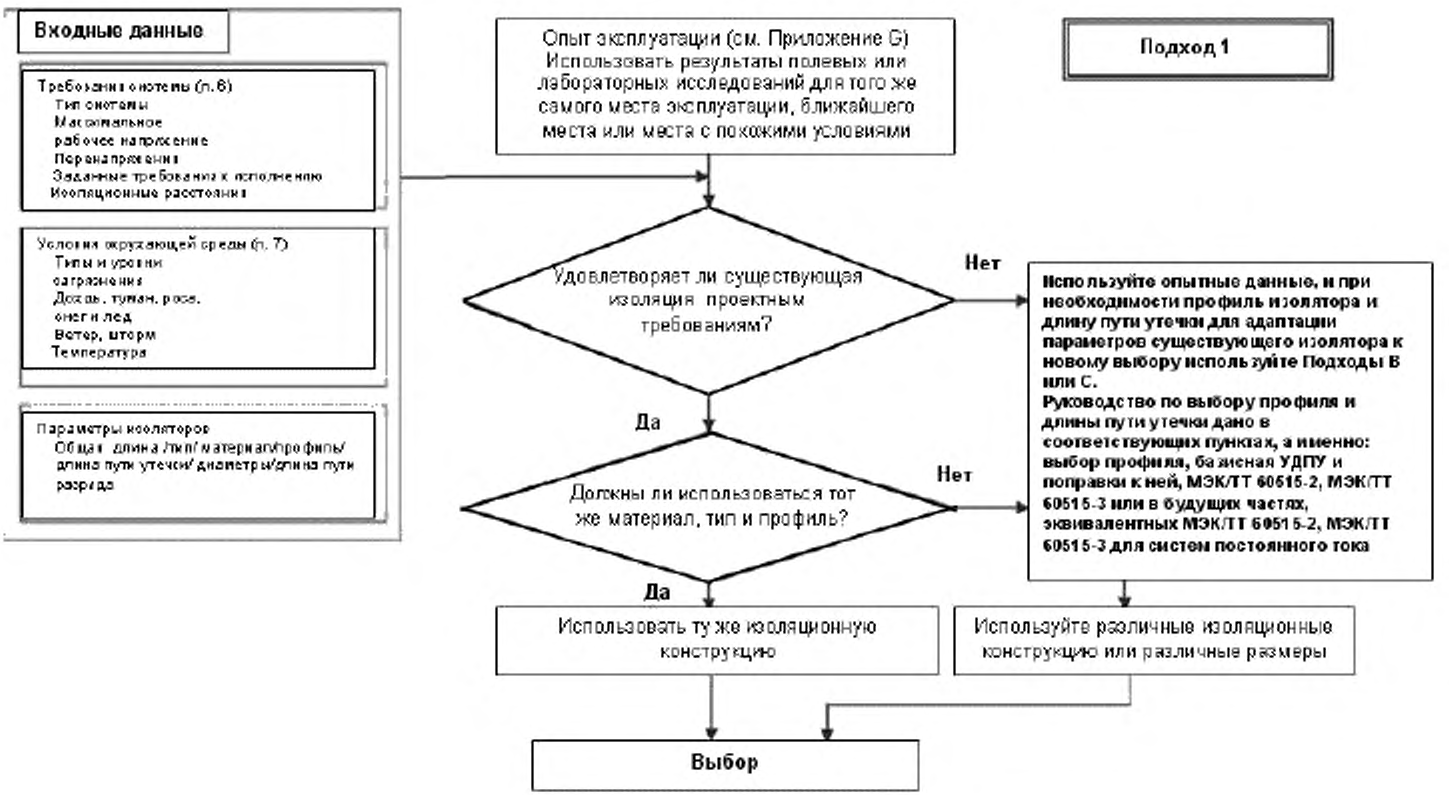
- Установка дополнительных компонентов, например: удлинителей ребер или удлинителей пути утечки. Удлинители ребер улучшают характеристики изолятора, в основном, за счет барьерного эффекта и уменьшения эффекта шунтирования межреберного расстояния водяными каплями. Удлинители пути утечки увеличивают длину пути утечки изолятора.

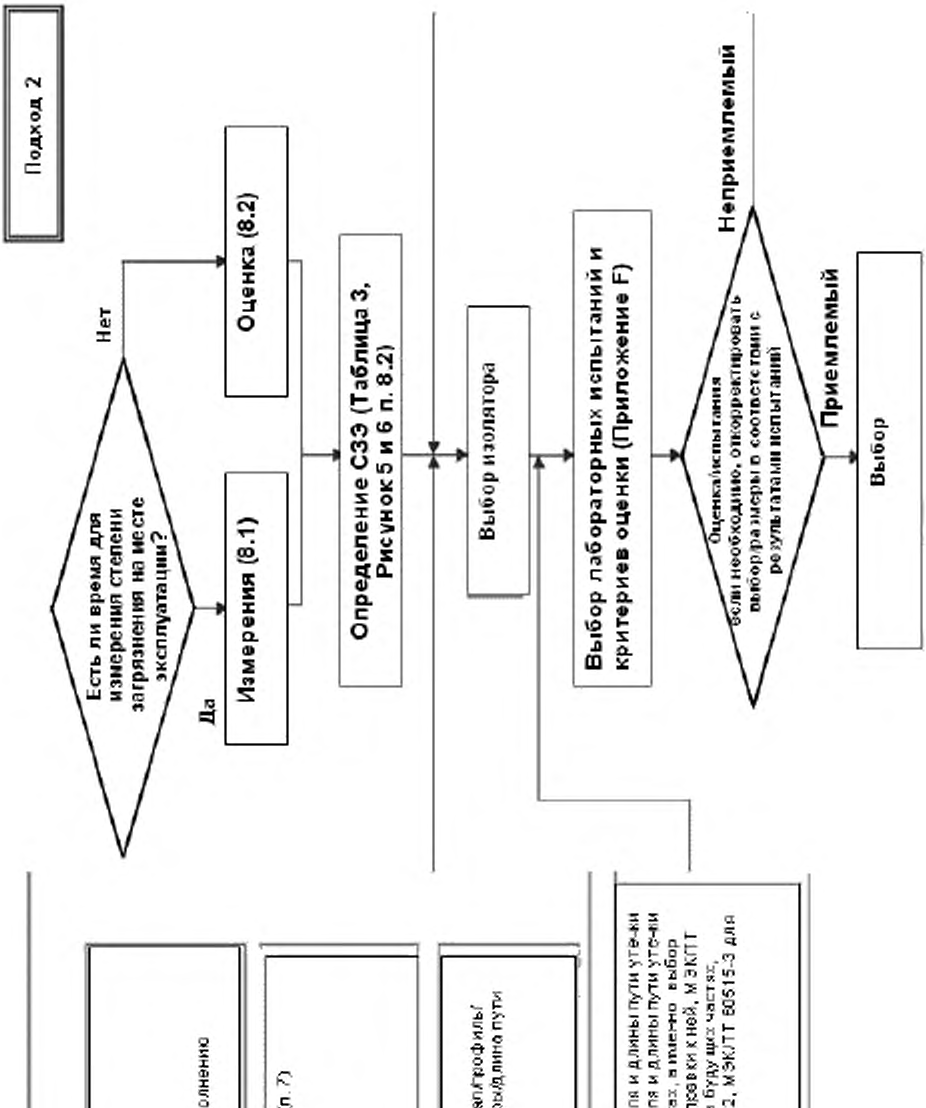
Эти методы были широко использованы и дали хорошие результаты. Выбор методов технического обслуживания и профилактики зависит от условий на месте эксплуатации, практических и экономических требований. Более подробная информация изложена в [1] и [2].

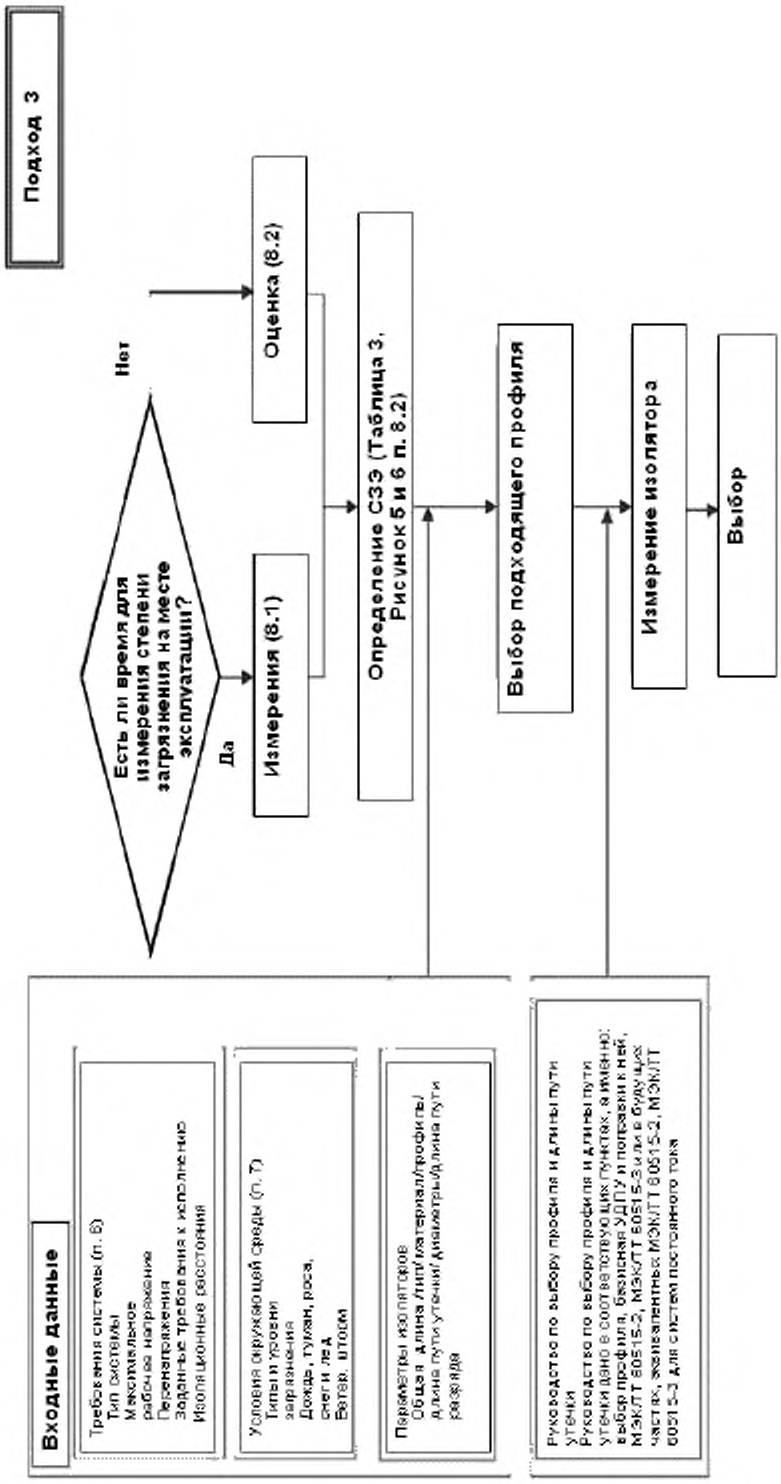
Приложение А
(справочное)

Блок-схемы различных подходов к выбору конструкции

Следующие блок-схемы представляют Подходы 1, 2 и 3 из 5 в графической форме.




Подход 2
Входные данные
Требования системы (п. 6)
Тип системы
Максимальное
рабочее напряжение
Перенапряжения
Заданные требования к исполнению
Изоляционные расстояния
Условия окружающей среды (п. 7)
Типы и уровни
загрязнения
Дождь, туман, роса,
снеги лед
Ветер, шторм
Температура
Параметры изоляторов
Общая длина /тип/материал/профиль/
длина пути утечки/диаметр/длина пути
разряда
Руководство по выбору профиля и длины пути утечки
Руководство по выбору профиля и длины пути утечки
дано в соответствующих пунктах, а именно выбор
профиля, базовая УДПУ и поправки к ней, МЭК/ТТ
60815-2, МЭК/ТТ 60815-3 или в будущих частях,
эквивалентных МЭК/ТТ 60815-2, МЭК/ТТ 60815-3 для
систем постоянного тока
Есть ли время для
измерения степени
загрязнения на месте
эксплуатации?
Да
Нет
Измерения (8.1)
Оценка (8.2)
Определение СЗЭ (Таблица 3,
Рисунок 5 и 6 п. 8.2)
Выбор изолятора
Выбор лабораторных испытаний и
критериев оценки (Приложение F)
Оценка испытания
(если необходимо, откорректировать
выбор размеры в соответствии с
результатами испытаний)
Неприемлемый
Приемлемый
Выбор


Подход 3
Входные данные
Требования системы (п. 6)
Тип системы
Максимальное рабочее напряжение
Перенапряжения
Заданные требования к исполнению
Изоляционные расстояния
Условия окружающей среды (п. 7)
Типы и уровни загрязнения
Дождь, туман, роса, снег и лед
Ветер, шторм
Параметры изоляторов
Общая длина /тип/ материал/профиль/ длина пути утечки/ диаметры/длина пути разряда
Руководство по выбору профиля и длины пути утечки
Руководство по выбору профиля и длины пути утечки дано в соответствующих пунктах, а именно: выбор профиля, базисная УДПУ и поправки к ней, МЭК/ТТ 60515-2, МЭК/ТТ 60515-3 или в будущих частях, эквивалентных МЭК/ТТ 60515-2, МЭК/ТТ 60515-3 для систем постоянного тока
Есть ли время для измерения степени загрязнения на месте эксплуатации?
Да
Нет
Измерения (8.1)
Оценка (8.2)
Определение СЗЭ (Таблица 3, Рисунок 5 и 6 п. 8.2)
Выбор подходящего профиля
Измерение изолятора
Выбор

Приложение В
(справочное)

Механизмы перекрытия загрязненной изоляции

В.1 Механизм перекрытия изоляции при загрязнении типа А

Для ясного понимания природы этого явления процесс перекрытия изолятора по его поверхности, предварительно загрязненной твердыми отложениями (загрязнение типа А), разделен на шесть фаз, описанных ниже. В действительности эти фазы не четко выражены, но склонны к сливанию.

На процесс формирования разряда вдоль загрязненной поверхности оказывают существенное влияние свойства поверхности изолятора. Различают два состояния поверхности: гидрофильное или гидрофобное. Гидрофильное состояние поверхности в целом присуще стеклянным и керамическим изоляторам, а гидрофобное — изоляторам, выполненным из полимерных материалов, в особенности, на основе силиконовой резины. При увлажнении дождем, туманом и т.д., гидрофильные поверхности полностью намокают. В результате на поверхности изолятора появляется электролитическая пленка. При увлажнении же гидрофобной поверхности вода собирается в отдельные капли.

На процесс формирования разряда вдоль загрязненной поверхности существенное влияние оказывают форма воздействующего напряжения (напряжение переменного или постоянного тока). При воздействии напряжения переменного тока процесс продвижения дуги вдоль поверхности изолятора может подвергаться нескольким циклам и поэтому в каждый полупериод напряжения дуга то возникает, то гаснет при напряжении, близком к нулевому значению.

Усложняющей характерной чертой рассматриваемого перекрытия является разряд в воздухе между соседними точками профиля изолятора (например, между ребрами), который ухудшает разрядную характеристику изолятора за счет сокращения общей длины дуги. Кроме того, водяные капли и струйки могут также способствовать снижению электрической прочности изоляции. Процесс, описанный ниже, характерен для гидрофильных поверхностей, таких как керамические материалы.

Фаза 1: Изолятор покрывается слоем загрязнения. Если загрязнение непроводящее (низкая проводимость) в сухом состоянии, то перед появлением разряда необходимо небольшое увлажнение (фаза 2).

Фаза 2: Поверхность загрязненного изолятора увлажняется. Увлажнение изолятора может происходить следующим образом: при поглощении влаги, конденсации и выпадении осадков. Сильный дождь (осадки) может смыть электролитические компоненты слоя загрязнения частично или полностью без возникновения других фаз разрядного процесса, или он может способствовать возникновению разряда в воздушных промежутках между ребрами. Поглощение влаги возникает в периоды высокой относительной влажности воздуха (< 75% ОВ), когда температура изолятора и окружающего воздуха становится одинаковой. Конденсация возникает, когда увлажнение воздуха приводит к конденсации на поверхности изолятора, где температура ниже, чем точка росы. Это явление возникает на рассвете или перед ним.

Фаза 3: Находящийся под напряжением изолятор покрыт слоем проводящего загрязнения. Под действием протекающих поверхностных токов утечки в течение нескольких периодов промышленной частоты происходит нагрев, приводящий к высушиванию отдельных частей слоя загрязнения. В результате на поверхности изолятора образуются так называемые сухие пояса.

Фаза 4: Слой загрязнения высушивается неравномерно. Проводящие части поверхности изолятора прерываются сухими поясами, что приводит к прерыванию тока утечки.

Фаза 5: Фазное напряжение, действующее вдоль множественных сухих поясов (которые могут достигать нескольких миллиметров в ширину) вызывает перекрытие сухих поясов по воздуху с образованием дуговых каналов, последовательно соединенных с участками увлажненной проводящей поверхности слоя загрязнения изолятора. Каждый раз, когда происходит искровое перекрытие сухих поясов, возникают броски токов утечки.

Фаза 6: Если сопротивление увлажненной и проводящей части слоя загрязнения будет достаточно низкое, то дуги, перекрывающие сухие пояса, будут поддерживаться и, в конечном итоге, могут продолжать распространяться вдоль изолятора, занимая все большую и большую часть его длины. В свою очередь, это приводит к снижению сопротивления цепочки, состоящей из последовательного соединения проводящих участков поверхности изолятора и дуговых каналов, перекрывающих сухие пояса. В результате ток утечки возрастает, обеспечивая условия для дальнейшего удлинения дуг. В конечном итоге дуги распространяются на всю длину изолятора, т. е. наступает завершающая стадия разряда (перекрытие — изоляции относительно земли).

Весь процесс можно охарактеризовать как взаимодействие между изолятором, загрязнениями, условиями увлажнения и приложенным напряжением (и внутренним сопротивлением источника питания в лабораторных условиях).

По мере роста тока утечки вероятность возникновения перекрытия увеличивается. В свою очередь величина тока утечки определяется в основном проводимостью слоя загрязнения. Поэтому на основе изложенных пред-

ставлений о механизме перекрытия загрязненной и увлажненной изоляции можно заключить, что поверхностная проводимость слоя загрязнения является решающим фактором вероятностного события: будет ли перекрытие изолятора или оно не произойдет. Поверхностную проводимость слоя загрязнения можно определить, если допустить равномерное распределение загрязнения и увлажнения вдоль поверхности изолятора — при использовании коэффициента формы (см. приложение Н).

Перекрытие загрязненной изоляции в засушливых районах, таких как пустыни, может оказаться серьезной проблемой. Такие перекрытия часто объясняются эффектом «теплового запаздывания», возникающим при восходе солнца, когда появляется разница между температурой поверхности изолятора и быстро растущей температурой воздуха. Даже при довольно низких значениях относительной влажности воздуха для существенной конденсации требуется разница температур всего в несколько градусов. Теплоемкость и теплопроводность изоляционного материала определяют скорость его нагрева.

Более полная информация о процессах формирования перекрытия загрязненной изоляции и моделировании этих процессов изложена в [1].

В.2 Механизм перекрытия изоляции при загрязнении типа В

В.2.1 Проводящий туман

«Мгновенное загрязнение» типа В относится к загрязнению высокой проводимости, которое быстро откладывается на поверхностях изолятора, что приводит к условиям, при которых состояние поверхности изолятора изменяется от приемлемо чистого к слабо проводящему, а затем — к критическому, при котором за короткое время (< 1 ч) происходит перекрытие изолятора, после чего состояние поверхности изолятора вновь возвращается к состоянию низкой проводимости.

Для ясного понимания природы перекрытия изолятора при «мгновенное загрязнение» типа В используется тот же процесс, который изложен в разделе В.1. Однако мгновенное загрязнение обычно откладывается в виде высоко проводящего слоя жидкого электролита, например: соляные брызги, соляной туман или промышленный кислотный туман, поэтому процесс начинается с описанной выше фазы 3 и может быстро достигнуть фазы 6. В действительности эти фазы не четко выражены, но склонны к сливанию. Эти фазы характерны только для гидрофильных поверхностей. Наибольшему риску перекрытия изоляции подвергаются конструкции, расположенные вблизи химических заводов или в морских прибрежных зонах с известной историей температурных изменений.

В.2.2 Птичьи струи

Характерным случаем загрязнения типа В являются птичьи струи. Это тип птичьего испражнения, которое при выходе наружу образует протяженную струю высокой проводимости (20—40 кОм/м), в результате чего воздушный промежуток существенно сокращается, обеспечивая тем самым условия для возникновения разряда. В этом случае геометрия и характеристики изолятора играют малую роль или вообще никакой роли не играют, и лучшим решением может быть установка отпугивающих устройств или как альтернатива — насестов, соответствующих местной фауне или изоляционной конструкции.

В.3 Механизм перекрытия по загрязненной гидрофобной поверхности

Благодаря динамической природе гидрофобной поверхности и сложному ее взаимодействию с загрязнителями (проводящими и непроводящими) и смачивающими веществами, на сегодняшний день нет общепризнанной модели формирования перекрытия вдоль загрязненной поверхности изолятора, выполненного на основе гидрофобного материала. Однако проявляется качественная картина механизма формирования такого перекрытия, которая включает в себя такие процессы как переход соли в водяные капли, неустойчивость водяных капель, образование жидких поверхностных волокон и развитие разряда между ними или каплями при достижении электрическим полем достаточно высокого значения.

Однако в эксплуатации гидрофобные материалы подвергаются динамическому процессу оседания загрязнения, увлажнения, локализованным разрядам или действию высокого электрического поля, что может в совокупности этих факторов обусловить временное превращение части или всей поверхности изолятора в более гидрофильное состояние. Поэтому к природе процесса формирования перекрытия вдоль загрязненной гидрофобной поверхности номинально применяются те же представления, что и для гидрофильных материалов, либо частично, либо для ограниченного периода времени.

Приложение С
(обязательное)

Измерение ЭПСО и ПНО

С.1 Предварительные замечания

Степень загрязнения поверхности может быть определена путем измерения эквивалентной плотности солевых отложений (ЭПСО) и плотности нерастворимых отложений (ПНО) на стандартных изоляторах на основе существующих данных и/или данных, полученных на полевых испытательных стендах. Следует добавить, что, если это возможно, измерение ЭПСО и ПНО на точно выбранном изоляторе обеспечит получение непосредственной информации для определения требуемой длины пути утечки изолятора. Иногда полезен также химический анализ загрязнителей. Данное приложение описывает способы измерения ЭПСО и ПНО и как произвести химический анализ загрязнителей.

Для измерения степени загрязнения в эксплуатации используется стандартизованный подход, согласно которому измерения проводятся на гирлянде из семи стандартных и тарельчатых изоляторов (предпочтительно 9 изоляторов, чтобы избежать концевого эффекта) или на стандартном длинностержневом изоляторе, имеющем не менее четырнадцати ребер. При отсутствии напряжения гирлянда изоляторов должна располагаться на высоте, по возможности, более близкой к высоте расположения линейной изоляции или изоляции ошиновки. Верхние и нижние части каждого тарельчатого изолятора или зоны длинностержневого изолятора должны контролироваться через определенные соответствующие интервалы времени, например: каждый месяц (изолятор 2, зона 1), каждые три месяца (изоляторы 3-5, зоны 2-4), каждые шесть месяцев (изолятор 5, зона 6), каждый год (изолятор 7, зона 6), после двух лет (изолятор 8, зона 7) и т.д., упреждая выпадения дождя, росы и т.д.

Примечание — Применительно к изоляции систем постоянного тока может быть полезно измерять ЭПСО и ПНО отдельно на верхней и нижней поверхности изолятора.

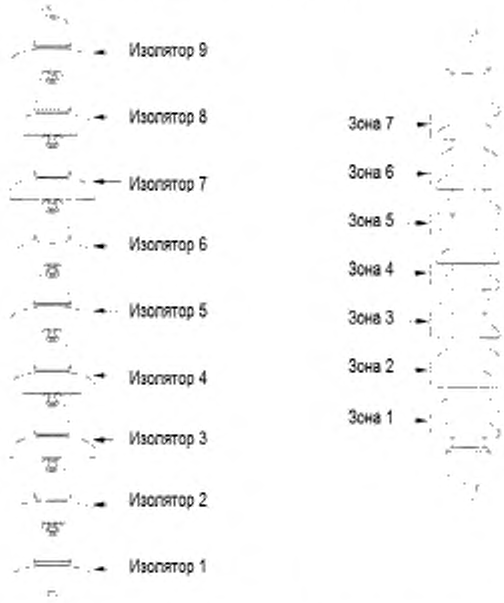


Рисунок С.1 — Гирлянды изоляторов для измерения ЭПСО и ПНО

С.2 Необходимое оборудование для измерения степени загрязнения

Для измерения ЭПСО и ПНО необходимо следующее оборудование:
- дистиллированная вода или деминерализованная вода;
- измерительный цилиндр;

- хирургические перчатки;
- пластиковая липкая лента;
- маркированный контейнер;
- посуда для мытья;
- гигроскопическая вата, щетка или губка;
- измеритель проводимости;
- датчик температуры;
- фильтровальная бумага;
- воронка;
- испаритель/сушильный шкаф;
- весы.

С.3 Методы сбора загрязнений для измерения ЭПСО и ПНО

С.3.1 Общее замечание

К поверхности изолятора не следует прикасаться, чтобы избежать любой потери загрязнения.

Надевайте чистые хирургически перчатки.

Контейнер, измерительный цилиндр и т.д. необходимо тщательно промыть, чтобы перед измерением удалить любые электролиты, оставшиеся от предыдущих измерений.

С.3.2 Метод с использованием тампона

- Дистиллированная вода объемом 100—300 см^3 (или более, если требуется) наливается в контейнеры и гигроскопическая вата (тампон) погружается в воду (могут быть использованы другие инструменты, такие как щетка или губка). Проводимость воды с погруженной гигроскопической ватой должна составлять менее 0,001 См/м.

- С помощью выжатой ваты загрязнители должны быть стерты с поверхности изолятора, за исключением любых металлических или монтажных частей. При необходимости загрязнения, снятые с верхней и нижней поверхностей тарельчатых изоляторов, могут быть измерены отдельно, с целью получения полезной информации для оценки, как показано на рисунке С.2. Загрязнители с длинностержневого изолятора обычно должны собираться с нижней поверхности ребра.

- Тампон с загрязнителями должен помещаться обратно в контейнеры. Затем загрязнители растворяются в воде при взбалтывании контейнера и выжимании ваты в воде.

- Протирку изолятора следует повторять до тех пор, пока на его поверхности не останется загрязнений. Если даже после многократной протирки загрязнители остаются, то их следует удалить с помощью шпателя и поместить в воду, содержащую загрязнители.

- Необходимо обратить внимание на то, чтобы не терять ни капли воды. Это означает, что качество загрязнителя не должно сильно изменяться до и после сбора загрязнителей.

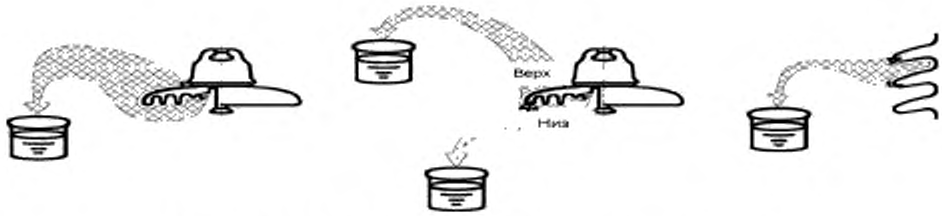


Рисунок С.2 — Удаление загрязнителей с поверхности изолятора

С.3.3 Метод смывки (для тарельчатых изоляторов)

Метод включает в себя следующую последовательность действий:

- заклейте шапку и пестик изолятора липкой лентой, но не поверхность изолятора;
- убедитесь в том, что посуда, в которой должны быть вымыты изоляторы, чистая;
- отмерьте 500—1000 см^3 (или больше, если требуется) дистиллированной воды (σ < 0,001 См/м) и налейте в посуду;
- поместите в воду испытуемый изолятор шапкой вниз и вымойте лицевую поверхность водой, осторожно постукивая по кромке ребра;
- поместите в воду тот же изолятор пестиком вниз и осторожно смойте загрязнение с нижней поверхности, слегка постукивая рукой;
- снова налейте воды в контейнер так, чтобы в посуде не оставался осадок.

Вышеописанный процесс может быть использован для отдельного сбора загрязнений с верхней и нижней поверхностей изолятора.

С.4 Определение ЭПСО и ПНО

С.4.1 Расчет ЭПСО

Необходимо измерить проводимость и температура воды, содержащей загрязнители. Измерения должны проводиться после достаточного взбалтывания воды. Для загрязнителей с высокой степенью растворимости требуется небольшое время взбалтывания, например, несколько минут. Загрязнители с низкой растворимостью в целом требуют более длительного взбалтывания, а именно: 30-40 мин.

Поправка проводимости должна проводиться с помощью формулы (С.1). Данный расчет основан на п. 16.2 и п. 7 МЭК 60507.

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta}\left[1 - b(\theta - 20)\right], \tag{С.1}$$

где θ — температура растворения (°С);

σ_{θ} — объемная проводимость при температуре θ °С (См/м);

σ_{20} — объемная проводимость при температуре 20 °С (См/м);

b — коэффициент, зависящий от температуры θ, определяемый уравнением (С.2) и кривой рисунка С.3.

$$b = -3{,}2\times10^{-8}\theta^3 + 1{,}032\times10^{-5}\theta^2 - 8{,}272\times10^{-4}\theta + 3{,}544\times10^{-2} \tag{С.2}$$

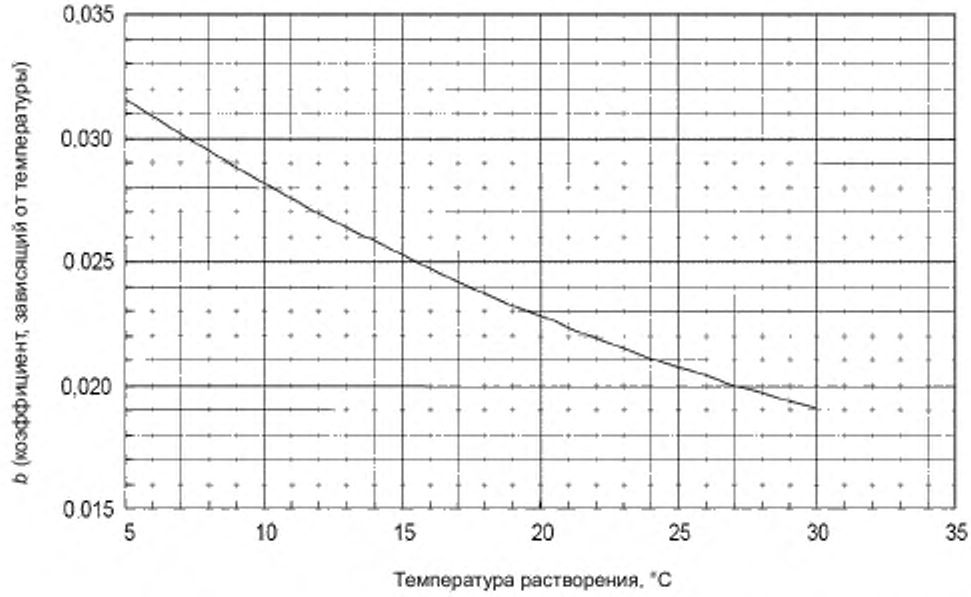


Рисунок С.3 — Зависимость коэффициента b от температуры растворения θ

ЭПСО на поверхности изолятора должна быть рассчитана с помощью выражений (С.3) и (С.4). Этот расчет основан на п. 16.2 МЭК 60507. Взаимосвязь между объемной проводимостью при температуре 20 °С (σ_{20}) и соленостью (S_a, кг/м^3) представлена на рисунке С.4.

$$S_a = (5{,}7\sigma_{20})^{1{,}03}; \tag{С.3}$$

$$\text{ЭПСО} = S_a \frac{V}{A}, \tag{С.4}$$

где σ_{20} — объемная проводимость при температуре 20 °С (См/м);

ЭПСО — эквивалентная плотность соляного отложения (мг/см^2);

V — объем дистиллированной воды (см^3);

A — площадь поверхности изолятора, с которой собраны загрязнители (см^2).

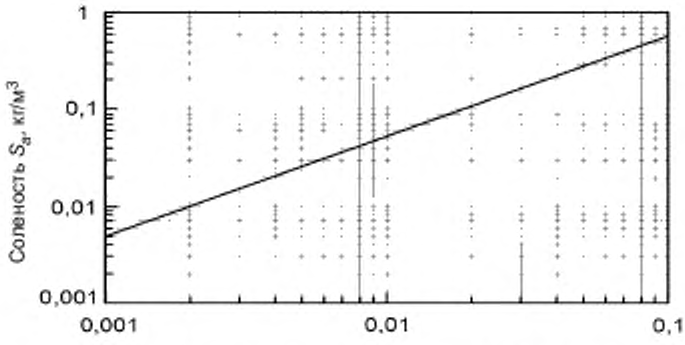


Рисунок С.4 — Зависимость солености от объемной проводимости при температуре 20 °С

Если были выполнены отдельные измерения значений ЭПСО с верхней и нижней поверхностей изолятора, то среднее значение ЭПСО может быть рассчитано с помощью формулы (С.5), которая может быть также использована для определения среднего значения ПНО.

$$Среднее\ значение\ ЭПСО = \frac{ЭПСО_t \times A_t + ЭПСО_b \times A_b}{A}, \quad (С.5)$$

где $ЭПСО_t$ — ЭПСО на верхней поверхности изолятора (мг/см^2);

$ЭПСО_b$ — ЭПСО на нижней поверхности изолятора (мг/см^2);

A_t — площадь верхней поверхности изолятора (см^2);

A_b — площадь нижней поверхности изолятора (см^2);

A — общая площадь поверхности изолятора (см^2).

Примечание 1 — Для измерений низких значений ЭПСО в области 0,001 мг/см^2 рекомендуется использовать воду очень низкой проводимости, например, менее несколько 10^{-4} См/м. Нормальная дистиллированная или деминерализованная вода с проводимостью менее 0,001 См/м также может быть использована для этой цели путем вычитания эквивалентного количества соли самой воды из измеренного эквивалентного количества соли воды, содержащей загрязнители.

Примечание 2 — Количество дистиллированной или деминерализованной воды зависит от вида и количества загрязнителей. Большое количество воды рекомендуется для измерений очень сильного загрязнения или загрязнителей с низкой растворимостью. На практике могут быть использованы 2—10 л (литров) воды на 1 м^2 очищенной поверхности. Для того чтобы избежать недооценки количества загрязнителей, количество воды необходимо увеличить, чтобы проводимость была менее 0,2 См/м. Если измеряется очень высокая проводимость, может возникнуть сомнение в том, что остающиеся загрязнители не растворяются, благодаря небольшому количеству воды.

Примечание 3 — Длительность взбалтывания перед измерением проводимости зависит от вида загрязнителей. При низкой растворимости загрязнителей время, затраченное на измерение проводимости, составляет около 30—40 минут и более, и величина проводимости определяется тогда, когда она принимает установившееся значение. Для быстрого растворения загрязнителей могут также использоваться специальные методы, такие как метод кипячения и ультразвуковой метод.

С.4.2 Расчет ПНО

После измерения ЭПСО вода, содержащая загрязнители, должна быть отфильтрована при использовании воронки и предварительно высушенной и взвешенной фильтровальной бумаги (степень GF/A 1,6 мкм или подобная степень). Фильтровальная бумага, содержащая загрязнители (осадок), должна быть высушена и затем взвешена, как показано на рисунке С.5.

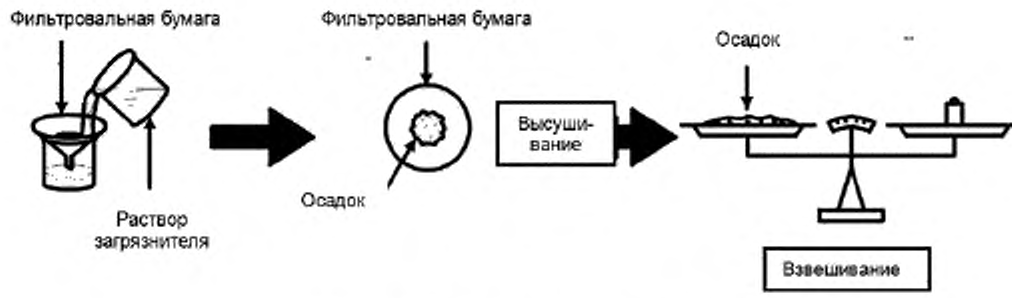


Рисунок С.5 — Методика измерения ПНО

ПНО должно быть рассчитано с помощью выражения (С.6).

$$ПНО = 1000\frac{W_f - W_i}{A}, \quad (С.6)$$

где $ПНО$ — плотность нерастворимых отложений (мг/см^2);

W_f — вес фильтровальной бумаги, содержащей загрязнители, в сухом состоянии (г);

W_i — начальный вес фильтровальной бумаги в сухом состоянии (г);

A — площадь поверхности изолятора, с которой собраны загрязнители (см^2).

С.5 Химический анализ загрязнителей

Для окончательной проверки условий загрязнения может быть проведен количественный химический анализ загрязнителей. Анализ может быть полезен для определения химического состава компонентов растворимых солей. Химический анализ растворимых солей проводится при использовании раствора после измерения ЭПСО с помощью ионообменной хроматографии (ИХ), индуктивной сдвоенной аналитической плазмооптической спектометрии (ИСП) и т.д. Результаты анализа могут показать количество положительных ионов, например, Na^+, Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+}, и отрицательных ионов, например, Cl^-, SO_4^{2-}, NO^{3-}.

Приложение D
(обязательное)

Оценка степени загрязнения типа B

D.1 Предварительное замечание

Морские загрязнения часто относятся к типу незамедлительного загрязнения, появляющегося вблизи морского побережья. Продолжительность загрязнения может длиться в пределах от менее 1 часа до более чем 24 часов. Для определения степени загрязнения в таком случае может быть использовано периодическое измерение (например, каждые 30 мин до 1 ч) или постоянное измерение токов утечки на изоляторе. В качестве альтернативного варианта может быть принято измерение разрядного напряжения изолятора (см. п. D.3). Для всех этих случаев полученные измерения сравниваются с величинами, определенными при испытании изоляторов в условиях искусственного соляного тумана для определения ЭС.

В некоторых случаях, особенно где ожидается накопление сухой соли, методы оценки СЗЭ для загрязнения типа A используются для загрязнения типа B. В п. D.4 описано руководство по данному методу.

D.2 Оценка ЭС для загрязнения типа B путем измерения тока утечки

D.2.1 Измерение проводимости

Периодическое измерение проводимости проводится при низком напряжении на изоляторе с простым вылетом ребра или на стандартном тарельчатом или длинностержневом изоляторах. Приложенное напряжение (в течение 2 мин) должно быть достаточно низким (например, 700 $В_{действ.}$ на метр длины пути утечки), чтобы избежать перекрытия сухого пояса. Величины тока утечки должны быть записаны соответствующим образом.

Примечание — Проводимость не является параметром, пригодным для сравнения характеристик различных изоляторов. Проводимость данного изолятора может быть пересчитана в поверхностную проводимость с помощью коэффициента формы (см. приложение I).

D.2.2 Измерение токов утечки по поверхности изоляторов

Эти длительные измерения проводятся на гирлянде стандартных тарельчатых изоляторов или на стандартном длинностержневом изоляторе. Изолятор должен выдерживать приложенное напряжение для предполагаемого класса степени загрязнения без перекрытия изоляции. Величины тока утечки должны быть записаны соответствующим образом.

D.2.3 Калибровка с помощью испытаний в условиях соляного тумана

В обоих вышеуказанных случаях калибровка тока утечки проводится с помощью испытаний в условиях соляного тумана согласно МЭК 60507 на том же изоляторе и при том же значении напряжения. Испытания проводятся с увеличивающейся соленостью от испытания к испытанию, пока не возникнут максимальные броски тока утечки ($i_{макс}$), сравнимые с величинами, полученными при измерениях на месте эксплуатации. Соответствующая соленость и является ЭС.

Примечание 1 — $i_{макс}$ — это наибольшая пиковая величина тока утечки, измеренная на изоляторе при напряжении, при выдерживаемом напряжении в течение длительного периода времени проведения испытаний (а именно, один или более раз за год, в случае проведения испытаний на наружном стенде или в течение 1 час в случае испытаний в условиях соляного тумана согласно МЭК 60507).

Примечание 2 — Если полимерные изоляторы используются для оценки ЭС вместо стандартных изоляторов, указанных в настоящих технических требованиях, необходимо отметить, что гидрофобные изоляторы, подвергаемые испытаниям в условиях соляного тумана согласно МЭК 60507, могут показать худшие характеристики, чем ожидаемые в эксплуатации, благодаря временной потере гидрофобности, вызванной процессами предварительной подготовки условий испытаний.

D.3 Оценка ЭС для загрязнения типа B путем измерения разрядной напряженности изолятора

Эти длительные измерения проводятся на гирлянде стандартных тарельчатых изоляторов или на стандартном длинностержневом изоляторе на наружном испытательном стенде и обеспечивают результаты, наиболее близкие к опыту эксплуатации. Разрядная напряженность изолятора — это его разрядное напряжение, деленное либо на длину изолятора, либо на его длину пути утечки. По прошествии длительного времени эти результаты могут быть представлены либо как минимальная разрядная напряженность, либо как соотношение между разрядной напряженностью и частотой разряда. Процедура испытаний обычно включает шунтирование нескольких изоляторов гирлянды плавкими предохранителями для того, чтобы после перекрытия гирлянда автоматически удлинилась (дальнейшую информацию см. в [1]). Затем минимальная разрядная напряженность может быть непосредственно проверена относительно результатов испытаний в условиях соляного тумана согласно МЭК 60507 на том же стандартном изоляторе, чтобы получить ЭС для наружного испытательного стенда. Таким образом, степень загрязнения на месте эксплуатации (СЗЭ) может не соответствовать ЭС для стандартного изолятора (см. рисунок 3), где

перекрытие, в отличие от тока утечки, является критериальной характеристикой. Следует добавить, что и другие измерения степени загрязнения (например, УИНПО, поверхностной проводимости, поверхностных токов утечки) могут также не соответствовать СЗЭ для стандартного изолятора при его испытании на месте эксплуатации.

Примечание — ЭС представляет соответствующие испытания выдерживаемым напряжением в условиях соляного тумана (МЭК 60507) для стандартного изолятора и не должно использоваться непосредственно для определения степени искусственного загрязнения при лабораторных испытаниях для изоляторов других конструкций (см. [2] для более подробной информации).

D.4 Как оценить СЗЭ загрязнений типа В

В приложении А приведена блок-схема, позволяющая получить представление об общем подходе к оценке СЗЭ для загрязнений типа В на месте эксплуатации. Для оценки СЗЭ важен анализ предполагаемых источников загрязнения и данные по частоте увлажнения. Данные по количеству измерений степени загрязнений также помогут для определения правильной СЗЭ на месте установки изоляторов. Например, СЗЭ для прибрежных районов расположения, где соленая вода или проводящий туман откладываются на поверхности изолятора, и нерастворимые осадки могут или не могут иметь особого значения, может быть получена из опыта эксплуатации, ЭПСО, УИНПО, по результатам измерений поверхностной проводимости или токов утечки. Сильные и слабые стороны каждого метода необходимо проанализировать при объяснении результатов измерений (см. [1] для более подробной информации).

Поэтому, в вышеуказанном примере прибрежного расположения изоляторов, где нерастворимыми осадками можно пренебречь, и возникает регулярное увлажнение стандартного изолятора, измерения ЭПСО, вероятно, окажутся низкими, благодаря регулярной очистке поверхности изолятора. В таких обстоятельствах для анализа собранных данных требуется статистический подход и должен быть использован метод наибольшего правдоподобия для функции распределения. Например, ограниченная 2 % величина при надежности оценки в 95 %, затем может быть использована как параметр СЗЭ, чтобы компенсировать слишком низкое значение измерения или очень малое количество измерений (см. [2] для более подробной информации). Этот подход особенно важен при конструировании изоляции для ответственных установок.

Приложение Е
(обязательное)

Измерения направленных пылевых отложений

Е.1 Вступительное замечание

Представленное на рисунке Е.1 устройство для измерения направленных пылевых отложений состоит из четырех вертикальных трубок, каждая из которых имеет прорезь с четырех сторон, направленных на Север, Юг, Восток и Запад. К основанию каждой трубки прикреплен съемный контейнер, в который через прорезь собираются задуваемые отложения.

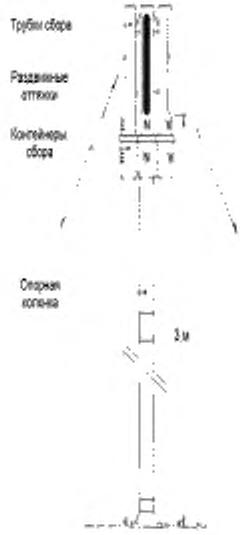


Рисунок Е.1а — Общий вид устройства



Рисунок Е.1b — Размеры прорези

Рисунок Е.1 — Устройство для измерения направленных пылевых отложений

Для обеспечения сопоставимости результатов измерений, проводимых в разных странах, прорезь должна иметь размеры, указанные на рисунке Е.1. Номинальные размеры прорези: ширина — 40 мм с радиусом 20 мм на каждом конце, расстояние между центрами радиусов — 351 мм (следовательно, общая длина прорези — 391 мм). Длина трубки, по крайней мере, — 500 мм, ее наружный диаметр — 75 мм. Расстояние от верхнего конца трубки до верхнего конца прорези — 30 мм. Трубки установлены на опорной колонке, при этом нижний конец прорези расположен примерно в трех метрах от поверхности земли.

Это предохраняет прибор от случайных повреждений, а контейнеры для сбора отложений можно легко и удобно менять. Если позволяет состояние грунта, устройство можно устанавливать и на меньшей высоте.

Эти контейнеры снимаются через каждый месяц. Их содержимое перемешивается в 500 мл деминерализованной воды, разный макроскопический мусор (листья, насекомые и т.д.) удаляется, и измеряется проводимость раствора. Показатель загрязнения определятся как среднее значение от проводимостей отложений, собранных в четырех контейнерах, выражается в мкСм/см и нормируется для месячного периода.

Преимуществом данной методики является ее простота, и то, что она может быть использована при отсутствии напряжения, без изоляторов и средств, иных, чем требуются для монтажа измерительного устройства.

Главным недостатком этого измерительного устройства является то, что при этом не используются реальные изоляторы и поэтому невозможно оценить их способность к самоочищению и влияние профиля ребра на процесс отложения загрязнений на его поверхность. В районах, в которых бывают сильные дожди, может быть допустим более высокий показатель загрязнения, в то время как в районах с небольшими дождями и большой вероятностью возникновения тумана, реальная степень загрязнения будет выше, чем измеренная устройством. Поэтому для таких районов с целью коррекции измерений используется климатический фактор.

Е.2 Методика измерений

Методика ежемесячных измерений состоит в следующем:

На месте установки устройства:

- отсоедините четыре контейнера для сбора отложений от трубки сбора и закройте их предусмотренными крышками;
- запишите дату снятия контейнера на его этикетке;
- поставьте четыре чистых контейнера на трубки сбора, заполните этикетки на каждом контейнере, указав на них направление (Север, Юг, Восток, Запад) и дату установки.

На месте измерения:

- в каждый контейнер сбора налейте 500 мл деминерализованной воды. Проводимость воды должна быть менее 5 мкСм/см. Если сосуд содержит дождевую воду, добавьте в него деминерализованной воды, чтобы объем составлял 500 мл. Если вследствие выпадения сильных дождей в сосуде окажется более 500 мл, то доливать воду не требуется;
- помешайте или взболтайте содержимое, пока не растворятся соли;
- измерьте проводимость раствора, предпочтительно измерителем проводимости, который автоматически приводит показания проводимости к 20 °С. Если измеритель проводимости не снабжен автоматической поправкой на температуру, то измерьте также и температуру раствора;
- если объем раствора отличается от 500 мл (например, в случае сильных дождей в контейнере сбора скопилось больше воды), измерьте реальный объем;
- рассчитайте приведенную к 20 °С проводимость отложений, собранных в каждом из четырех контейнеров, выраженную в мкСм/см, и нормализованную относительно объема 500 мл и периода сбора в 30 дней.

Нормализованное значение по УИНПО рассчитывается с помощью выражения:

$$УИНПО = \sigma_{20} \times \frac{V_d}{500} \times \frac{30}{D}, \quad (Е.1)$$

где *УИНПО* — проводимость отложений, полученная по показаниям устройства измерения направленных пылевых отложений, в мкСм/см;

σ_{20} — объемная проводимость при температуре 20 °С (См/м);

V_d — объем раствора в сосуде;

D — число дней сбора отложений.

Если измеритель проводимости не снабжен автоматической поправкой на температуру, то такая поправка (приведение проводимости к 20 °С) может быть выполнена с помощью формул (С.1) и (С.2);

- рассчитайте показатель загрязнения (ПЗ) за месяц, взяв среднее значение по четырем скорректированным значениям проводимостей, выраженных в мкСм/см, а именно:

$$ПЗ = \frac{УИНПО_{Север} + УИНПО_{Юг} + УИНПО_{Восток} + УИНПО_{Запад}}{4}. \quad (Е.2)$$

Примечание 1 — Внутри трубок сбора может скопиться грязь, которая может быть смыта дождем в контейнеры сбора. Поэтому, показатели загрязнения, полученные для дождливых месяцев, могут оказаться немного более высокими, чем значения ПЗ, полученные в отсутствие атмосферных осадков. Если показания усредняются за продолжительный период времени, тогда нет никакой разницы. Однако, если требуются очень точные месячные цифры, тогда перед снятием контейнеров сбора для проведения анализа отложений внутренние стенки трубок сбора можно ополоснуть, выдавливая деминерализованную воду из пластиковой бутылки.

Примечание 2 — Для более подробной информации по природе и/или источникам загрязнений собранные отложения могут быть отосланы в лабораторию для более тщательного химического анализа.

Если вслед за измерениями проводимости требуется оценка нерастворимых отложений, растворы должны быть отфильтрованы при использовании воронки и предварительно высушенной взвешенной фильтровальной бумаги степени GF/A 1,6 мм или аналогичной бумаги. Бумага затем должна быть высушена и взвешена. Разница в весе в граммах затем составляет нерастворимое отложение (НО).

Е.3 Определение класса СЗЭ по показаниям УИНПО

Взаимосвязь между классом степени загрязнения в эксплуатации (класс СЗЭ) и показателем загрязнения, предпочтительно измеренным, по крайней мере, в течение 1 года, приведена в таблице Е.1. В таблице Е.2 приведены данные по приведенным уровням НО, измеренным с помощью УИНПО.

Таблица Е.1 — Показатель загрязнения по данным устройства для измерения направленных полевых отложений в зависимости от класса степени загрязнения в эксплуатации

Показатель загрязнения по данным устройства для измерения направленных полевых отложений, ПЗ (мкСм/см) (выберите самый высокий уровень)		Класс степени загрязнения в эксплуатации	
Средняя месячная величина, полученная по измерениям в течение более 1 года	Максимальная месячная величина, полученная по измерениям в течение более 1 года		
< 25	< 50	a	Очень легкое
от 25 до 75	от 50 до 175	b	Легкое
от 76 до 200	от 176 до 500	c	Среднее
от 201 до 350	от 501 до 850	d	Сильное
> 350	> 850	e	Очень сильное

Таблица Е.2 — Коррекция класса степени загрязнения в эксплуатации в зависимости от уровней НО, полученным по показаниям УИНПО

Показатель загрязнения по данным устройства для измерения направленных полевых отложений, НО (граммы) (выберете самый высокий уровень)		Коррекция класса степени загрязнения в эксплуатации
Средняя месячная величина, полученная по измерениям в течение более 1 года	Максимальная месячная величина, полученная по измерениям в течение более 1 года	
< 0,5	< 1,5	Отсутствует
от 0,5 до 1,0	от 1,5 до 2,5	Увеличение на один класс
> 1,0	> 2,5	Увеличение на один или два класса и рассмотреть возможность уменьшения (например, обмывка)

Е.4 Учет влияния климата

Если данные о погоде известны, то показатель загрязнения, полученный по данным устройства измерения направленных пылевых отложений, может быть скорректирован с учетом климатического влияния. Это осуществляется путем умножения значения показателя загрязнения (ПЗ) на климатический коэффициент (C_f).

Климатический коэффициент определяется как:

$$C_f = \sqrt{\frac{F_d}{20} + \frac{D_m}{3}}, \qquad (E.3)$$

где F_d — число туманных дней в году (в пределах горизонтальной видимости ≤ 1000 м);

D_m — число засушливых месяцев в году (осадки < 20 мм).

Примечание — Выражение (Е.3) основано на измерениях, проведенных в Южной Африке в 80 местах эксплуатации в течение более 4 лет.

Приложение F
(обязательное)

Использование лабораторных методов испытаний

Метод лабораторных испытаний выбирается согласно типу загрязнения на месте эксплуатации, типу изолятора и виду напряжения. Испытания, указанные в МЭК 60507 и МЭК/ТТ 61245, применяются непосредственно для керамических и стеклянных изоляторов. До настоящего времени нет стандарта, регламентирующего испытания загрязненных полимерных изоляторов. В качестве общего правила для загрязнений типа А рекомендуется проводить лабораторные испытания при наличии слоя из твердых загрязнителей, и для загрязнений типа В — испытания в условиях соляного тумана.

Используемая при лабораторных испытаниях степень загрязнения определяется 3-мя основными факторами:

1. Существующий тип загрязнения и степень загрязнения на месте эксплуатации определяются путем оценки загрязнения на месте эксплуатации, как описано в п. 8 и приложениях C, D и E.

2. Степени загрязнения на месте эксплуатации корректируется с учетом любого дефицита или неточности определения СЗЭ. Поправочные коэффициенты должны компенсировать:

- различие в способности изолятора, используемого для измерения степени загрязнения на месте эксплуатации, и испытуемого в лаборатории изолятора, захватывать на себя загрязнения, например, влияние профиля ребер и диаметра;
- различие в видах напряжения, воздействующего на изолятор, используемый для измерения степени загрязнения в условиях эксплуатации, и испытуемый в лаборатории, например, напряжение постоянного или переменного тока;
- другие важные воздействия.

3. Требуемая при лабораторных испытаниях степень загрязнения, определяется на основе СЗЭ, с целью компенсации различия между действительными условиями эксплуатации изоляции и условиями, имеющимися при стандартных испытаниях. Эти поправочные коэффициенты к степени загрязнения должны компенсировать:

- различие в типе загрязнения на месте эксплуатации и при лабораторных испытаниях;
- различие в равномерности загрязнения на месте эксплуатации и при лабораторных испытаниях;
- различие в условиях увлажнения на месте эксплуатации и при лабораторных испытаниях;
- различие в монтаже оборудования.

Другие важные влияющие факторы могут включать в себя:

- влияние старения изоляции (в результате продолжительного времени ее эксплуатации) на способность загрязняться и смачиваться;
- статистическая неопределенность, возникающая вследствие проведения ограниченного числа опытов для проверки требуемого уровня выдерживаемого напряжения загрязненной изоляции.

Это главные принципы этих процессов. Выбор величин для поправочных коэффициентов зависит от условий и опыта эксплуатации. Поправочные коэффициенты известны для определенных типов изоляторов и более того, пополняются по мере накопления опыта эксплуатации. По мере возможности, характерные значения поправочных коэффициентов даны в соответствующих частях МЭК 60815.

По согласованию между производителем и потребителем продукции могут рассматриваться нестандартные, заказные, лабораторные методы испытания изоляции в условиях загрязнения. Более подробную информацию по таким методам испытаний можно найти в [1].

Приложение G
(обязательное)

Детерминистские и статистические подходы при испытании изоляции искусственным загрязнением и критерии оценки

G.1 Общее замечание

При испытании изоляции в условиях искусственного загрязнения используются два метода со своими критериями оценки результатов испытаний: детерминистский и статистический методы. Многие из применяемых методов, однако, представляют собой комбинацию обоих методов. Например, некоторые факторы, используемые в детерминистском методе, взяты от статистических соображений или некоторыми статистическими вариациями пренебрегают в статистических методах.

G.2 Детерминистский подход

Детерминистский подход широко использовался для проектирования многих электрических и механических элементов, аппаратов и систем. Обычно определение уровня изоляции основывается на анализе самых тяжелых условий эксплуатации изоляции и принятии коэффициентов запаса, компенсирующих отсутствие необходимых знаний. Предполагается, что в эксплуатации существует определенный максимум тяжести условий среды, которые воздействуют на изоляцию с плотностью распределения $f(\gamma)$, как показано на рисунке G.1. Предполагается также, что выдерживаемые напряжения изоляции (выраженные на рисунке G.1 через вероятность ее перекрытия ($P(\gamma)$) обеспечиваются при неком минимальном значении степени загрязнения (найденном либо по данным опыта эксплуатации, либо по результатам лабораторных испытаний), ниже которого перекрытие изоляции не произойдет.

Затем минимальная выдерживаемая степень загрязнения изоляции выбирается таким образом, чтобы она превышала максимальное воздействие загрязнения с некоторым допустимым пределом, который компенсирует неопределенность в оценке степени загрязнений и электрической прочности изоляции.

Для выбора максимального уровня загрязнений этот метод требует точности определения степени загрязнения на месте эксплуатации. В противном случае возможна переоценка или недооценка степени загрязнения или ошибочные предположения о взаимосвязи между степенью загрязнения в эксплуатации и при лабораторных испытаниях.

В прошлом, успех применения данного метода был обусловлен, в основном, благодаря тому, что, в большинстве случаев результаты лабораторных испытаний при искусственном загрязнении давали консервативную оценку.

Для корректной оценки разрядных характеристик загрязненной изоляции необходимо тщательно проводить лабораторные испытания, учитывая при этом все факторы, определяющие взаимосвязь между степенью загрязнения в эксплуатации и при лабораторных испытаниях.

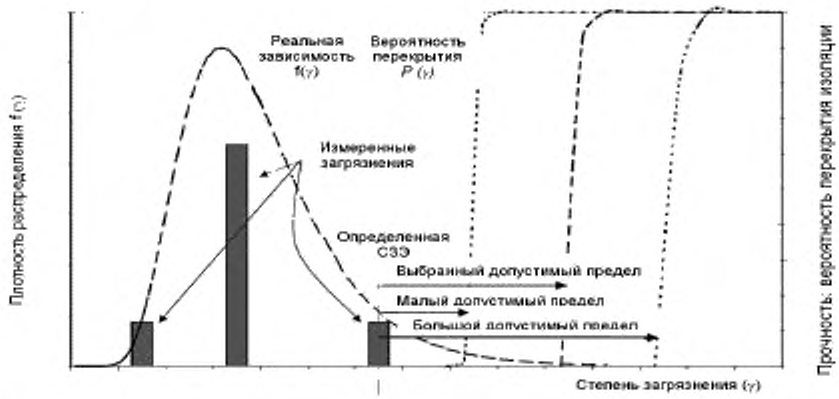


Рисунок G.1 — Иллюстрация применения детерминистского подхода для проектирования изоляции

G.3 Статистический подход

Для выполнения нормативных требований к электрической прочности загрязненной изоляции используется статистический подход, который предполагает выбор габаритов изоляции, исходя из ее электрической прочности при определенных условиях окружающей среды на месте эксплуатации и воздействующих там напряжениях (кон-

цепция воздействующие факторы/прочность изоляции). Это осуществляется путем оценки риска перекрытия предполагаемого варианта изоляции и выбора приемлемых ее характеристик.

Из данных рисунка G.2 следует, что риск перекрытия загрязненной изоляции может быть рассчитан следующим образом:

- электрическая прочность изоляции описывается интегральной функцией распределения $P(\gamma)$, т.е. — это вероятность перекрытия изоляции при той же степени загрязнения γ, которая используется в функции плотности распределения (например, ЭПСО). Эти данные обычно берутся по результатам лабораторных испытаний, опыта эксплуатации или полевых испытаний. Для испытаний в лабораторных условиях плотность солевых отложений (ПСО) определяется по значению эквивалентной плотности солевых отложений (ЭПСО) на месте эксплуатации, используя принципы, изложенные в приложении F;
- затем функция $P(\gamma)$, полученная для одного изолятора преобразуется в функцию для m изоляторов, установленных на линии или ее участке, и подверженных тем же самым загрязнениям;
- для получения плотности распределения вероятности перекрытия изоляции обе функции $f(\gamma)$ и $P(\gamma)$ перемножаются, и заштрихованная область под этими кривыми задает область риска перекрытия загрязненной изоляции;
- риск перекрытия изоляции в год может быть рассчитан по известному числу событий в год, приводящих к загрязнению (например, солевые шторма, в прибрежных районах, или слабые дожди, или выпадение росы в континентальных районах).

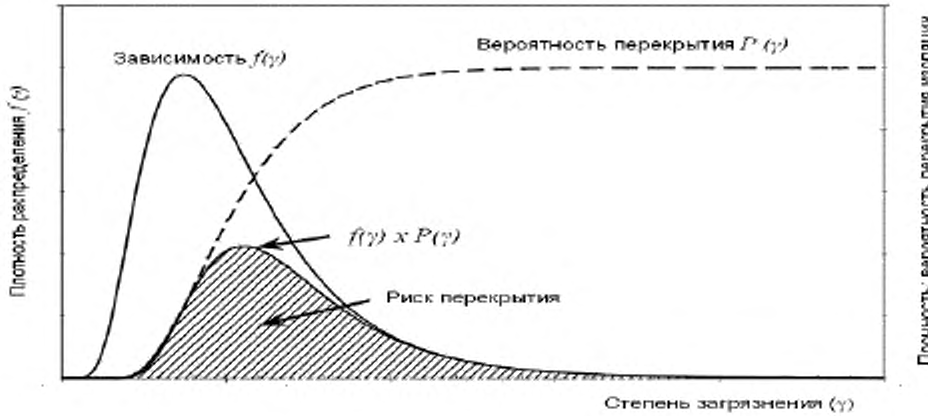


Рисунок G.2 — Концепция воздействующие факторы/прочность изоляции, используемая для расчета риска перекрытия загрязненной изоляции

Данный метод требует точного определения статистических параметров, как функции плотности распределения загрязнений, так и вероятности перекрытия изоляции. Для последней характеристики при лабораторных испытаниях должно определяться пятидесятипроцентное разрядное напряжение U_{50} и стандартное отклонение для каждого типа изолятора при нескольких (по крайней мере, двух) уровнях степени загрязнения.

Для статистического метода могут быть использованы существующие пакеты программного обеспечения.

Приложение Н
(справочное)

Пример вопросника для сбора информации по поведению изоляторов в загрязненных районах

Компания:	Страна:
Идентификация проекта и/или месторасположения: Линия или подстанция:	
Контактное лицо, адрес, факс, телефон, e-mail	

1 Данные/требования системы (см. п. 6)

Номинальное напряжение системы и наибольшее рабочее напряжение на оборудовании
Величина и длительность кратковременных перенапряжений
Стратегическая важность
Дата создания Дата ввода в эксплуатацию
Тип системы
Эксплуатация (не включая реконструкцию)
Очистка: да/нет частота:
Обмывка: да/нет частота:
Смазка: да/нет частота:

Воздушные линии Подстанции
Тип опоры или конструкции (включая эскиз) Тип аппаратов
Число цепей
Высота подвеса провода над землей
Тип изолирующей подвески
Изоляционные расстояния
Защитная арматура изолятора

2 Условия окружающей среды и загрязнения (см. п. 7)

Общая информация
Карта пересекаемых территорий, трасса и высоты линии над уровнем моря
Различные климатические зоны, пересекаемые линией
Место расположения и высота подстанций над уровнем моря (укажите ориентацию проходного ввода по отношению к господствующему направлению ветра)
Защита территории с помощью растительности, строений и геологических средств

Климат
Тип климата: умеренный, тропический, экваториальный, континентальный…
Время без дождей, в месяцах
Ежегодное выпадение дождя (мм):
Месячное выпадение дождя (если возможно)
Господствующее направление ветра:
направление, средняя скорость (км/ч) Месячные данные (если возможно)
Роса: да/нет частота
Туман: да/нет частота
Влажность: Месячная максимальная и средняя (если возможно)

Типы загрязнения
Тип А
Загрязнение песком или пылью (например, пустыня)
Промышленное загрязнение с большим количеством твердых отложений (кроме цемента)
Промышленное загрязнение с большим количеством цемента (или других слабо растворимых солей)
Химическое или промышленное загрязнение, дым
Сельское хозяйство

Тип В
- Морское загрязнение — небольшое количество нерастворимого вещества
- Соляное загрязнение, отличающееся от прибрежного — небольшое количество нерастворимого вещества
- Химическое или промышленное загрязнение, газ, кислотный дождь
- Комбинации загрязнений Типа А и Типа В
- Укажите основные компоненты и их относительное содержание
- Уровни загрязнения (СЗЭ)
- Класс СЗЭ согласно МЭК 60815-1
- Метод, используемый для оценки СЗЭ
- Тип стандартных изоляторов, другие изоляторы
- Частота измерения
- Длительность изучения
- Ежегодная максимальная величина измерений ЭПСО, ПНО, ЭС или УИНПО (месячные данные, если они есть)

Другие неблагоприятные факторы
- Молния
- Сейсмическая активность
- Вандализм

3 Параметры изолятора

- Подход, используемый для определения изоляции
  - МЭК/ТТ 60815-1 Подход 1
  - МЭК/ТТ 60815-1 Подход 2
    - С измерением на месте эксплуатации или без?
    - Подтверждающие методы испытаний/результаты испытания
  - МЭК/ТТ 60815-1 Подход 3
    - С измерением на месте эксплуатации или без?

Воздушные линии	Подстанции
Положение и тип гирлянды	Положение изолятора
Тип изолятора	Тип изолятора (опорный, ввод и т.д.)
Материал изолятора	Материал изолятора
Общая длина гирлянды, диаметр(ы)	Общая длина, диаметр(ы)
Профиль	Профиль
Единичная/общая длина пути утечки	Общая длина пути утечки
Длина дугового перекрытия	Длина дугового перекрытия

4 Подробности о чрезвычайных ситуациях

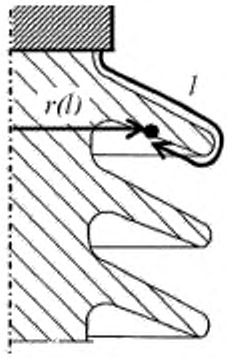
- Общая информация
- Дата и время
- Состояние опоры или конструкции, оборудования, подстанции
- Метеорологические условия перед/во время чрезвычайной ситуации(ий):
  - Относительная влажность
  - Дождь
  - Изморось
  - Задымление/морской туман
  - Температура
  - Штормы
  - Ветер (направление, средняя и максимальная скорости)
  - Промежуток времени после окончания дождя и появлением чрезвычайной ситуации
  - Другое

Тип чрезвычайной ситуации и результаты обследования
- Перекрытие
- Сильная коррозия металлических частей
- Пробой, трэкинг или эрозия диэлектрика
- Другое видимое повреждение
- Локальное повреждение на изоляторе
- Любые другие результаты наблюдения или комментарии

Приложение I
(справочное)

Коэффициент формы

Коэффициент формы (F_f) является безразмерной величиной, которая определяется интегралом $K_f = \int_0^L \frac{dl}{2\pi r(l)}$, где ($l$) — части длины пути утечки (см. рисунок I.1).



$$F_f = \int_0^L \frac{dl}{p(l)},$$

где L — общая длина вдоль поверхности изолятора (длина пути утечки) и $p(l) = 2\pi r(l)$

Рисунок 1.1 — Коэффициент формы

В этом случае коэффициент формы F_f равен интегралу от обратной величины длины окружности вдоль пути утечки, рассчитанной от конца изолятора до рассматриваемой точки. Он зависит только от формы поверхности изолятора, но не от его размеров. См. МЭК 60507.

Поверхность, содержащая равномерно распределенный проводящий слой, имеет общую проводимость, зависящую от:

- удельной поверхностной проводимости,
- F_f.

Коэффициент формы F_f задает точную связь между удельным сопротивлением/проводимостью равномерно проводящей поверхности, например, поверхности, равномерно загрязненного и увлажненного изолятора и общим/общей удельным сопротивлением/проводимостью той же поверхности.

Приложение J
(справочное)

Соотношение между удельной длиной пути утечки и нормированной удельной длиной пути утечки

УДПУ, которая использовалась в предыдущем издании МЭК 60815, основывалась на напряжении системы. Для систем переменного тока это было линейное напряжение. НУДПУ относится к напряжению, воздействующему на изолятор, т.е. — к фазному напряжению. Как для УДПУ, так и для НУДПУ нормируются минимальные значения. В таблице J.1 приведены соотношения между обычно используемыми величинами УДПУ и НУДПУ.

Таблица J.1 — Соотношение между удельной длиной пути утечки и нормированной удельной длиной пути утечки

Удельная длина пути утечки для трехфазной системы переменного тока	НУДПУ
12,7	22,0
16	27,8
20	34,7
25	43,3
31	53,7

Приложение ДА
(справочное)

Оригинальный текст положений МЭК/ТТ 60815-1:2008, которые применены в настоящем стандарте с изменением их содержания для учета технических особенностей объекта стандартизации, принятых в Российской Федерации

Настоящие технические требования МЭК/ТТ 60815 применимы к выбору изоляторов и определению их основных размеров, предназначенных для использования в системах высокого напряжения в условиях загрязнения. С этой целью изоляторы разделены на следующие категории, каждая из которых включает специальный раздел следующим образом:

- МЭК/ТТ 60815-2 «Керамические и стеклянные изоляторы для систем переменного тока»;
- МЭК/ТТ 60815-3 «Полимерные изоляторы для систем переменного тока».

Настоящая часть МЭК 60815 устанавливает основные определения, методы оценки СЗЭ и основные принципы подхода к заключению о вероятном поведении данного изолятора при определенном загрязнении окружающей среды.

Технические требования обычно применимы ко всем типам внешней изоляции, включая изоляцию, составляющую часть другого аппарата. В дальнейшем, термин «изолятор» используется по отношению к любому типу изолятора.

Настоящие технические требования основаны на документах [1], [2], [3] и являются удобной формой для желающих более глубоко изучить характеристики изоляторов в условиях загрязнения.

Настоящие технические требования не рассматривают влияния снега, льда или высоты над уровнем моря на загрязнение изоляторов. Несмотря на то, что эта тема указана в публикациях [1], [4], имеющиеся знания крайне ограничены и практические результаты слишком противоречивы.

Целью настоящих технических требований является:

- понять и установить параметры системы, применение, оборудование и влияние эксплуатационных загрязнений на поведение изоляторов;
- понять и выбрать соответствующий подход к проектированию конструкции изолятора, основанный на доступных данных, с учетом времени и ресурсов;
- охарактеризовать тип загрязнения в эксплуатации и определить СЗЭ;
- определить БНДПУ в зависимости от СЗЭ;
- определить поправки к БНДПУ с учетом специфических свойств (в особенности профиля ребра изолятора) изолятора, предполагаемого для использования его в эксплуатации для данного типа системы;
- определить относительные преимущества и недостатки возможных решений;
- учесть возможность принятия «гибридных» решений или профилактических измерений;
- если требуется, определить соответствующие методы испытания и параметры, чтобы проверить характеристики выбранных изоляторов.

Примечание — Приложение содержит оригинальный текст пункта 1 МЭК 60815-1:2008.

Приложение ДБ
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДБ.1

Обозначение ссылочного межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ 721-77	NEQ	IEC 60038:1975 «Напряжения стандартные по МЭК»
ГОСТ 10390-86	NEQ	IEC 60507:1975 «Изоляторы высокого напряжения керамические и стеклянные, используемые в системах переменного тока. Методы испытаний в условиях искусственного загрязнения»
ГОСТ 27744-88	NEQ	IEC 60050-471:1984 «Международный электротехнический словарь. Глава 471: Изоляторы»
Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов: - NEQ — неэквивалентные стандарты.		

Библиография

[1] Группа СИГРЭ 33.04.01	Загрязненные изоляторы: Обзор знаний о токе, Брошюра СИГРЭ № 158-2000.
[2] СИГРЭ РГ С4.303	Внешняя изоляция в условиях загрязнения: Руководство по выбору изоляции и ее размеров — Часть 1: Общие правила применительно к системам переменного тока. Техническая брошюра СИГРЭ № 361-2008
[3] СИГРЭ РГ С4.303	Разработка руководств по выбору изоляторов в условиях загрязнения для систем СВН-ПТ УВН: состояние проблемы и необходимые исследования. Доклад С4-101. СИГРЭ 2008
[4] Группа СИГРЭ 33.13.07	Влияние льда и снега на разрядные характеристики внешней изоляции — Часть 1: Влияние льда, ЭЛЕКТРА № 187, декабрь 1999 и Часть 2: Влияние снега. ЭЛЕКТРА № 188, февраль 2000
[5] МЭК 60050-604-1987	IEC 60050-604:1987 International Electrotechnical Vocabulary. Part 604: Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity — peration (Международный Электротехнический Словарь — Часть 604: Производство, передача и распределение электрической энергии — Эксплуатация)
[6] Группа СИГРЭ 33.04.03	Контролирование загрязнения изолятора, ЭЛЕКТРА № 152, февраль 1994
[7] МЭК/ТО 62039-2007	EC/TR 620039(2007) Selection guide for polymeric materials for outdoor use under HV stress (Руководство по выбору полимерных материалов для наружного применения в системах ВН)
[8] МЭК/ТО 62073-2003	IEC/TS 62073(2003)Guidance on the measurement of wettability of insulator surface (Руководство по определению смачиваемости поверхности изоляторов)
[9] ПУЭ-7	«Правила устройства электроустановок»
[10] СТО 56947007-29.240.059-2010	«Инструкция по выбору изоляции электроустановок»
[11] СТО 56947007-29.240.068-2011	«Длина пути утечки внешней изоляции электроустановок переменного тока классов напряжения 6-750 кВ»
[12] СТО 56947007-29.240.144-2013	«Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии»

УДК 621.315.048.027.4:621.317.333.6:066.354 ОКС 29.080.10 ОКП 34 9410

Ключевые слова: Загрязнения, показатель загрязнения, длина пути утечки, удельная длина пути утечки, коэффициент формы, высота, детерминистский и статистический методы

Редактор *Т.Н. Кустова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Подписано в печать 08.02.2016 Формат 60 ×84 $^{1}/_{8}$
Усл. печ. л. 5,60. Тираж 34 экз. Зак. 309.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru