ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72409.1.2— 2025 (МЭК 61238-1-2:2018)

ГИЛЬЗЫ КАБЕЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ, ЗАКРЕПЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОПРЕССОВКИ

Часть 1-2

Требования и методы испытания соединительных гильз, предназначенных для соединения изолированных токопроводящих жил номинальным напряжением до 1 кВ (U_m = 1,2 кВ)

(IEC 61238-1-2:2018, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2026

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «Диэлектрические кабельные системы» (АО «ДКС») на основе собственного перевода на русский язык английской версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 331 «Низковольтная коммутационная аппаратура и комплектные устройства распределения, защиты, управления и сигнализации»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2025 г. № 1501-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 61238-1-2:2018 «Гильзы кабельные соединительные, закрепляемые методом механической опрессовки. Часть 1-2. Требования и методы испытания соединительных гильз, предназначенных для соединения изолированных токопроводящих жил номинальным напряжением до 1 кВ (U_m = 1,2 кВ)» (IEC 61238-1-2:2018 «Compression and mechanical connectors for power cables — Part 1-2: Test methods and requirements for insulation piercing connectors for power cables for rated voltages up to 1 kV (U_m = 1,2 kV) tested on insulated conductors», MOD) путем изменения фраз (слов, значений показателей, ссылок), которые выделены в тексте курсивом.

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». 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

© IEC, 2018
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

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 1
3 Термины и определения 2
4 Обозначения 2
5 Общие положения 3
6 Электрические испытания 5
7 Механические испытания 14
8 Протоколы испытаний 15
Приложение A (обязательное) Уравнители и их подготовка 17
Приложение B (обязательное) Измерения 19
Приложение C (рекомендуемое) Рекомендации по уменьшению погрешностей измерений 20
Приложение D (обязательное) Адиабатическое значение температуры при токах короткого замыкания 21
Приложение E (рекомендуемое) Определение величины тока короткого замыкания 22
Приложение F (обязательное) Метод расчета 23
Приложение G (справочное) Пояснения по оценке результатов электрических испытаний соединительной гильзы 27
Приложение H (рекомендуемое) Испытания многопроволочных соединительных гильз 29
Приложение I (рекомендуемое) Испытания на подачу нагрузки 42
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 43
Библиография 44

Введение

Серия стандартов МЭК 61238 состоит из следующих частей:

- часть 1-1. Гильзы кабельные соединительные, закрепляемые методом механической опрессовки. Требования и методы испытания соединительных гильз предназначенным для соединения неизолированных токопроводящих жил номинальным напряжением до 1 кВ (U_m = 1,2 кВ);

- часть 1-2. Гильзы кабельные соединительные, закрепляемые методом механической опрессовки. Требования и методы испытания соединительных гильз предназначенным для соединения изолированных токопроводящих жил номинальным напряжением до 1 кВ (U_m = 1,2 кВ);

- часть 1-3 Гильзы кабельные соединительные, закрепляемые методом механической опрессовки. Требования и методы испытания соединительных гильз предназначенным для соединения изолированных токопроводящих жил номинальным напряжением от 1 кВ (U_m = 1,2 кВ) до 30 кВ (U_m = 36 кВ).

Настоящая часть 1-2 определяет типовые испытания гильз кабельных соединительных с прокалыванием изоляции для использования на медных или алюминиевых жилах силовых кабелей на номинальное напряжение до 1 кВ (U_m = 1,2 кВ).

Если конструкция соединительной гильзы соответствует требованиям данного стандарта, то ожидается, что в процессе эксплуатации:

a) сопротивление соединения будет оставаться стабильным в заданных пределах;

b) температура соединительной гильзы будет на порядок ниже температуры изолированной токопроводящей жилы при нагреве током;

c) если этого требует назначение, применение токов короткого замыкания не будет влиять на указанное в a) и b);

d) независимо от электрических характеристик, соответствующий предел прочности при осевом растяжении обеспечит требуемые механические характеристики соединений с токопроводящими жилами, если применимо.

Следует подчеркнуть, что хотя целью электрических и механических испытаний, указанных в настоящем стандарте, является подтверждение пригодности соединительных гильз для большинства условий эксплуатации, они не обязательно применимы к ситуациям, когда соединительная гильза может быть нагрета до высокой температуры в результате подключения к установке с высоким номинальным током, в коррозионных условиях или в тех случаях, когда соединительная гильза подвергается внешним механическим нагрузкам, таким как чрезмерная вибрация, удары и значительное перемещение после установки. В таких случаях необходимо проведение специальных испытаний, согласованных между изготовителем и потребителем.

Настоящий стандарт не отменяет существующие сертификаты соответствия продукции, полученные на основании национальных стандартов и технических условий, и/или удовлетворительный опыт эксплуатации. Вместе с тем продукция, получившая сертификат соответствия на основании национальных стандартов или технических условий, не может рассматриваться как соответствующая данному документу.

После успешного завершения эти испытания не повторяют до тех пор, пока не будут внесены изменения в материал, производственный процесс и конструкцию, которые могут негативно повлиять на эксплуатационные характеристики соединительной гильзы.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГИЛЬЗЫ КАБЕЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ, ЗАКРЕПЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОПРЕССОВКИ

Часть 1-2

Требования и методы испытания соединительных гильз, предназначенных для соединения изолированных токопроводящих жил номинальным напряжением до 1 кВ (U_m = 1,2 кВ)

Compression and mechanical connectors for power cables. Part 1-2. Test methods and requirements for insulation piercing connectors for power cables for rated voltages up to 1 kV (U_m = 1,2 kV) tested on insulated conductors

Дата введения — 2026—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на соединительные гильзы для прокалывания изоляции силовых кабелей на номинальное напряжение до 1 кВ (U_m = 1,2 кВ), например в соответствии с *ГОСТ 31996*, или других подземных кабелей или кабелей, проложенных в зданиях, имеющие:

a) токопроводящие жилы с номинальным сечением от 2,5 до 300 мм^2 включительно для меди и от 16 до 500 мм^2 для алюминия в соответствии с *ГОСТ 22483*;

b) максимальную непрерывную температуру кабеля, не превышающую свойств изоляционного материала.

Настоящий стандарт не распространяется:

- на соединительные гильзы для проводов воздушных линий электропередачи,
- на соединительные гильзы со скользящим контактом.

Настоящий стандарт содержит методы типовых испытаний и требования, которые применяют к соединительным гильзам, для прокалывания изоляции силовых кабелей с медными или алюминиевыми токопроводящими жилами. Стандартным методом является проведение испытаний на неиспользуемых изолированных токопроводящих жилах.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 15845 Изделия кабельные. Термины и определения

ГОСТ 22483 (IEC 60228:2004) Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров

ГОСТ 31996 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия

ГОСТ Р МЭК 60949—2009 Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учетом неадиабатического нагрева

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

Издание официальное

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 и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ 15845*, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **соединительная гильза (кабелей)** (connector): Металлическое устройство для соединения токопроводящих жил кабелей.

3.2 **проходная соединительная гильза** (through connector): Металлическое устройство для соединения двух последовательных отрезков токопроводящей жилы

3.3 **ответвительная соединительная гильза** (branch connector): Металлическое устройство для соединения кабеля ответвления с магистральным кабелем на ее промежуточном участке.

3.4 **контрольная токопроводящая жила** (reference conductor): Длина несоединенной неизолированной жилы или жилы со снятой изоляцией, включенной в испытательную цепь, которая позволяет определить контрольную температуру и контрольное сопротивление.

3.5 **уравнитель** (equalizer): Соединение, используемое в испытательной цепи для обеспечения эквипотенциальной точки тока (одной и той же величины) и равномерного распределения тока в многопроволочной токопроводящей жиле.

3.6 **компрессионное соединение** (compression jointing): Метод крепления соединительной гильзы к токопроводящей жиле с помощью специального инструмента для получения постоянной деформации соединительной гильзы и токопроводящей жилы.

3.7 **механическое соединение** (mechanical jointing): Метод соединения гильзы с токопроводящей жилой (например, с помощью болта или винта, воздействующего на токоведущую жилу).

3.8 **соединительная гильза, находящаяся в средней точке испытательной цепи** (median connector): Соединительная гильза, которая во время первого цикла нагрева регистрирует третью самую высокую температуру из шести соединительных гильз в испытательной цепи.

3.9 **соединительная гильза, прокалывающая изоляцию** (insulation piercing connector): Соединительный зажим, в котором электрический контакт с жилой обеспечивается за счет металлических выступов, прокалывающих изоляцию жил кабеля.

3.10 **изоляционное прокалывающее соединение** (insulation piercing jointing): Способ крепления соединительной гильзы, прокалывающей изоляцию, к изолированной жиле путем прокалывания, просверливания, прорезания или приведения к нарушению части изоляции каким-либо другим способом по меньшей мере одной жилы кабеля без предварительного снятия изоляции во время монтажа.

Примечания

1 Температура не ограничивается токопроводящей жилой, а зависит от изоляции кабеля.

2 Этот метод может обеспечить работу линии под напряжением, если соединительная гильза обеспечивает достаточные изоляционные свойства. Требования безопасности при работе под напряжением в настоящем стандарте не рассматриваются.

3.11 **токопроводящая жила** (conductor): Элемент кабельного изделия, предназначенный для передачи электрического тока.

3.12 **группа соединительных гильз** (family of connectors): Группа соединительных гильз одного изготовителя, имеющих единые размеры, материал и требования к установке.

4 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

D — изменение коэффициента сопротивления соединительной гильзы;

S — номинальное сечение токопроводящей жилы;

I — постоянный ток, протекающий через соединение при измерении сопротивления;

I_{RMS} — среднеквадратичный ток короткого замыкания;

I_N — переменный ток, необходимый для поддержания температуры контрольной токопроводящей жилы в рабочем состоянии;

I_r — постоянный ток, протекающий через контрольную токопроводящую жилу(ы) во время измерения сопротивления;

k — коэффициент сопротивления соединительной гильзы: отношение сопротивления соединительной гильзы к сопротивлению эквивалентной длины контрольной токопроводящей жилы;

k_0 — коэффициент начального сопротивления соединительной гильзы: отношение сопротивления соединительной гильзы к сопротивлению эквивалентной длины контрольной токопроводящей жилы при нулевом цикле;

l_a, l_b, l_j — длины каждого узла соединительной гильзы, связанного с измерительными позициями в испытательной установке после установки;

l_r — длина контрольной токопроводящей жилы между точками измерения;

R — измеренное значение сопротивления монтажа соединительной гильзы/токопроводящей жилы при электрическом испытании с поправкой на 20 °С;

R_r — измеренное значение сопротивления контрольной токопроводящей жилы с поправкой на 20 °С;

R_j — расчетное значение сопротивления соединительной гильзы при электрическом испытании с поправкой на 20 °С, связанное с длиной;

t_1 — время нагрева;

t_2 — время, необходимое для охлаждения соединительной гильзы и контрольной токопроводящей жилы до значения, равного или менее 35 °С;

U — разность потенциалов между измерительными позициями при подаче тока I;

U_r — разность потенциалов между измерительными позициями на контрольной токопроводящей жиле при подаче тока I_r;

α — температурный коэффициент сопротивления при 20 °С;

β — средняя погрешность коэффициентов сопротивления соединительных гильз;

δ — начальная погрешность коэффициентов сопротивления соединительных гильз;

λ — коэффициент сопротивления: фактический коэффициент сопротивления соединительных гильз на каждом этапе измерения, который делится на его начальный коэффициент сопротивления;

θ — температура соединительной гильзы;

θ_{max} — максимальная зарегистрированная температура на соединительной гильзе за весь период испытаний на стойкость к циклическому воздействию температуры;

θ_R — температура контрольной токопроводящей жилы, определенная в первом тепловом цикле;

θ_{ref} — температура соответствующей контрольной токопроводящей жилы в момент измерения θ_{max}.

5 Общие положения

5.1 Определение классов

Классификация соединительных гильз в зависимости от условий применения:

а) электрические параметры:

1) класс А

Соединительные гильзы данного класса предназначены для силовых распределительных или промышленных сетей, в которых они могут подвергаться коротким замыканиям относительно высокой интенсивности и продолжительности. Вследствие этого соединительные гильзы класса А подходят для большинства применений;

2) класс B

Это соединительные гильзы для сетей, в которых перегрузки или короткие замыкания отключаются установленными защитными устройствами с ограничением тока короткого замыкания, например быстродействующими предохранителями;

b) механические требования:

1) класс 0

Соединительные гильзы, не подверженные механическим воздействиям на растяжение. К ним относятся, например, соединительные гильзы внутри распределительных устройств, где кабельное изделие или токопроводящие жилы закреплены или зафиксированы;

2) класс 1

Соединительные гильзы, подверженные механическому усилию на растяжение. Выбор значений усилия растяжения определяют в зависимости от номинального сечения и материала токопроводящей жилы (в соответствии с таблицей 4). К ним относятся, например, соединительные гильзы для подземных кабельных соединений.

Следовательно, существует четыре класса, которым соответствуют следующие испытания:

класс A — испытания на стойкость к циклическому воздействию температуры и короткого замыкания;

класс B — только испытание на стойкость к циклическому воздействию температуры;

класс 0 — механические испытания не проводят;

класс 1 — механические испытания.

5.2 Токопроводящая жила

В протоколе испытаний указывают следующую информацию:

- материал токопроводящей жилы;
- номинальное сечение, размеры и форму;
- информацию о конструкции токопроводящей жилы, если она известна или может быть определена путем проверки, например:
  - класс токопроводящей жилы в соответствии с *ГОСТ 22483* (однопроволочная, многопроволочная);
  - уплотненная или неуплотненная для многопроволочных токопроводящих жил;
  - количество и расположение проволок;
  - тип покрытия, если применимо;
  - тип пропитки, гидроизоляции и т. д., если применимо;
  - технические характеристики кабеля, включая тип и толщину изоляции и т. д.;
  - подготовку кабеля, если она проводилась перед испытаниями.

5.3 Соединительные гильзы и порядок установки

В протоколе испытаний указывают следующую информацию:

- метод сборки или инструкцию по установке, которые необходимо использовать;
- оснастку, штампы и все необходимые настройки;
- идентификацию соединительной гильзы, например наименование изготовителя, чертеж, регистрационный номер, тип;
- температуру при монтаже и, если применимо, другие меры предосторожности при монтаже, например снятие нагрузки под напряжением (см. приложение I).

5.4 Диапазон допуска

Как правило, испытания, проводимые с использованием комбинации соединительной гильзы для прокалывания изоляции/токопроводящей жилы и изоляции одного типа, применяют только к одному типу. Однако для ограничения числа испытаний одного и того же материала токопроводящей жилы допускается следующее:

- соединительную гильзу, применимую с многопроволочными круглыми или секторными токопроводящими жилами, имеющую закругленную форму, считают прошедшей испытания для обоих типов, если получены удовлетворительные результаты на уплотненной круглой токопроводящей жиле;

- соединительную гильзу, которая охватывает диапазон номинальных сечений, считают прошедшей испытания, если получены удовлетворительные результаты с наименьшим и наибольшим номинальными сечениями;

- в документации изготовителя указан единый класс применения для одного типа соединительных гильз. Соответствие подтверждается путем успешного испытания соединительных гильз самого большого, самого маленького и двух промежуточных размеров.

Исключение 1: для группы соединительных гильз, состоящих из пяти типоразмеров, необходимо подвергнуть испытанию только самую большую соединительную гильзу, самую маленькую соединительную гильзу и одну соединительную гильзу репрезентативного промежуточного размера.

Исключение 2: для группы соединительных гильз, состоящих из четырех типоразмеров или менее, необходимо подвергнуть испытанию только самую большую и самую маленькую соединительные гильзы;

- для соединительных гильз, у которых одна или обе стороны рассчитаны на различные номинальные сечения, а общее зажимное или обжимное устройство служит для соединения различных номинальных сечений, механические испытания токопроводящих жил с наибольшим и наименьшим номинальными сечениями должны проводиться в соответствии с разделом 7 для соединительных гильз, соответствующих классу 1;

- если соответствие настоящему стандарту будет достигнуто в результате успешного испытания соединительной гильзы, предназначенной для соединения механическим способом на круглых многопроволочных алюминиевых токопроводящих жилах, данные результаты типовых испытаний могут быть применены к однопроволочным алюминиевым токопроводящим жилам с таким же номинальным сечением;

- если соответствие настоящему стандарту подтверждено в результате успешного испытания соединительной гильзы с токопроводящей жилой с гидроизоляцией, то результаты распространяются на ту же токопроводящую жилу без гидроизоляции, но не на ту же токопроводящую жилу с различными типами гидроизоляции.

6 Электрические испытания

6.1 Установка

6.1.1 Общие положения

Для испытаний применяют изолированные токопроводящие жилы и с одинаковым номинальным сечением, и с одинаковой длиной.

Для каждой серии испытаний шесть соединительных гильз устанавливают на изолированные токопроводящие жилы в соответствии с инструкциями изготовителя.

На расстоянии не менее 100 мм от входа в соединительной гильзе изоляция может быть удалена для подготовки уравнителей в соответствии с приложением А.

Контрольная(ые) токопроводящая(ие) жила(ы) с сохраненной изоляцией также должна(ы) быть включена(ы) в испытательную цепь.

Для многопроволочных токопроводящих жил разность потенциалов между жилами в местах измерения потенциала может привести к погрешностям при измерении электрического сопротивления. Для снижения погрешности и обеспечения равномерного распределения тока в контрольной токопроводящей жиле и между соединительными гильзами в местах измерения потенциала применяют уравнители потенциала в соответствии с приложением А.

Рекомендуется подготовить уравнители на испытательной цепи перед установкой соединительных гильз.

Испытательную цепь размещают в месте, исключающем влияние движения воздуха на результат испытаний.

Температура окружающей среды в месте проведения испытаний должна составлять от 15 °С до 30 °С.

При монтаже испытательных объектов температура должна составлять (23 ± 3) °С. Испытуемые образцы выдерживают в течение времени, достаточного для достижения требуемой температуры монтажа.

При использовании однопроволочных токопроводящих жил точки измерения потенциалов располагают как можно ближе к соединительной гильзе, чтобы уменьшить значения l_a и l_b. Расстояние до

кабельного ввода соединительной гильзы, прокалывающей изоляцию, должно составлять не менее 10 мм, чтобы избежать какого-либо воздействия на соединительную гильзу, прокалывающую изоляцию путем разрезания изоляции кабеля при установке в положение измерения.

Испытательная цепь может иметь любую форму в соответствии с рисунком 3 или 4 при условии ее расположения, исключающем отрицательное воздействие со стороны пола, стены и потолка, других испытательных цепей и прилегающих испытательных ответвлений.

Для облегчения испытания соединительных гильз на короткое замыкание, соответствующих классу А, цепь допускается соединять, как показано на рисунке 3b). В этом случае соединительные гильзы не должны влиять на температуру испытуемых объектов при нагреве.

Повторное затягивание болтов или винтов испытуемых соединительных гильз не допускается.

Примечания

1 В приложении Н приведены электрические испытания многопроволочных соединительных гильз. Эти испытания не признаны на международном уровне и проводятся по согласованию с потребителем/изготовителем.

2 В приложении I даны рекомендации по моделированию нагрузок (связанных с номинальным сечением), действующих при монтаже соединительных гильз, прокалывающих изоляцию, пока кабели еще находятся в эксплуатации. Испытание проводят во время первоначальной установки соединительной гильзы, прокалывающей изоляцию в испытательный цикл, перед началом электрических испытаний.

6.1.2 Проходные соединительные гильзы

На испытательной цепи, приведенной на рисунке 3, указаны размеры, которые необходимо использовать.

6.1.3 Ответвительные соединительные гильзы

Если ответвительная соединительная гильза предназначена для соединения жилы ответвления номинальным сечением, равным номинальному сечению магистральной жилы, или номинальным сечением выше или ниже номинального сечения магистральной жилы, то ее рассматривают как проходную соединительную гильзу между магистральной и ответвительной жилами и применяют метод испытания проходных соединительных гильз и испытательную цепь, приведенную на рисунке 3 в). В других случаях испытательную цепь применяют в соответствии с рисунком 4. Если тип соединительной гильзы требует разрезания основной изолированной токопроводящей жилы, то та часть соединительной гильзы, которая выполняет функцию проходной соединительной гильзы, также должна быть испытана как проходная соединительная гильза.

6.2 Измерения

6.2.1 Общие положения

Измерения проводят на этапах всего испытания в соответствии с таблицей 2.

Примечание — Рекомендации по уменьшению неопределенности измерений приведены в приложении С.

6.2.2 Измерения электрического сопротивления

Измерения сопротивления проводят при постоянной температуре как в испытательной цепи, так и в помещении проведения испытаний. Температура окружающей среды в помещении должна составлять от 15 °С до 30 °С.

Рекомендуется проводить измерения при пропускании постоянного тока, составляющего до 10 % от расчетного тока при испытаниях на нагрев протекающим током, через соединенные гильзы и контрольную токопроводящую жилу без существенного превышения температуры и измерения разности потенциалов между двумя измерительными точками. Отношение разности потенциалов к постоянному току представляет собой электрическое сопротивление между этими двумя измерительными точками.

Для снижения погрешности измерения сопротивления рекомендуется устанавливать постоянное значение тока на одном и том же уровне на протяжении всего электрического испытания.

Для изолированных ответвлений, собранных в соответствии с рисунком 4, весь измерительный ток должен проходить через ту часть соединительной гильзы, разность потенциалов которой измеряется. Для этой цели могут быть предусмотрены выключатели или разъединяющие клеммы.

Термоэлектрические напряжения могут влиять на погрешность измерений при низком сопротивлении (порядка 10 мкОм). Для точности измерений рекомендуется выполнить два измерения сопротивления с изменением постоянного измерительного тока. Таким образом, среднее значение этих двух показаний является фактическим сопротивлением испытуемого образца.

Точки измерений должны соответствовать точкам, приведенным на рисунке 5 и в приложении В. Длины измеряются индивидуально для определения фактического сопротивления соединительной гильзы. При измерении сопротивления регистрируют температуру соединительной гильзы и контрольной токопроводящей жилы. Для непосредственного сравнения значения сопротивления температура должна быть снижена до 20 °С. Информация о рекомендуемом методе приведена в приложении В.

Измерения температуры в этих положениях проводят во время испытания на стойкость к циклическому воздействию температуры.

Показания косвенного сопротивления:

- при измерении напряжения погрешность прибора должна быть в пределах ±0,5 % или ±10 мкВ, принимая большее значение;
- при измерении тока погрешность прибора должна быть в пределах ±0,5 % или ±0,1 А, принимая большее значение.

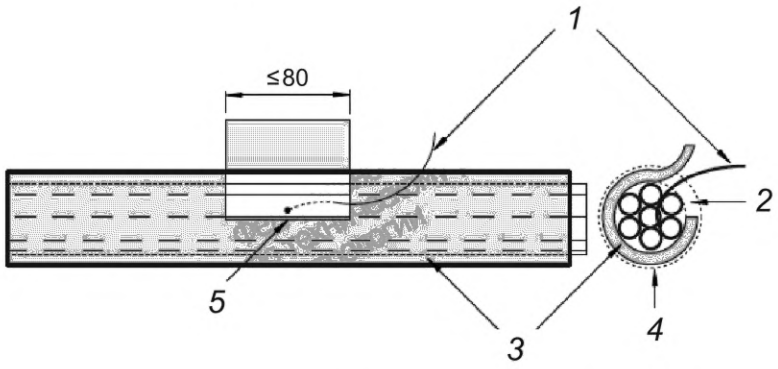
Прямое измерение сопротивления:

- погрешность прибора при измерении сопротивления должна составлять ±1 % или ±0,5 мкОм, принимая большее значение, при калибровке измерительного прибора сертифицированным, стандартным сопротивлением.

6.2.3 Измерение температуры

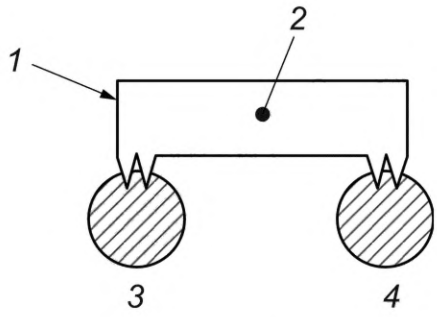
Температуру соединительных гильз и контрольных токопроводящих жил измеряют в местах, указанных на рисунке 1. Рекомендуется измерение температуры при помощи термопар. Измерения температуры должны иметь погрешность прибора в пределах ±2 K.

Рекомендуемое расположение и предпочтительные способы установки термопар описаны на рисунке 1, где приведены типичные примеры.



1 — термопара; *2* — открытое положение для установки термопары; *3* — изоляция токопроводящей жилы; *4* — клейкая лента (термопара и изоляция покрыты клейкой лентой в два слоя внахлест); *5* — небольшие отверстия в изоляции токопроводящей жилы

a) Положение термопары на многопроволочном изолированном контрольном кабеле



1 — металлический токоподводящий канал; *2* — положение термопары; *3* — основная токопроводящая жила; *4* — ответвительная токопроводящая жила

b) Положение термопары в соединительной гильзе, прокалывающей изоляцию

Рисунок 1 — Положение термопар

6.3 Испытание на стойкость к циклическому воздействию температуры

6.3.1 Общие положения

Испытание на стойкость к циклическому воздействию температуры проводят при переменном токе.

Испытания проводят при любом удобном напряжении.

Примечание — При использовании изделия в цепях постоянного тока испытания допускается проводить на постоянном токе.

6.3.2 Первый цикл нагрева

Целью первого цикла нагрева является определение температуры контрольной токопроводящей жилы, которая будет использоваться для последующих циклов, а также определение состояния установившегося значения температуры для соединительной гильзы, находящейся в средней точке испытательной цепи (см. 3.8).

Установившимся значение считается, когда измеренное значение температуры в изолированной контрольной токопроводящей жиле и соединительных гильзах не изменяется более чем на ±2 К/ч при протекании тока нагрева. Минимальное время нагрева до достижения установившегося значения температуры указано в таблице 1.

a) Проходные соединительные гильзы

Значение тока испытательной цепи устанавливают таким образом, чтобы температура изолированной контрольной токопроводящей жилы при установившемся значении температуры θ_R была на 10—15 К выше максимальной рабочей температуры токопроводящей жилы в нормальном режиме эксплуатации.

Если соединенные изолированные токопроводящие жилы имеют разную рабочую температуру (тип изоляции) или разное номинальное сечение, то ту из них, которая имеет наименьшую токопроводящую способность, используют в качестве контрольной в течение всего испытания.

b) Ответвительные соединительные гильзы

Значение тока устанавливают таким образом, чтобы температура каждого ответвления и основной изолированной контрольной токопроводящей жилы при установившемся значении температуры θ_R и θ_{Rb} была на 10—15 К выше максимальной рабочей температуры кабеля при нормальной эксплуатации. Для этого может потребоваться регулировать ток в отдельной ветви через определенные промежутки времени в течение всего испытания.

Таблица 1 — Минимальный период температурной стабильности

Номинальное сечение токопроводящей жилы A, мм^2	для алюминия	$A \le 300$	$300 < A \le 500$
	для меди	$A \le 240$	$240 < A \le 300$
Минимальный период, мин		15	20

6.3.3 Второй цикл нагрева

При помощи второго цикла нагрева определяют продолжительность цикла нагрева и теплового баланса, которые используют в испытательной цепи для всех последующих циклов нагрева.

Для проходных соединительных гильз ток подают по цепи до тех пор, пока температура изолированной контрольной токопроводящей жилы не достигнет значения θ_R, определенного в 6.3.2, а температура средней соединительной гильзы останется стабильной в пределах 2 К в течение 10 мин и не будет отличной более чем на 3 К по сравнению с температурой, измеренной во время первого цикла нагрева.

Для ответвительных соединительных гильз, в которых используют схему, показанную на рисунке 4, ток пропускают до тех пор, пока температура контрольной изолированной токопроводящей жилы ответвления не достигнет значения θ_{Rb} на 10—15 К выше максимальной температуры кабеля при нормальной эксплуатации, а температура основной изолированной контрольной токопроводящей жилы θ_R не достигнет значения в пределах 5 К и на 15 К выше максимальной температуры токопроводящей жилы при нормальной эксплуатации.

Температура средней соединительной гильзы остается стабильной в пределах 2 К в течение 10 мин и отличается не более чем на 3 К по сравнению с температурой, измеренной во время первого цикла нагрева.

В начале цикла нагрева для сокращения периода нагрева допускается использовать повышенный ток до 150 % от I_N.

Далее значение тока снижают или регулируют до среднего значения тока, близкого к I_N, для обеспечения стабильной температуры в течение периода контроля среднего значения температуры соединительной гильзы. Возможно, потребуется использовать более одного цикла для определения второго цикла нагрева.

Температура контрольной токопроводящей жилы является контрольным параметром для поддержания теплового баланса во время испытания на стойкость к циклическому воздействию температуры. В этом случае колебания температуры окружающей среды не будут влиять на температуру контрольной токопроводящей жилы в пределах допусков, приведенных в настоящем стандарте.

Значение теплового баланса изолированной контрольной токопроводящей жилы, включающего диапазон изменения температуры во времени, как показано на рисунке 2, записывают и повторяют во всех последующих циклах нагрева.

За периодом нагрева t_1 следует период охлаждения t_2, чтобы довести температуру всех соединительных гильз и изолированной контрольной токопроводящей жилы до значений не выше 35 °С.

В последующих циклах нагрева может возникнуть необходимость в регулировке t_2 для обеспечения достижения температурных условий, в частности, при измерении сопротивления в соответствии с требованиями 6.2.2.

Если используют ускоренное охлаждение, оно должно воздействовать на всю цепь, допускается использовать воздух в пределах температуры окружающей среды.

Общий период $t_1 + t_2$ составляет тепловой цикл (см. рисунок 2).

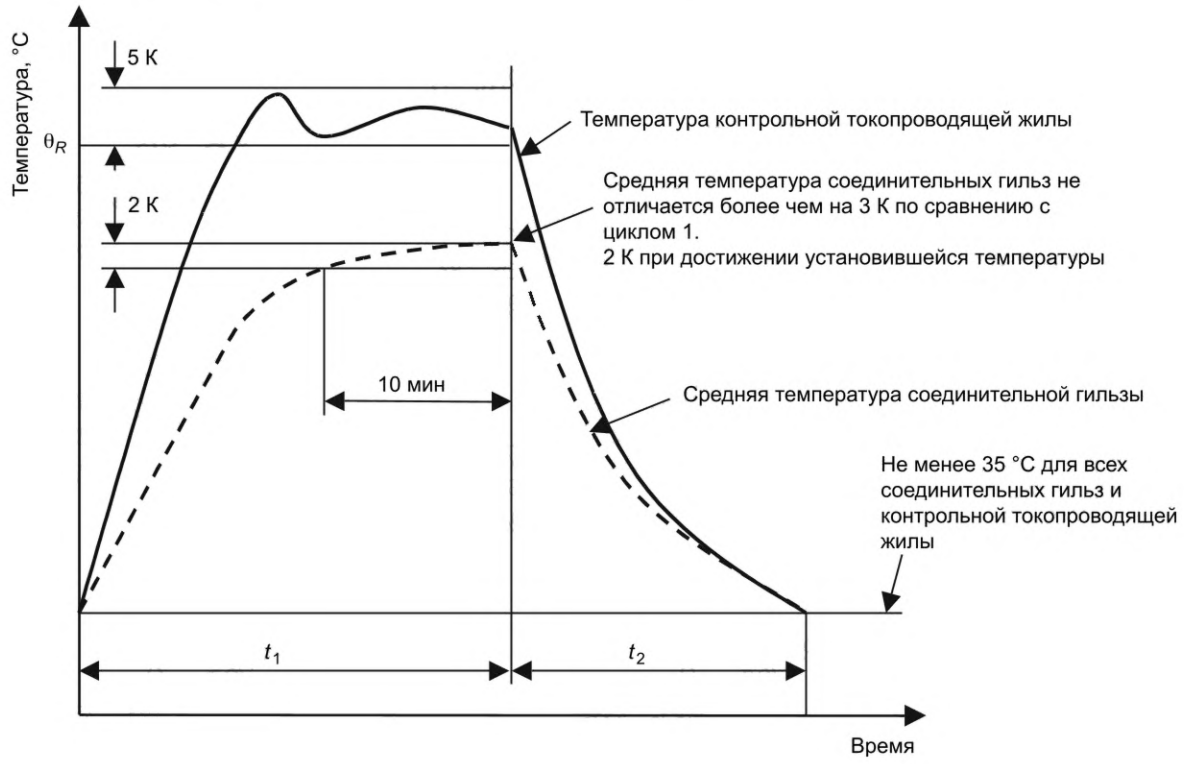


Рисунок 2 — Пример графика второго теплового цикла

6.3.4 Последующие тепловые циклы

В соответствии с 6.3.3 выполняют в общей сложности 1000 циклов нагрева. По истечении периода охлаждения, указанного в таблице 2, сопротивление и температуру каждой соединительной гильзы и каждой изолированной контрольной токопроводящей жилы регистрируют, как описано в 6.2. Максимальную температуру каждой соединительной гильзы в течение цикла, непосредственно предшествующего или следующего за циклом нагрева, в том числе значения сопротивления, записывают в журнал испытаний.

Таблица 2 — Измерения электрического сопротивления во время электрического испытания

Класс А	Класс В
Цикл № 0, перед первым циклом нагрева (см. 6.3.2)	Цикл № 0, перед первым циклом нагрева (см. 6.3.2)
После цикла № 200, перед испытанием на короткое замыкание	—
После цикла № 200 и после испытания на короткое замыкание	—
После цикла № 250[a)]	После цикла № 250[a)]
Затем через 75 циклических интервалов[a)]	Затем после 75 циклических интервалов[a)]
(Всего 14 измерений)	(Всего 12 измерений)
[a)] Для сбора данных измерений допускается проводить ±10 циклов.	

6.4 Испытание соединительных гильз на стойкость к воздействию короткого замыкания в соответствии с классом А

Испытание на стойкость к воздействию короткого замыкания проводят переменным током.

После завершения 200 циклов нагрева на каждую соединительную гильзу подают ток короткого замыкания шесть раз.

После каждого прохождения тока короткого замыкания испытательную цепь охлаждают до температуры, равной или ниже 35 °С.

Измеряют начальную температуру изолированной контрольной токопроводящей жилы, значение тока и время его воздействия, а также интеграл Джоуля каждого прохождения тока короткого замыкания, данные заносят в протокол испытания.

Если для подключения различных токопроводящих жил в ходе одного и того же испытания используют соединительные гильзы, то в качестве контрольной токопроводящей жилы используют токопроводящую жилу с наименьшим расчетным испытательным током короткого замыкания.

При использовании ответвительных соединительных гильз ток короткого замыкания подают от основной токопроводящей жилы к ответвительной токопроводящей жиле для каждой испытуемой соединительной гильзы.

В соответствии с 6.1.1 для проведения испытания испытательная цепь может быть разобрана. Поскольку испытание на короткое замыкание предназначено только для воспроизведения теплового воздействия значительных токов, рекомендуется использовать круглые токопроводящие жилы для уменьшения электродинамических воздействий. Порядок проведения испытаний должен быть описан в протоколе испытаний.

Величину испытательного тока короткого замыкания выбирают с учетом обеспечения повышения температуры изолированной контрольной токопроводящей жилы значением температуры от не выше 35 °С до температуры между максимально допустимой температурой изоляции и максимально допустимой температурой изоляции +20 К.

Продолжительность испытательного тока короткого замыкания должна составлять от *0,9* до *1,5* с при максимальном токе 25 кА.

Если требуемый испытательный ток короткого замыкания превышает это значение, следует использовать более длительное испытание продолжительностью не более 5 с током от 25 до 45 кА.

Минимальное значение адиабатического интеграла Джоуля $I^2_{AD}t$, повышающего температуру контрольной токопроводящей жилы до максимально допустимой температуры изоляции и максимальное значение адиабатического интеграла Джоуля $I^2_{AD}t$, необходимое для достижения конечной температуры изоляции 20 К, рассчитывают по формуле (*D.1*).

Адиабатический интеграл Джоуля $I^2_{AD}t$, используемый для каждого приложения тока короткого замыкания во время испытания на короткое замыкание должен находиться между обоими предыдущими рассчитанными значениями интегралов Джоуля $I^2_{AD}t$.

При определении среднеквадратичного значения тока короткого замыкания следует использовать прибор, учитывающий постоянную составляющую тока. В качестве альтернативы определение I^2t мо-

жет быть получено с помощью метода, описанного в приложении E, при этом следует учитывать, что этот метод не учитывает постоянную составляющую тока.

Примечания

1 Измеренная конечная контрольная температура токопроводящей жилы может быть записана в протоколе испытания для информации.

2 Для возможности обеспечения регулировки тока при испытании на короткое замыкание ток первого испытания на короткое замыкание допускается увеличить до достижения максимально допустимой температуры изоляции +30 К.

6.5 Оценка результата

Коэффициент сопротивления отдельной соединительной гильзы k позволяет использовать общий метод оценки соединительной гильзы в диапазоне номинального сечения токопроводящей жилы, применимый к данному стандарту. Перечисленные ниже параметры рассчитывают в соответствии с приложением F:

a) коэффициент сопротивления соединительной гильзы k рассчитывают в соответствии с F.3 для каждой из шести соединительных гильз при всех интервалах измерений, перечисленных в таблице 2;

b) начальная погрешность δ между шестью начальными значениями k_0, измеренными перед циклическим нагревом, рассчитывают в соответствии с F.4;

c) среднее значение погрешности β между шестью значениями k, усредненное за последние 11 интервалов измерений, рассчитывают в соответствии с F.5;

d) изменение коэффициента сопротивления D для каждой из шести соединительных гильз рассчитывают в соответствии с F.6. D — это изменение значения k за последние 11 интервалов измерения, рассчитанное как доля от среднего значения k в данном интервале;

e) коэффициент сопротивления λ рассчитывают в соответствии с F.7.

f) максимальную температуру θ_{max} на каждой соединительной гильзе регистрируют в соответствии с F.8.

Примечание — Пояснения по оценке результатов электрического испытания соединительных гильз приведены в приложении G.

6.6 Требования

Шесть соединительных гильз должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 3. Если одна из шести соединительных гильз не соответствует одному или нескольким требованиям, проводят повторное испытание. В этом случае все шесть новых соединительных гильз должны соответствовать требованиям.

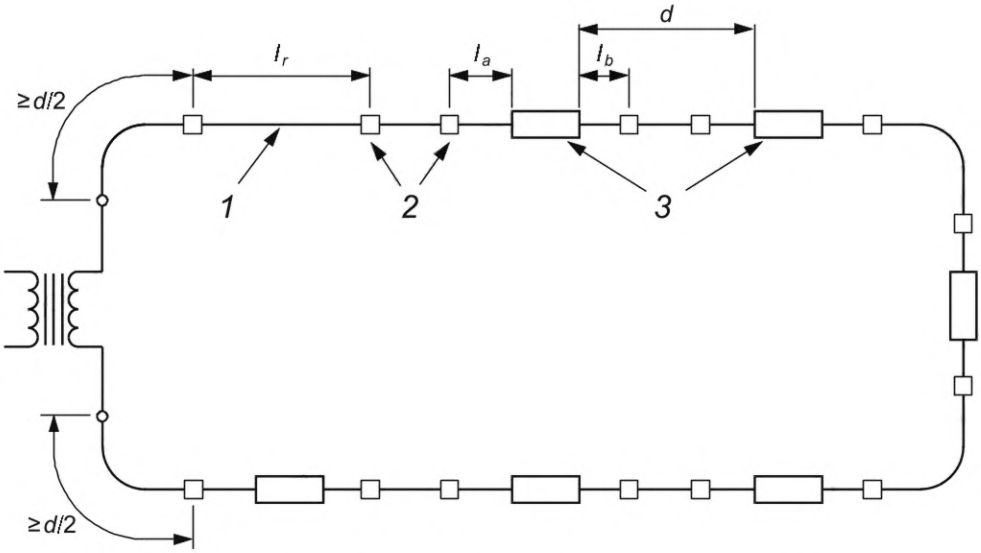
Если более чем одна из шести соединительных гильз не удовлетворяет одному или нескольким требованиям, повторное испытание не допускается и считается, что тип соединительной гильзы не соответствует требованиям настоящего стандарта.

Таблица 3 — Требования к электрическим испытаниям

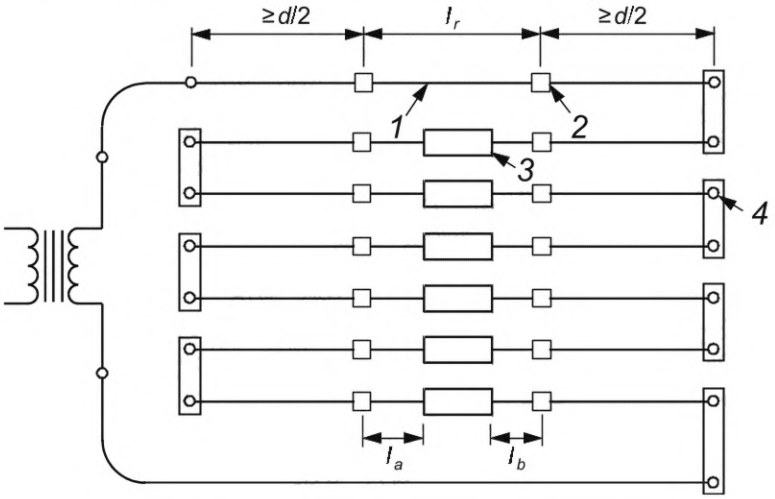
Параметры	Обозначение	Ссылка по тексту	Максимальное значение
Начальная погрешность	δ	Пункт F.4	0,30
Средняя погрешность	β	Пункт F.5	0,30
Изменение коэффициента сопротивления	D	Пункт F.6	0,15
Коэффициент сопротивления	λ	Пункт F.7	2,0
Максимальная температура	θ_{max}	Пункт F.8	θ_{ref}
Примечание — Указанные значения основаны на практике.			

6.7 Примеры схем электрических испытательных цепей и связанных с ними параметров

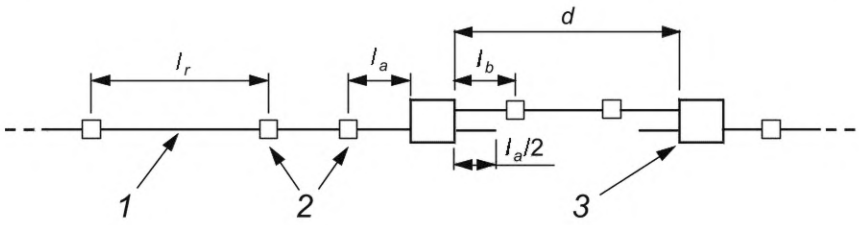
См. рисунки 3—5.



a) Проходные соединительные гильзы — основная испытательная цепь



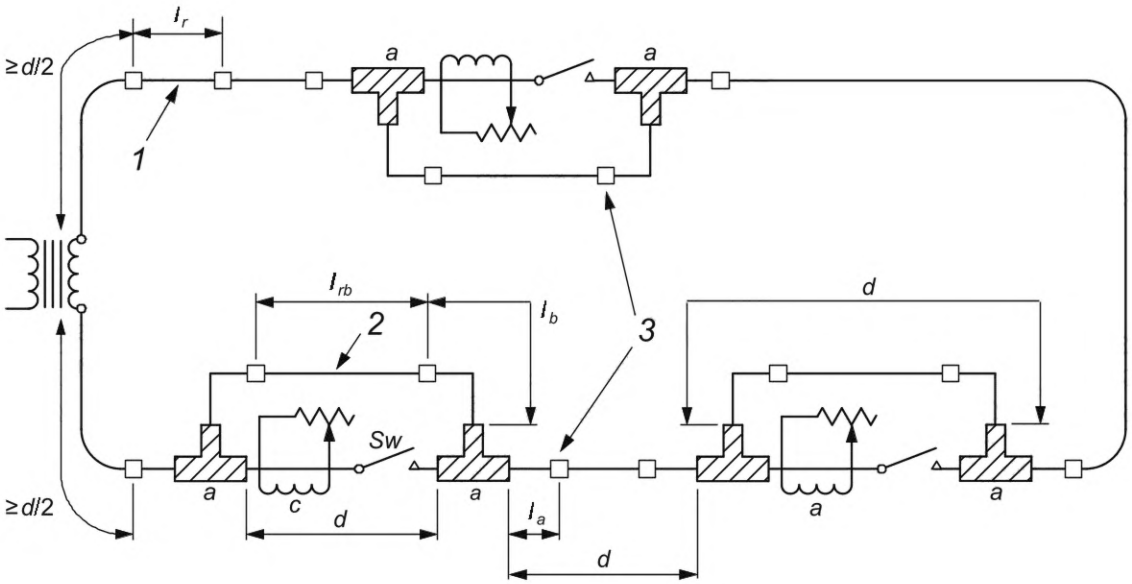
b) Проходные соединительные гильзы с разъемными секциями согласно 6.1.1



c) Ответвительные соединительные гильзы, подлежащие испытанию в качестве проходных соединительных гильз в соответствии с 6.1.3

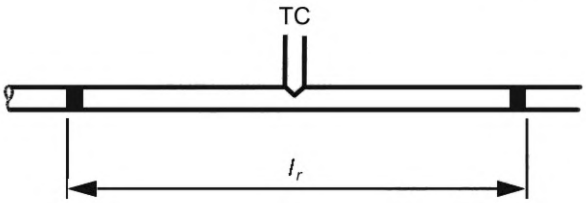
1 — изолированная контрольная токопроводящая жила; *2* — уравнители (для изолированных многопроволочных токопроводящих жил); *3* — проходные соединительные гильзы; *4* — разъединительные клеммы, где $d \geq 80\ \sqrt{A}$ или 500 мм, в зависимости от того, что больше; *A* — номинальное сечение соответствующей изолированной токопроводящей жилы, мм^2; $l_r \geq l_a + l_b + l_j$ (для l_j см. рисунок 5); для многопроволочных токопроводящих жил: l_a, $l_b \approx 15\ \sqrt{A}$ или 150 мм, в зависимости от того, что больше

Рисунок 3 — Стандартные электрические испытательные цепи для проходных соединительных гильз, установленных на изолированных токопроводящих жилах



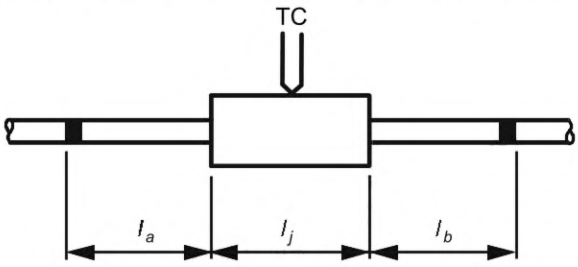
1 — главная изолированная контрольная токопроводящая жила; *2* — изолированная контрольная токопроводящая жила; *3* — уравнитель (для многопроволочных токопроводящих жил); *a* — ответвительная соединительная гильза; *c* — точка измерения и контроля тока; S_w — переключатель (для измерения сопротивления ответвления), следует использовать расстояние *d*/2 между выключателем и соединительной гильзой, где $d \geq 80\sqrt{A}$ или 500 мм, в зависимости от того, что больше; *A* — номинальное сечение соответствующей токопроводящей жилы, мм^2; l_r, $l_{rb} \geq l_a + l_b + l_j$ (для l_j см. рисунок 5); для изолированных многопроволочных токопроводящих жил: l_a, $l_b \approx 15\sqrt{A}$ или 150 мм, в зависимости от того, что больше

Рисунок 4 — Стандартная электрическая испытательная цепь для ответвительных соединительных гильз, установленных на изолированных токопроводящих жилах



Формула: $R_r = \frac{U_r}{I_r} \cdot \frac{1}{1+\alpha(\theta_r - 20)}$.

a) Изолированная контрольная токопроводящая жила

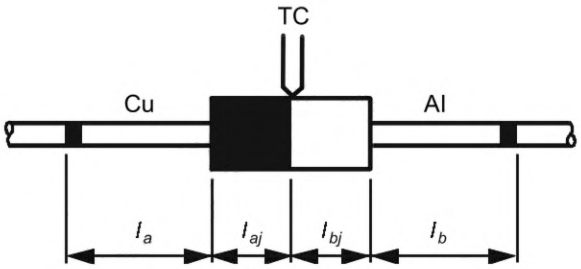


Формулы: $R_j = R - R_r \cdot \frac{(l_a + l_b)}{l_r}$;

$k = \frac{R_j}{R_r} \cdot \frac{l_r}{l_j}$.

Ссылка: одинаковая токопроводящая жила с обеих сторон.

b) Проходная соединительная гильза, установленная на изолированной токопроводящей жиле



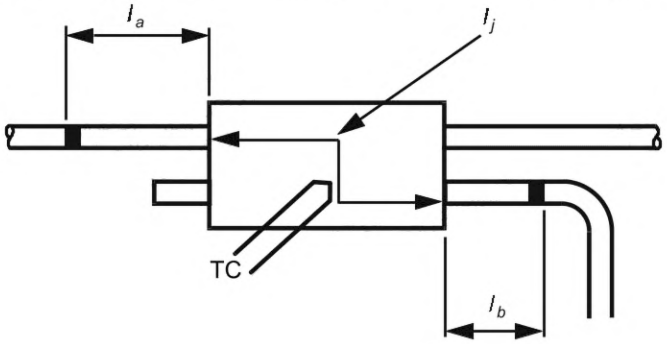
Формулы:

$$R_j = R - \left\{ \frac{R_r\text{Cu}}{l_r\text{Cu}} \cdot l_a + \frac{R_r\text{Al}}{l_r\text{Al}} \cdot l_b \right\};$$

$$k = \frac{R_j}{\frac{R_r\text{Cu}}{l_r\text{Cu}} \cdot l_{aj} + \frac{R_r\text{Al}}{l_r\text{Al}} \cdot l_{bj}}.$$

Ссылки: медная и алюминиевая токопроводящие жилы.

c) Биметаллическая проходная соединительная гильза, установленная на изолированной токопроводящей жиле



Формулы:

$$R_j = R - \left\{ \frac{R_r\,\text{основной}}{l_r\,\text{основной}} \cdot l_a + \frac{R_r\,\text{ответвление}}{l_r\,\text{ответвление}} \cdot l_b \right\};$$

$$k = \frac{R_j}{R_r\,\text{ответвление}} \cdot \frac{l_r\,\text{ответвление}}{l_j}.$$

Ссылки: основная и ответвительная токопроводящие жилы.

d) Ответвительная соединительная гильза, установленная на изолированной токопроводящей жиле

TC — позиции измерения температуры; дополнительная информация приведена на рисунке 1

Рисунок 5 — Стандартные примеры измерения температуры

7 Механические испытания

7.1 Общие положения

Испытания проводят для определения механической прочности соединительных гильз с токопроводящими жилами.

Примечание — Механическое испытание не подтверждает, что соединительная гильза сможет выполнить требования электрического испытания.

7.2 Метод

Испытание проводят на трех дополнительных соединительных гильзах, имеющих ту же комбинацию изолированных токопроводящих жил и процедуру установки, что и при электрическом испыта-

нии. Рекомендуемая длина изолированной токопроводящей жилы между соединительной гильзой или между соединительными гильзами и зажимами испытательной машины на растяжение составляет от 500 мм. Скорость приложения нагрузки не должна превышать 10 Н на квадратный миллиметр номинального сечения и составлять в секунду до 25 % от значения, указанного в таблице 4, для размера изолированной токопроводящей жилы относительно соединительной гильзы, затем до значения, указанного в таблице 4, которое затем поддерживается в течение 1 мин.

Допустимое отклонение для приложения механической нагрузки должно быть в пределах ±5 %.

Если оси двух изолированных токопроводящих жил не совпадают, соединительную гильзу закрепляют и прикладывают усилие по оси зажимного канала к каждой токопроводящей жиле.

Для каждого испытания на растяжение используют один образец соединительной гильзы.

Например, для ответвительной соединительной гильзы, как показано на рисунке 5d), требуются шесть соединительных гильз, три образца для испытания основной изолированной токопроводящей жилы и три соединительные гильзы — для ответвительной изолированной токопроводящей жилы.

Если соединительная гильза подвергается электрическому испытанию на соответствие изолированных токопроводящих жил с различным номинальным сечением, то три соединительные гильзы испытывают по отдельности с использованием той же изолированной токопроводящей жилы, которая использовалась при электрическом испытании, в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 — Выбор значений усилия растяжения для механических испытаний

Класс	Материал токопроводящей жилы	Номинальное сечение A, мм^2	Растягивающее усилие, Н
Класс 0	Алюминий	—	Испытания отсутствуют
	Медь	—	Испытания отсутствуют
Класс 1	Алюминий	≤ 500	40 × A
	Медь	≤ 300	60 × A

7.3 Требования

В течение последней минуты испытания должно произойти смещение жилы из корпуса гильзы не более чем на 3 мм. Смещение жилы должно быть не более 3 мм в течение одной минуты приложения усилия растяжения.

8 Протоколы испытаний

8.1 Общие положения

Результаты типовых испытаний в соответствии с настоящим стандартом указывают в отдельных протоколах испытаний.

8.2 Электрические испытания

В протоколе испытаний должна быть приведена следующая информация:

- класс соединительной гильзы (см. 5.1);
- используемая токопроводящая жила (см. 5.2);
- порядок подключения и установки (см. 5.3);
- метод измерения температуры (см. 6.2.3);
- ток I_N при установившейся температуре (см. 6.3.2);
- параметры испытания на короткое замыкание для класса А (см. 6.4);
- конфигурация испытательной цепи;
- значения и график зависимости коэффициента сопротивления соединительной гильзы k от номера цикла (см. 6.5);
- значения и график зависимости максимальных температур от номера цикла (см. 6.3.4);
- результаты электрического испытания (см. таблицу 3).

Рекомендуется показать график теплового баланса второго цикла (см. 6.3.3).

8.3 Механические испытания

В протоколе испытаний должна быть приведена следующая информация (см. 8.2):
- класс соединительной гильзы (см. 5.1);
- используемая токопроводящая жила (см. 5.2);
- соединительная гильза и процедура установки (см. 5.3);
- результаты механических испытаний.

Приложение А
(обязательное)

Уравнители и их подготовка

А.1 Требования к уравнителям

Для многопроволочных и гибких токопроводящих жил разность потенциалов между жилами в местах измерения может привести к погрешностям при измерении электрического сопротивления.

По этой причине устанавливают уравнители, требования к которым следующие:

- для обеспечения точности измерений электрического сопротивления необходимо обеспечить электрическое соединение всех жил;
- необходимо обеспечить термомеханическую прочность на протяжении всего электрического испытания, включая испытание на короткое замыкание, если это применимо (например, избегая чрезмерного отжига или сжатия жил во время подготовки уравнителей и обеспечивая достаточный токоподводящий объем);
- следует избегать теплового воздействия на соединительную гильзу или показания температуры контрольной изолированной токопроводящей жилы при нагреве током (например, за счет использования объемных уравнителей).

Для решения этой проблемы и обеспечения равномерного распределения тока при измерении сопротивления допускается использовать сварные, паяные или гофрированные уравнители.

Для обеспечения надежности измерений рекомендуется использовать сварку уравнителей с изолированными многопроволочными токопроводящими жилами.

Допускается применять другие методы при условии, что они дают сопоставимые результаты и не влияют на температуру соединительных гильз или изолированной контрольной токопроводящей жилы.

А.2 Рекомендации по уравнителям, устанавливаемым с помощью сварки

Для подготовки уравнителей с токопроводящей жилы снимают изоляцию. После подготовки уравнителей изоляция должна быть восстановлена надлежащими способами (например, с помощью самоклеящейся ленты, оригинальной изоляции), чтобы восстановить свои первоначальные тепловые свойства и, следовательно, не влиять на температуру соединительных гильз или изолированной контрольной токопроводящей жилы.

Материал для сварки должен быть таким же, как и материал токопроводящей жилы.

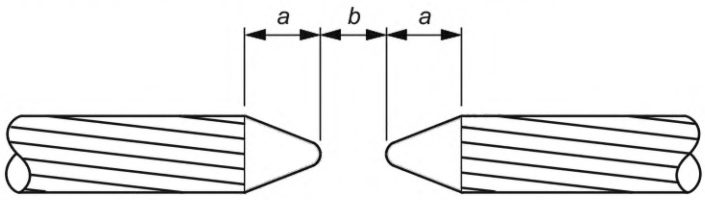
Токопроводящие жилы разрезают под прямым углом, зачищают концы от изоляции и расплавляют их с помощью сварочной горелки до сваривания проволоки вместе. Наращивают сварной шов до получения размеров фаски.

Длина фаски обозначается как *a*, а расстояние между токопроводящими жилами для окончательной сварки — как *b*.

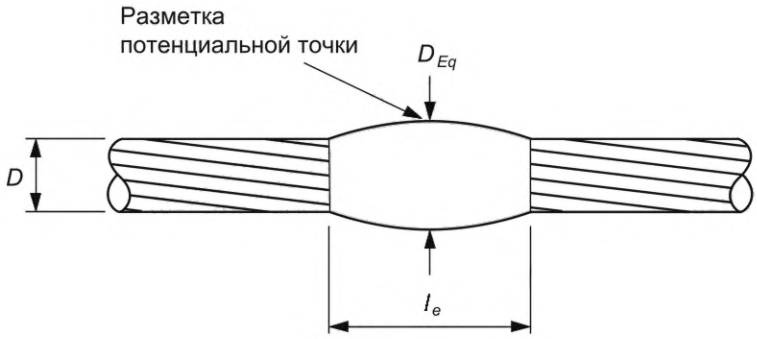
Расположив токопроводящие жилы на расстоянии, соответствующем размерам *b*, выравнивают металл шва по центру и поворачивают токопроводящие жилы таким образом, чтобы получить равномерный круговой профиль шва.

Необходимо проконтролировать, чтобы токопроводящая жила, удаленная от торцов, осталась достаточно холодной, во избежание изменения механических свойств токопроводящей жилы в области, где будет осуществляться контакт.

Размеры уравнителя должны соответствовать показанным на рисунке А.1.



а) Подготовленные концы



b) Сварной/припаянный уравнитель

Примечание — Для круглой формы $D \le D_{Eq} \le 1{,}4 \cdot D$,
$l_e \le 1{,}5 \cdot D + 10$ мм;
для секторальной формы $H \le H_{Eq} \le 1{,}4 \cdot H$ и $W \le W_{Eq} \le 1{,}4 \cdot W$,
$l_e \le 1{,}5 \cdot H + 10$ мм.

a — длина фаски; *b* — разделение токопроводящей жилы; *D* — диаметр токопроводящей жилы; D_{Eq} — диаметр уравнителя; l_e — длина уравнителя; *H* — высота сектора; *W* — ширина сектора

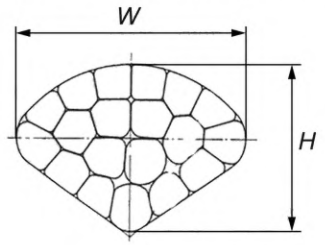


Рисунок А.1 — Установка уравнителей

Приложение B
(обязательное)

Измерения

B.1 Точки измерения для типовых соединительных гильз

Места измерения потенциала для измерения сопротивления показаны на рисунке 5. Места измерения потенциала на одножильных изолированных токопроводящих жилах располагают рядом с соединительной гильзой, прокалывающей изоляцию, но расстояние до кабельного ввода соединительной гильзы, прокалывающей изоляцию, должно составлять не менее 10 мм.

Для изолированных многопроволочных токопроводящих жил точкой измерения потенциала является средняя точка уравнителя, которая должна находиться на расстоянии 15 $\sqrt{A}$ мм или 150 мм, в зависимости от того, что больше, от соединительной гильзы. Фактические длины l_a и l_b могут варьироваться в зависимости от условий реального испытания на каждой соединительной гильзе. Поэтому необходимо учитывать эти индивидуальные показания при расчете сопротивления для каждой отдельной соединительной гильзы.

B.2 Измерение температуры

Между соединением термопары и объектом измерения устанавливают хороший тепловой контакт.

Термопару изолированной контрольной токопроводящей жилы [см. рисунок 5a)] устанавливают в средней точке и закрепляют либо в небольшом отверстии, просверленном в однопроволочной токопроводящей жиле, либо путем соединения с проволоками наружного повива многопроволочной токопроводящей жилы.

В случае соединительных гильз [см. рисунки 5b) — 5d)] термопару устанавливают в небольшое отверстие, просверленное в основном корпусе соединительной гильзы, либо прикрепляют к внешней поверхности с помощью теплопроводящего клея или самоклеящейся термоленты.

В последнем случае количество клея или скотча, используемых для установки термопары, не должно влиять на рассеивание тепла в соединительной гильзе.

B.3 Эквивалентное сопротивление токопроводящих жил

Необходимо измерить сопротивление изолированной контрольной токопроводящей жилы известной длины и ее температуру [см. рисунок 5a)]; для расчета фактического сопротивления соединительной гильзы R_j вычитают сопротивление, соответствующее длинам токопроводящих жил l_a и l_b. Размеры, которые необходимо записать, показаны на рисунке 5.

Следует отметить, что в случае ответвительных соединительных гильз при расчете фактического сопротивления соединительной гильзы используют сопротивления как основной, так и ответвительной изолированных контрольных токопроводящих жил [см. рисунок 5d)].

Необходимо измерять сопротивление изолированной контрольной токопроводящей жилы при каждом измерении сопротивления соединительной гильзы. Все измеренные значения сопротивления изолированной контрольной токопроводящей жилы (с поправкой на температуру) должны быть стабильными на протяжении всего испытания, чтобы показать, что уравнители достаточно стабильны. Для определения параметра k (см. приложение F) важно, чтобы во время измерения сопротивления изолированной контрольной токопроводящей жилы и все соединительные гильзы находились в диапазоне температур окружающей среды, указанном в 6.2.2.

Приложение С
(рекомендуемое)

Рекомендации по уменьшению погрешностей измерений

С.1 Управление испытательной цепью

Изгиб или вибрация при транспортировании и погрузочно-разгрузочных работах могут привести к возникновению механических воздействий, которые влияют на контактное сопротивление испытуемых объектов, и их следует избегать.

На протяжении всего испытания следует использовать одни и те же возможные положения для измерения, они должны быть четко обозначены, поскольку расчеты всегда основаны на исходной ситуации.

Рекомендуется проверить положения измерительных приборов, особенно после проверки на короткое замыкание.

С.2 Измерения, приборы и показания

Для проведения измерений сопротивления изолированных многопроволочных токопроводящих жил допускается использовать расстояния между любыми уравнителями в испытательной установке, где не установлены соединительные гильзы.

Все записанные значения должны показывать требуемую стабильность работы уравнителей на протяжении всего испытания.

Проверяют точность калибровки или выполняют калибровку каждого прибора перед испытанием. По возможности калибруют всю измерительную цепь.

Для измерения тока в испытательную цепь включают эталонный шунт.

Рекомендуется использовать один и тот же прибор для измерения напряжения (ΔU DC), тока (ΔU DC шунта) и температуры (ΔU DC на выходе термопары).

Для калибровки прибора для измерения напряжения или непосредственного измерения сопротивления допускается использовать откалиброванное сопротивление, значения которого указывают в том же порядке, что и показания прибора. До, во время и после испытания необходимо выполнить проверку.

Рекомендуется:

- использовать одни и те же приборы на протяжении всего испытания;
- избегать замены каких-либо приборов, поскольку изменение систематической неопределенности может повлиять на оценку результатов измерений;
- использовать автоматическое сохранение измеренных значений во избежание ошибок копирования;
- использовать для расчетов проверенную компьютерную программу, чтобы избежать случайных ошибок.

При расчете значения k допускается использовать измеренные значения сопротивления изолированной контрольной токопроводящей жилы и соединительных гильз без какой-либо температурной коррекции, при условии, что сопротивление изолированной контрольной токопроводящей жилы не изменяется во время испытания, а температура всех частей испытательной цепи одинакова и находится в стабильных условиях в момент измерения сопротивления.

Следует приложить все усилия, чтобы избежать ложных показаний.

Приложение D
(обязательное)

Адиабатическое значение температуры при токах короткого замыкания

Общая формула адиабатического повышения температуры, которая применима к любой начальной температуре, выглядит следующим образом:

$$I_{AD}^2 t = K^2 S^2 \ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right), \qquad (D.1)$$

где I_{AD} — ток короткого замыкания (среднеквадратичное значение за время), рассчитанный по адиабатическому принципу А;

t — продолжительность короткого замыкания, с;

K — постоянная, зависящая от материала токопроводящей жилы, $As^{1/2}/мм^2$, см. таблицу D.1 для нормативных значений K;

S — номинальное сечение токопроводящей жилы, $мм^2$;

θ_f — конечная температура, °С;

θ_i — начальная температура, °С;

β — обратная величина температурного коэффициента сопротивления токопроводящей жилы при 0 °С (К), нормативные значения β приведены в таблице D.1;

ln — $\log_e$.

Таблица D.1 — Свойства материалов

Материал	K, $As^{1/2}/мм^2$	β, К
Медь	226	234,5
Алюминий	148	228

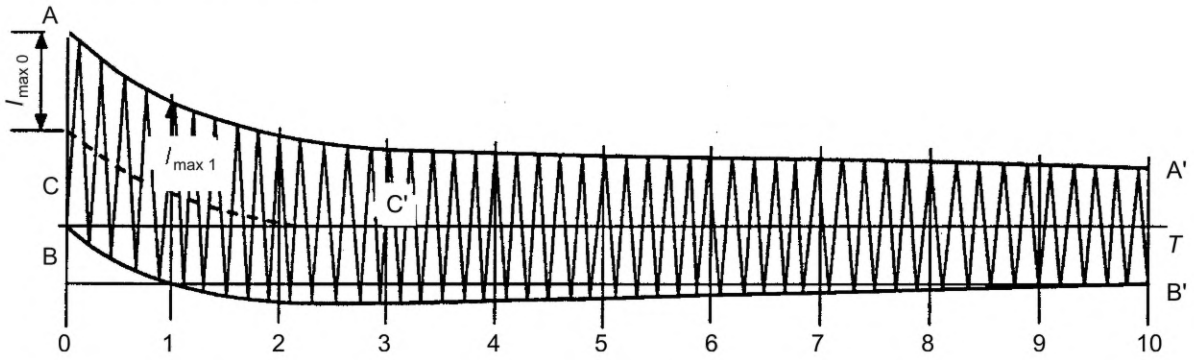
Измерение конечной температуры токопроводящей жилы во время испытания на короткое замыкание показал, что фактическая конечная температура токопроводящих жил для малых сечений значительно выше значений, полученных с применением расчетного метода с использованием номинального сечения. Поэтому для предотвращения перегрева значение номинального сечения S необходимо определять с учетом токопроводимости материала и длины токопроводящей жилы. Фиксированная длина токопроводящей жилы не должна быть менее длины контрольной токопроводящей жилы l_r или 1000 мм, в зависимости от того, что больше.

Примечание — Приложение D основано на разделе 3 и таблице 1 *ГОСТ Р МЭК 60949—2009*, в котором приведен полный метод расчета. Этот метод следует использовать в том числе для сплавов.

Приложение Е
(рекомендуемое)

Определение величины тока короткого замыкания

При отсутствии постоянного симметричного среднеквадратичного значения тока в течение короткого времени эквивалентное среднеквадратичное значение допускается определять по осциллограмме, используя метод, описанный ниже (см. рисунок Е.1).



AA' и BB' — огибающие волны тока; CC' — смещение нулевой линии волны тока от нормальной нулевой линии в любой момент времени; I_0.... I_i — среднеквадратичное значение переменной составляющей тока в любой момент, отсчитываемое от нормального нуля (постоянной составляющей CC' пренебрегают); I_{max0} — пиковое значение переменной составляющей тока в момент начала короткого замыкания; BT — продолжительность короткого замыкания

Рисунок Е.1 — Определение эквивалентного среднеквадратичного значения тока при испытании на короткое замыкание

Общее время BT испытания делят на 10 равных частей вертикалями от 0 до 1...10 и пиковое значение переменной составляющей тока измеряют на этих вертикалях.

Эти значения обозначаются следующим образом: I_{max0}, I_{max1}, I_{max2}, ..., I_{max10}.

Тогда эффективные значения составляют: $I_i = I_{maxi}/\sqrt{2}$.

Эквивалентный среднеквадратичный ток в течение времени BT вычисляют по формуле:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{30} I_0^2 + 4\left(I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2\right) + 2\left(I_2^2 + I_4^2 + I_6^2 + I_8^2\right) + I_{10}^2}. \qquad (E.1)$$

Примечание — Приложение Е соответствует приложению G *[1]*.

Приложение F
(обязательное)

Метод расчета

F.1 Общие положения

Проводят статистическую оценку в соответствии с [2].

F.2 Выполненные измерения

Для циклов, перечисленных в таблице 2, при температуре окружающей среды проводят следующие измерения испытательной цепи (см. 6.2 и приложение В):

U — разность потенциалов между измерительными позициями, проходящими через каждую соединительную гильзу;

I — постоянный ток в момент измерения U;

θ — температура каждой соединительной гильзы в момент измерения U;

U_r — разность потенциалов между позициями измерения на контрольной токопроводящей жиле;

I_r — постоянный ток в момент измерения U_r;

θ_r — температура контрольной токопроводящей жилы в момент измерения U_r.

Приведенный метод является рекомендуемым. В качестве альтернативы допускается использовать прямые измерения сопротивления R и R_r для любого из указанных выше значений U/I.

Кроме того, регистрируют результаты измерений температуры θ на каждой соединительной гильзе и θ_r на контрольной токопроводящей жиле во время цикла нагрева, предшествующего измерениям сопротивления или следующего за ними.

Измеряют расстояния l_a, l_b, l_j, l_r, указанные на рисунке 5, и используют их в течение всего испытания.

Расстояния измеряют с допуском ±2 мм для длины от 40 мм или ±5 % для длины менее 40 мм.

F.3 Коэффициент сопротивления соединительной гильзы *k*

Сопротивление R между точками измерения, охватывающими соединительную гильзу, при температуре 20 °С, составляет:

$$R = \frac{U}{I} \cdot \frac{1}{1+\alpha(\theta-20)}, \qquad (F.1)$$

где температурный коэффициент сопротивления α для целей настоящего стандарта считается одинаковым для меди и алюминия: α = 0,004 K^{-1}.

Сопротивление контрольной токопроводящей жилы R_r, указанное при температуре 20 °С, составляет:

$$R_r = \frac{U_r}{I_r} \cdot \frac{1}{1+\alpha(\theta_r-20)}. \qquad (F.2)$$

Тогда сопротивление соединительной гильзы R_j равно:

$$R_j = R - R_r \cdot \frac{(l_a+l_b)}{l_r}, \qquad (F.3)$$

и коэффициент сопротивления соединительной гильзы k:

$$k = \frac{R_j}{R_r} \cdot \frac{l_r}{l_j}. \qquad (F.4)$$

F.4 Начальная погрешность δ

Погрешность между шестью значениями k_0 (по одному значению для каждой соединительной гильзы) в цикле № рассчитывают по формуле

$$\bar{K}_0 = \frac{1}{6}\sum_{1}^{6} k_0, \qquad (F.5)$$

затем стандартное отклонение s_0 вычисляют по формуле

$$s_0 = \sqrt{\frac{1}{5}\sum_{1}^{6}\left(k_0 - \bar{K}_0\right)^2}, \qquad (F.6)$$

далее вычисляют δ по формуле

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{6}}\frac{s_0}{\bar{K}_0}t_s, \qquad (F.7)$$

где: t_s — коэффициент Стьюдента ($t_s = t_{5;0,995} = 4{,}032$ для двухстороннего доверительного уровня 99 % и пяти степеней свободы);

следовательно:

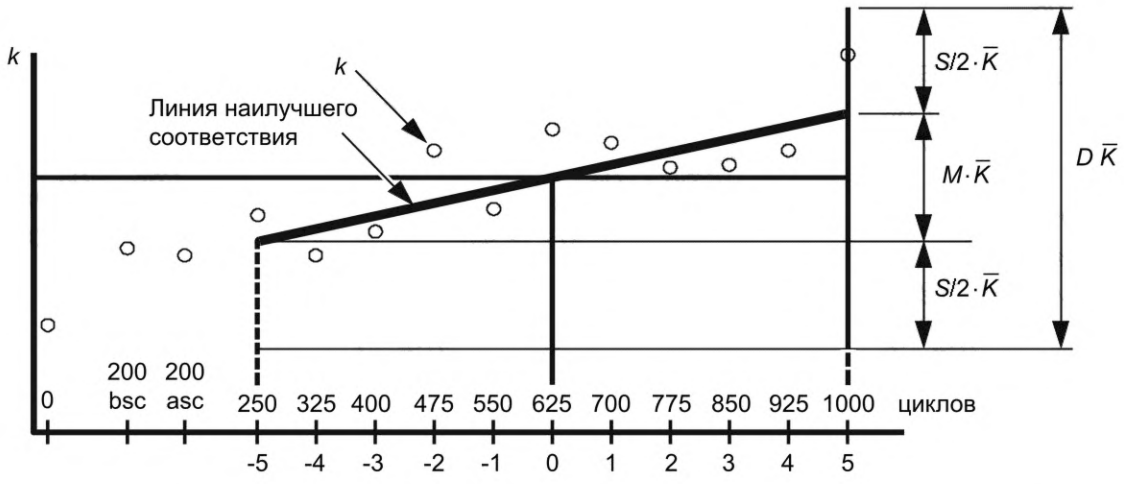
$$\delta = 1{,}65\frac{s_0}{\bar{K}_0}. \qquad (F.8)$$

F.5 Средняя погрешность β

Среднюю погрешность β определяют с использованием последних 11 показаний измерения сопротивления. Измерения 11 показаний начинают после 250-го цикла через каждые 75 циклов вплоть до 1000 циклов.

В отношении времени любого измерения допускается погрешность ±10 циклов, и в этом случае применимы статистические формулы, приведенные в настоящем стандарте. За пределами этого допуска необходима подробная статистическая обработка. Для удобства расчета начало координат перенесено в среднюю точку 11 показаний и введена статистическая переменная x (см. рисунок F.1).

Символ x имеет значения 0, ±1, ±2, ... , ±5.



bsc — перед испытанием на короткое замыкание; asc — после испытания на короткое замыкание

Рисунок F.1 — Графический пример оценки индивидуальной соединительной гильзы класса А

Для каждой соединительной гильзы рассчитывают среднее значение $\bar{k}$ в интервале x = от –5 до +5.

$$\bar{k} = \frac{1}{11}\sum_{-5}^{+5}k. \qquad (F.9)$$

Таким образом, получается шесть значений. Среднее из этих шести значений $\bar{K}$ равно:

$$\bar{K} = \frac{1}{6}\sum_{1}^{6}\bar{k}. \qquad (F.10)$$

Стандартное отклонение s вычисляют по формуле

$$s = \sqrt{\frac{1}{5}\sum_{1}^{6}\left(\bar{k} - \bar{K}\right)^2}, \qquad (F.11)$$

далее вычисляют β по формуле

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{6}}\frac{s}{\bar{K}}t_s, \qquad (F.12)$$

где t_s = 4,032 (как и ранее).

Следовательно:

$$\beta = 1{,}65\frac{s}{\bar{K}}. \qquad (F.13)$$

F.6 Изменение коэффициента сопротивления каждой соединительной гильзы

F.6.1 Общие положения

Для расчета возможного изменения коэффициента сопротивления соединительной гильзы за последние 11 измерений следует использовать метод наименьших квадратов для определения линии наилучшего прилегания.

К изменению коэффициента сопротивления этой линии добавляется значение, величина которого зависит от доверительного интервала погрешности значений коэффициента сопротивления относительно линии наилучшего соответствия.

F.6.2 Линия наилучшего соответствия

Наклон линии наилучшего соответствия в диапазоне от x = –5 до +5 определяют следующим образом:

$$b = \frac{\sum_{-5}^{+5} xk}{\sum_{-5}^{+5} x^2}. \qquad (F.14)$$

Таким образом, изменение коэффициента сопротивления M на единицу составляет:

$$M = 10\frac{b}{\bar{k}}, \qquad (F.15)$$

где $\bar{k}$ имеет значение, заданное уравнением *(F.9)*.

Параметр M оценивают для каждой из шести соединительных гильз.

F.6.3 Доверительный интервал δ_i

Доверительный интервал δ_i для изменения коэффициента сопротивления составляет:

$$\delta_i = t_s\sigma, \qquad (F.16)$$

где t_s — коэффициент Стьюдента ($t_s = t_{9;0,95}$ = 1,833 для двухстороннего доверительного уровня 90 % и (11 – 2) = 9 степеней свободы);

σ — стандартная ошибка, оцененная по линии наилучшего соответствия при x = +5 или x = –5.

В качестве примера приведено, что σ для 11 измерений составляет:

$$\sigma = 0{,}564 \cdot \sqrt{\sum_{-5}^{+5}\frac{\left(k - \bar{k} - b \cdot x\right)^2}{9}}; \qquad (F.17)$$

$$\sigma = 0{,}564 \cdot s_j. \qquad (F.18)$$

Выражение под знаком корня представляет собой стандартное отклонение соединителя от линии наилучшего прилегания. Мы определяем это значение s_j, поскольку оно относится к отдельной соединительной гильзе, и поэтому его не следует путать со стандартным отклонением шести соединительных гильз s, рассчитанным в средней точке измерения $x = 0$ и используемым для определения погрешности β.

Следует отметить, что приведенное выше выражение для s_j также может быть определено путем упрощения до:

$$s_j = \frac{1}{3}\sqrt{\left|11\left[\left(\overline{k^2}\right) - \left(\overline{k}\right)^2\right] - 110b^2\right|}, \qquad (F.19)$$

где $\overline{k}$ имеет значение, указанное в уравнении *(F.9)*
и

$$\left(\overline{k^2}\right) = \frac{1}{11}\sum_{-5}^{+5} k^2. \qquad (F.20)$$

Тогда общее отклонение S на единицу измерения от линии наилучшего соответствия составляет:

$$S = \frac{2 \cdot t_s \cdot \sigma}{\overline{k}} = \frac{2 \cdot 1{,}883 \cdot 0{,}564 \cdot s_j}{\overline{k}} = \frac{2{,}07 \cdot s_j}{\overline{k}}. \qquad (F.21)$$

Параметр S оценивают для каждой из шести соединительных гильз.

F.6.4 Изменение коэффициента сопротивления *D*

Согласно приведенному в F.6.1 и F.6.2 следует, что расчетное изменение значения k для каждой соединительной гильзы за последние 11 измерений составляет

$$D = |M| + S = \frac{|10b|}{\overline{k}} + \frac{2{,}07 s_j}{\overline{k}}. \qquad (F.22)$$

F.7 Коэффициент сопротивления λ

Коэффициент сопротивления λ определяют по формуле

$$\lambda = \frac{k}{k_0}, \qquad (F.23)$$

где k — коэффициент сопротивления соединительной гильзы для каждой соединительной гильзы, найденной на любом этапе серии измерений;

k_0 — коэффициент сопротивления соединительной гильзы той же соединительной гильзы, измеренной в цикле № 0.

F.8 Максимальные температуры θ_{max}

Для каждой соединительной гильзы записывают значение θ_{max}. Это максимальное значение температуры соединительной гильзы, достигаемое на любом этапе испытания на стойкость к циклическому воздействию температуры. Одновременно указывают значение θ_{ref}.

Приложение G
(справочное)

Пояснения по оценке результатов электрических испытаний соединительной гильзы

G.1 История

Большое различие между различными методами испытаний электрических соединительных гильз затрудняло потребителям сравнение, оценку и принятие результатов испытаний в соответствии с разными стандартами. При внедрении новых продуктов изготовителям иногда приходилось представлять протоколы испытаний в соответствии со всеми соответствующими стандартами. Чтобы преодолеть эти проблемы, было принято решение о создании рабочей группы для разработки международного стандарта с четко определенной процедурой испытания и воспроизводимой оценкой. Результат этой работы приведен в *[3]*.

Различные стандарты испытаний, рассмотренные при подготовке *[3]*, были основаны на температурных циклах, и большинство из них включали применение токов короткого замыкания. Требования и критерии приемлемости заключались в том, что сопротивления должны быть стабильными. Для определения стабильности в течение короткого периода испытания использовались различные методы.

Статистический метод оценки результатов испытаний, описанный в *[3]*, основан на компромиссе между *[4]* и *[5]*. В начале обсуждения было решено использовать статистический метод оценки динамики электрических сопротивлений вместо более традиционных детерминированных методов. Ряд испытаний проводят с целью найти сходство и различия между двумя стандартами. Цель — найти способ статистической оценки, который будет актуален для испытаний с 1000 циклов нагрева. В *[4]* требуется 1500 циклов с измерением сопротивления каждые 60 циклов в течение последних 600 циклов и шести испытаний на ток короткого замыкания после 500 циклов, в то время как в *[5]* требуется 2000 циклов с измерением сопротивления каждые 100 циклов и три испытания на ток короткого замыкания перед испытанием на стойкость к циклическому воздействию температуры.

G.2 Краткое рассмотрение методов оценки IEC 61238-1 *[3]* в сравнении с CEI 20-28 *[4]* и BS 4579-3 *[5]*

Различные статистические оценки следует рассматривать как часть общей процедуры оценки. Все три стандарта требуют установки шести идентичных образцов в испытательный контур, а 11 измерений сопротивления составляют основу для статистической оценки. Следует отметить, что символы формул в каждом стандарте могут иметь разное значение. В таблице G.1 приведены различные характеристики соединительных гильз, рассмотренные с учетом *[3]*.

Основное различие между итальянским и британским регрессионным анализом заключается в том, что в первом случае, за исключением требований к температуре, шесть образцов оцениваются как группа, тогда как в британском стандарте каждый образец оценивается индивидуально.

Индивидуальный регрессионный анализ, который включен в *[5]*, а также принят в *[3]*, необходим для обеспечения достаточной чувствительности к изменению сопротивления для одного образца. При анализе учитывается погрешность измерений относительно линии наилучшего соответствия. Однако этот метод чувствителен к аномальным показаниям, что может быть преимуществом испытания, поскольку позволяет выявить начало ухудшения качества. Следует также учитывать возможность того, что неправильные показания могут повлиять на результаты анализа.

Групповой регрессионный анализ, как указано в *[4]*, является чувствительным индикатором погрешности и имеет преимущество, что учитывает все 66 измерений. Метод учитывает различия между образцами и изменение сопротивления для конкретных образцов. Однако этот метод менее чувствителен к нестабильности одного образца.

Формула для определения средней погрешности в *[3]* представляет собой групповой регрессионный анализ, основанный на стандартном отклонении между средними значениями шести групп образцов, усредненными по результатам 11 измерений. Итальянский метод регрессии основан на вычислении средних значений шести образцов, полученных для каждого из 11 измерений.

Групповой регрессионный анализ — это проверка того, принадлежат ли испытываемые соединительные гильзы к одному типу или нет.

G.3 Метод оценки результатов испытаний, приведенных в *[3]*

Считалось целесообразным ввести относительное сопротивление k, чтобы анализ не зависел от абсолютного значения сопротивления соединительной гильзы. k — это соотношение между сопротивлением соединительной гильзы и эквивалентной длиной токопроводящей жилы. Ожидается также, что внедрение k позволит улучшить воспроизводимость измерений.

Другие параметры, которые должны быть рассчитаны, включают:

- начальную погрешность δ между шестью начальными значениями k_0 при испытании на стойкость к циклическому воздействию температуры;
- среднюю погрешность β между шестью значениями k, усредненными по последним 11 измерениям.

В ходе оценки проверяется, что соединительные гильзы проявляют одинаковое поведение и что они принадлежат к одной и той же группе;

- изменение коэффициента сопротивления *D*, которое показывает изменение коэффициента сопротивления *k* для каждой соединительной гильзы за последние 11 измерений. Статистические методы используют для оценки вероятности того, что изменение сопротивления не превысит заданного значения;
- коэффициент сопротивления λ, который показывает взаимосвязь между сопротивлением на любом этапе измерений и начальным сопротивлением;
- максимальную температуру θ_{max} объектов испытания.

Критерии оценки и значения были выбраны после анализа результатов испытаний и опыта различных лабораторий и стран.

На раннем этапе разработки *[3]* сам параметр *k* был включен в качестве одного из критериев приемлемости вместе с изменением параметра *k*, вызванным испытанием на короткое замыкание. Чтобы сократить количество критериев приемлемости, было принято решение исключить эти параметры.

Таблица G.1 — Сводная информация об оценках поведения испытанной соединительной гильзы

Общие требования (соединительная гильза, прошедшая типовые испытания, должна демонстрировать одинаковое поведение в отношении следующих аспектов)	Оценка по *[3]* (соответствующие параметры испытания и предельные значения, соответствующие общему требованию)
1 Все испытанные соединительные гильзы определенной конструкции должны быть одинаковыми по сопротивлению после установки	Начальная погрешность δ между шестью значениями k_0 перед циклическим нагревом не должна превышать значения 0,30, указанного в таблице 3
2 Сопротивление каждой испытуемой соединительной гильзы должно оставаться стабильным в течение всего электрического испытания, включая испытание на короткое замыкание, если это применимо	Коэффициент сопротивления λ для каждой испытуемой соединительной гильзы не должен превышать 2,0, как указано в таблице 3
3 Сопротивление каждой испытуемой соединительной гильзы не должно чрезмерно возрастать в течение последних 750 циклов нагрева, и все соединительные гильзы должны вести себя одинаково	Среднее значение погрешности β не должно превышать значения 0,30, а изменение коэффициента сопротивления *D* не должно превышать 0,15, как указано в таблице 3
4 Соединительные гильзы ни в коем случае не должны перегреваться ни на одном этапе электрического испытания	Для каждого образца температура соединительной гильзы при нагревании током не должна превышать температуру контрольной токопроводящей жилы, измеренную в соответствии с таблицей 3
5 Если это применимо, соединительная гильза должна выдерживать определенное усилие растяжения, зависящее от размера и материала токопроводящей жилы, чтобы гарантировать требуемую базовую механическую прочность на растяжение в процессе эксплуатации	Механическая прочность на растяжение для всех соединительных гильз, за исключением класса 0: после приложения соответствующего механического растягивающего усилия, указанного в таблице 4, на входе в установленные соединительные гильзы не должно быть смещения более чем на 3 мм

Примечание — Электрические и механические испытания соединительных гильз проводят с использованием отдельных образцов в рамках данного типового испытания, которого достаточно для применения в кабелях, описанных в таблице G.1. Другие комбинированные механические и электрические испытания, проводимые на тех же образцах, рассматриваются для специальных применений, например для проверки пригодности конструкции соединительной гильзы к возможным смещениям в кабельных соединениях.

Приложение Н
(рекомендуемое)

Испытания многопроволочных соединительных гильз

Н.1 Принцип

Н.1.1 Электрические испытания

В приложении Н приведены некоторые схемы испытания, которые используют для испытания многопроволочных соединительных гильз для конкретных конструкций кабелей, применяемых в конкретных условиях эксплуатации кабельных сетей. Из-за различий в конструкции, использовании и опыте испытаний в разных странах в настоящее время не могут быть приняты единые стандартные требования для этих применений. Поэтому представлены две рекомендации по проведению испытаний, выбор которых будет согласован между изготовителем и потребителем.

Многопроволочные соединительные гильзы (например, кольцевые соединительные гильзы) обычно представляют собой проходные соединительные гильзы с изоляцией и ответвлением, используемые в устройствах для многопроволочных низковольтных распределительных кабелей с номинальным сечением жил до 240 мм^2 включительно.

Для оценки напряжений при монтаже, например возникающих при подаче нагрузки под напряжением, как описано в приложении I, может быть проведено предварительное испытание каждого испытуемого образца, используемого для испытания электрического типа.

Одной из целей данных рекомендаций по испытаниям является создание максимальных нагрузок при циклическом нагреве и коротком замыкании путем параллельного пропускания одного и того же тока практически через все задействованные жилы многопроволочного кабеля и воздействия на многопроволочную соединительную гильзу максимально возможного термомеханического напряжения без изменения свойств используемого изоляционного материала кабелей, прилегающих друг к другу, к установленной многопроволочной соединительной гильзе.

Другая цель — оценить каждое соединение внутри многопроволочной соединительной гильзы в отдельности. Существующие критерии оценки в настоящем стандарте могут применяться только к статистически независимым соединительным гильзам. В многожильных соединительных гильзах, где зажимные устройства действуют одновременно на соседние соединения жил, это правило не выполняется из-за эффекта близости между образцами. В примечании к таблице 3, содержащем требования к электрическим испытаниям, указано, что значения, приведенные в настоящем стандарте, основаны на опыте. Однако по положениям, касающимся многопроволочных соединительных гильз, не хватает опыта. Потребителям предлагается собирать и обмениваться опытом испытаний, чтобы улучшить рекомендации и разработать общие требования для следующего издания настоящего стандарта.

Н.1.2 Механические испытания

Обычно такие соединительные гильзы относятся к классу 0, так как устройство выдерживает механические нагрузки. Если соединительная гильза классифицируется по классу 1, то ответвления могут быть испытаны по отдельности в соответствии с разделом 7.

Н.2 Рекомендации по проведению электрических испытаний, основанные на опыте испытаний в Великобритании и Франции

Н.2.1 Общие положения

Положения 6.1 используют в качестве ссылки со следующими изменениями:

- количество многопроволочных соединительных гильз — две, следовательно, количество фазных соединений шесть;
- по желанию потребителя для проведения испытания в «полевых условиях» может быть выполнен монтаж с использованием всего кабеля (необходимо использовать все фазы). Условия испытания должны быть согласованы с потребителем;
- если соединительная гильза используется в качестве проходной, необходимо применять рисунок Н.1 a) или Н.1 b);
- если соединительная гильза используется в качестве ответвительной, необходимо применять рисунок Н.2 a) или Н.2 b);
- если необходимо подключить более одной ответвляющей токопроводящей жилы, рисунок Н.2 a) или Н.2 b) должен быть взят за основу;
- нейтральная токопроводящая жила должна быть нагрета для поддержания постоянной температуры в многопроволочной соединительной гильзе. Основная токопроводящая жила подключается без ответвительной токопроводящей жилы. В любом случае нейтральная токопроводящая жила должна только контролироваться и не должна быть частью испытания;
- главная токопроводящая жила подключается без отвода, если номинальное сечение фаз совпадает [(см. рисунок Н.1 a) или Н.2 a)];

- можно подключить дополнительную цепь для регулировки температуры нейтральной токопроводящей жилы, если номинальное сечение не совпадает [(см. рисунок H.1 b) или H.2 b)];

- если дополнительные испытания нейтральных соединительных гильз проводят отдельно, следует указать конкретные условия испытаний.

H.2.2 Измерения

Положения 6.2 взяты за основу со следующими замечаниями:

- измерение I_j следует проводить в соответствии с рисунком 5 d);

- расположение термопары должно соответствовать рисунку 1.

H.2.3 Испытание на стойкость к циклическому воздействию температуры

Положения 6.3 взяты за основу со следующими замечаниями:

- в дополнение к фактической регулировке температуры основной фазы и фазы ответвления нейтраль должна контролироваться с большим допуском (т. е. θ_{ref} от 0 до –15 K). Цель большего допуска — обеспечить различные возможности регулировки температуры в нейтральной токопроводящей жиле. Кроме того, нейтраль не является частью испытания.

H.2.4 Испытание на стойкость к короткому замыканию (только для класса A)

Положения 6.4 взяты за основу со следующими изменениями:

- для того чтобы выявить тепловой эффект на многопроволочной соединительной гильзе, предложены две схемы: первая — через ответвительную токопроводящую жилу, вторая — через основную токопроводящую жилу.

Затем для каждой комбинации следует применить по три воздействия коротких замыканий, в общей сложности шесть воздействий коротких замыканий:

- соединительная гильза 1, фаза 1, и соединительная гильза 2, фаза 1, с контрольной ответвительной токопроводящей жилой для настройки тока;

- соединительная гильза 1, фаза 2, и соединительная гильза 2, фаза 2, с контрольной ответвительной токопроводящей жилой для настройки тока;

- соединительная гильза 1, фаза 3, и соединительная гильза 2, фаза 3, с контрольной ответвительной токопроводящей жилой для настройки тока;

- соединительная гильза 1, фаза 1, и соединительная гильза 2, фаза 1, с основной контрольной токопроводящей жилой для настройки тока;

- соединительная гильза 1, фаза 2, и соединительная гильза 2, фаза 2, с основной контрольной токопроводящей жилой для настройки тока;

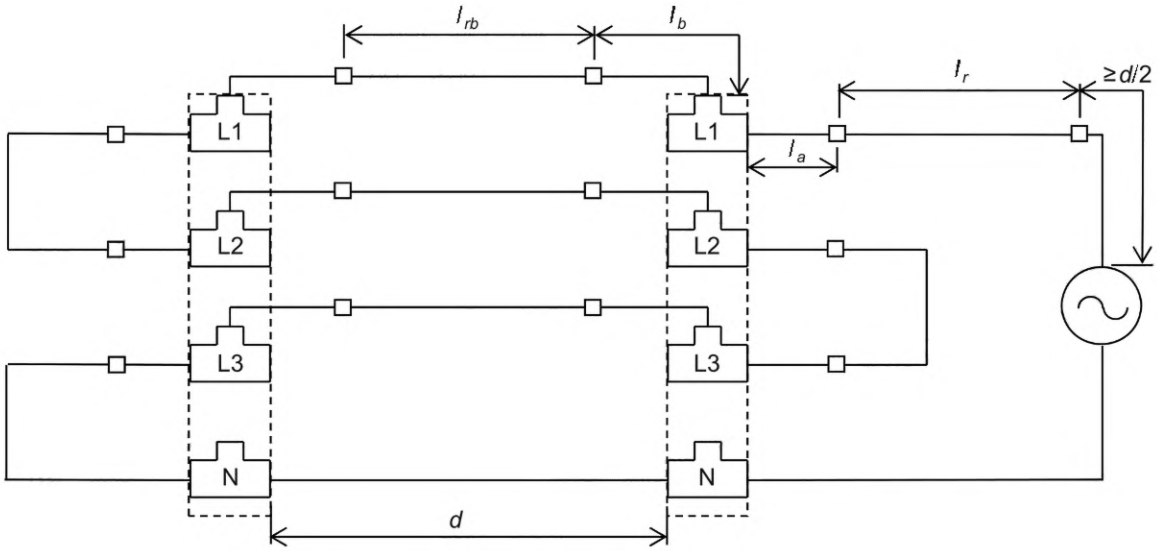
- соединительная гильза 1, фаза 3, и соединительная гильза 2, фаза 3, с основной контрольной токопроводящей жилой для настройки тока.

Для соединительных гильз, используемых в качестве проходных, применима только одна настройка.

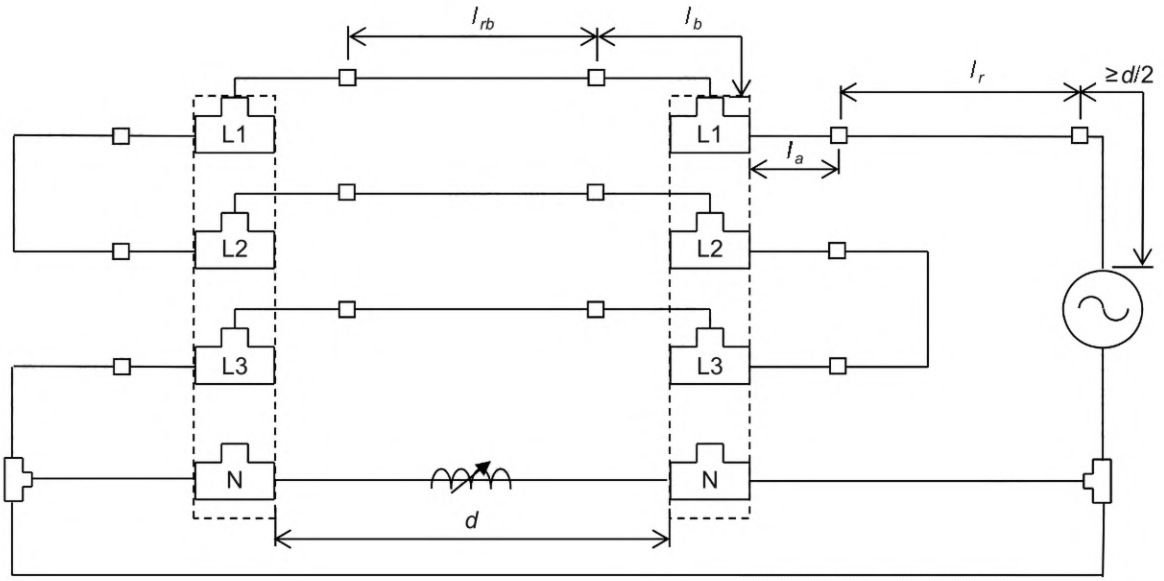
H.2.5 Оценка результатов I_r

Положения 6.5 и 6.6 взяты за основу со следующими изменениями:

- максимальное значение начальной погрешности δ может быть увеличено, чтобы отразить взаимодействие между каждым соединением (будет определено после испытания).

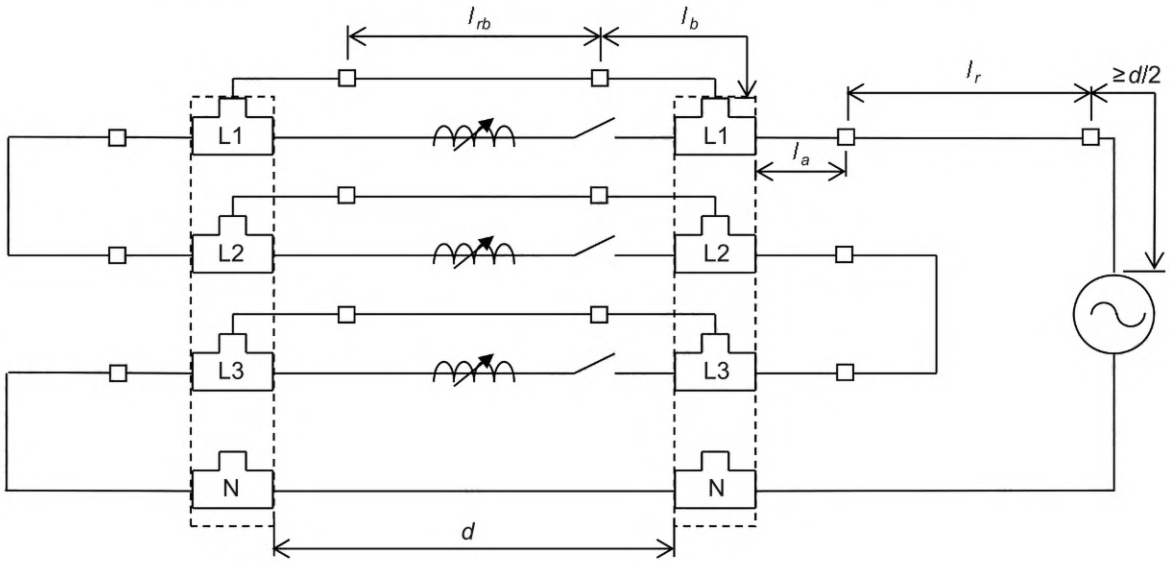


а) Стандартная испытательная цепь для многопроволочной соединительной гильзы с идентичным номинальным сечением и формой для фаз и нейтрали

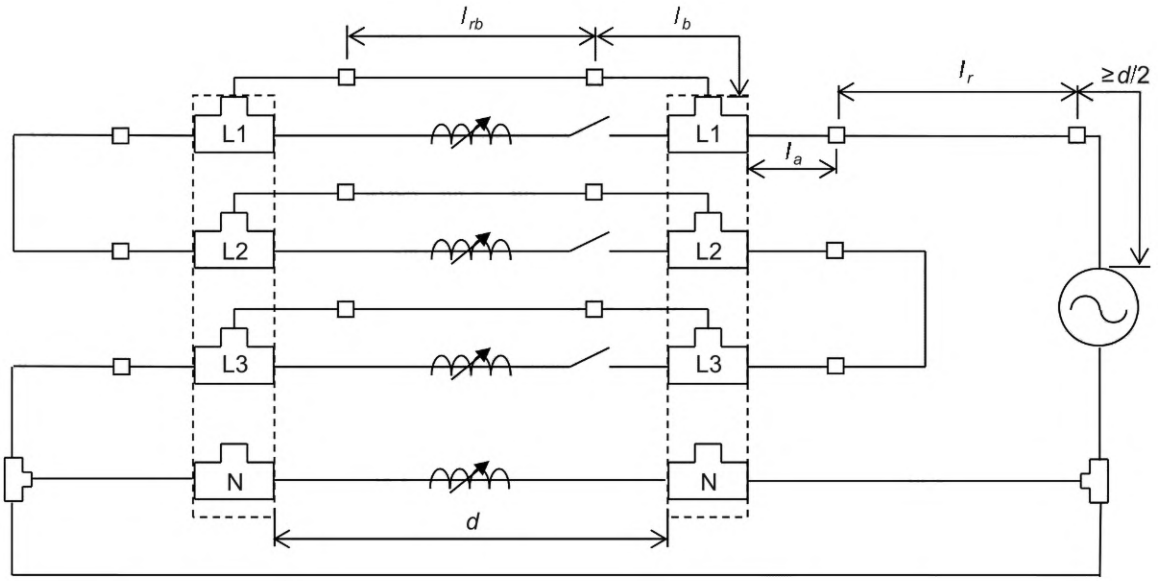


b) Стандартная испытательная цепь для многопроволочной соединительной гильзы с различным номинальным сечением для фаз и нейтрали

Рисунок Н.1 — Испытательные цепи для проходных соединительных гильз



a) Стандартная испытательная цепь для многопроволочной соединительной гильзы с идентичным номинальным сечением и формой для фаз и нейтрали



b) Стандартная испытательная цепь для многопроволочной соединительной гильзы с различным номинальным сечением для фаз и нейтрали

Рисунок Н.2 — Испытательные цепи для ответвительных соединительных гильз

Н.3 Рекомендации по электрическим испытаниям, основанные на DIN VDE 0220-3 *[6]*

Н.3.1 Общие положения

В настоящем стандарте предлагается другая оценка рекомендаций по испытаниям, основанная на *[6]*. Преимущество заключается в том, что результаты испытаний сопоставимы с опытом испытаний и эксплуатации в «полевых условиях», накопленным за более чем 30 лет применения многопроволочных кабелей в Германии.

Результаты испытаний, основанные на настоящем стандарте, и результаты испытаний, основанные на *[6]*, несопоставимы. Рекомендации по проведению испытаний, описанные ниже, не идентичны рекомендациям *[6]*, но, как ожидается, позволяют получить сопоставимые результаты оценки при использовании методов измерения и температурных профилей для испытаний на стойкость к циклическому воздействию температуры, как описано в настоящем стандарте.

Если многопроволочные соединительные гильзы предназначены для использования с токопроводящими жилами различного номинального сечения в качестве проходных и/или ответвительных гильз, испытания следует проводить в двух комбинациях:

- максимальный основной размер и максимальный размер ответвления;
- минимальный основной размер и максимальный размер ответвления.

Рекомендации по испытаниям многопроволочных соединительных гильз применимы к конструкциям, используемым в трех- и четырехжильных низковольтных распределительных кабелях. В конструкциях кабелей, где нейтраль и/или экран не могут быть подвергнуты воздействию того же номинального тока, что и фазы, эти токоведущие части могут не подвергаться циклическому воздействию температуры и не могут быть оценены.

Н.3.2 Испытательная установка для электрических испытаний

Испытательная установка состоит из нескольких испытательных ответвлений, каждое из которых содержит одну многопроволочную соединительную гильзу, установленную на многопроволочных кабелях, прикрепленных к механически жесткой испытательной раме, с разъединяющими клеммами, установленными на концах каждой токопроводящей жилы кабеля, что позволяет электрическому соединению различных жил кабеля пропускать испытательные токи во время различных последовательностей испытаний.

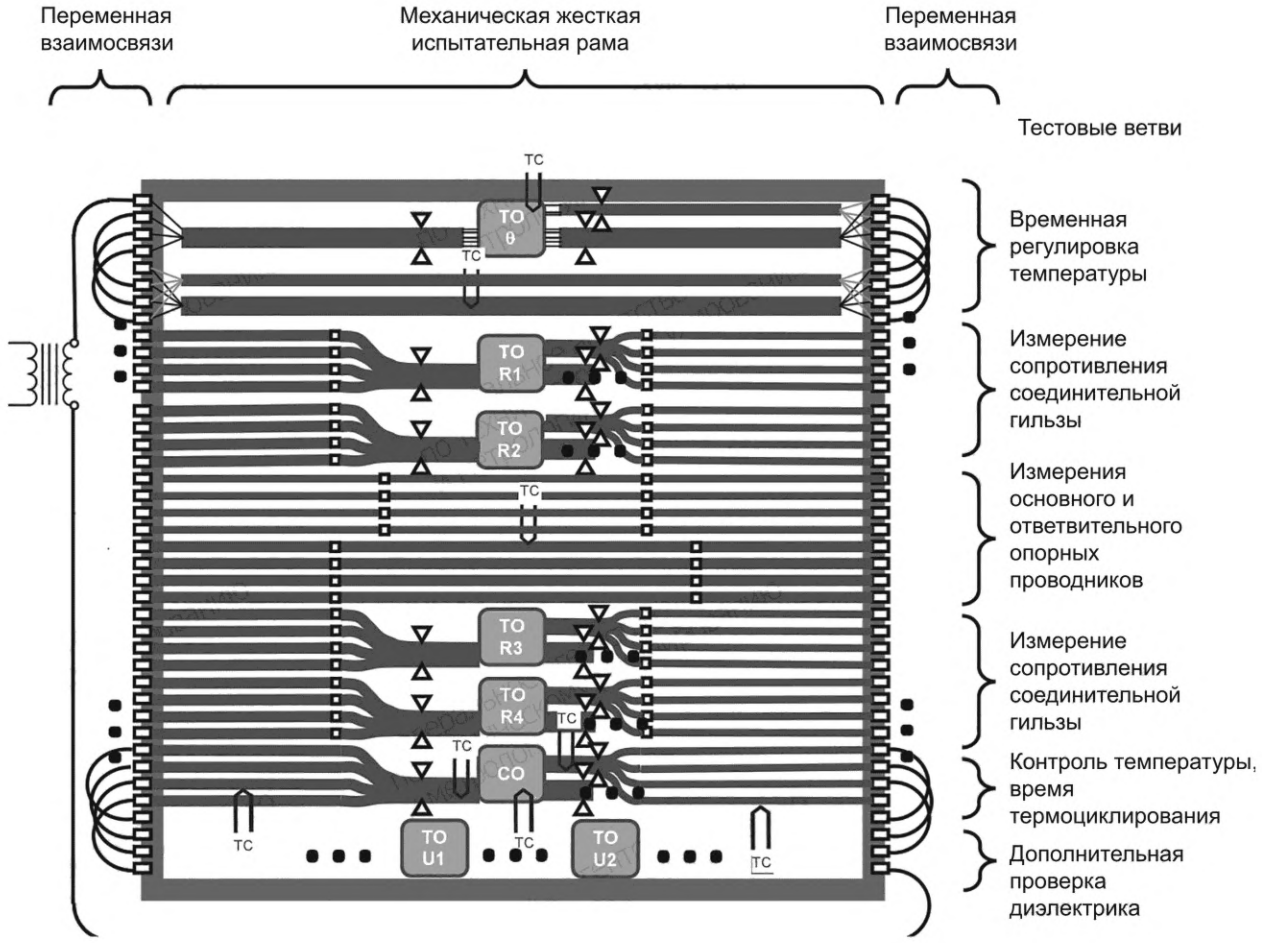
В соответствии с рекомендуемой последовательностью испытаний необходимо время от времени изменять ток, проходящий через различные жилы кабеля испытательной установки, например при перегреве, коротком замыкании или измерении сопротивления. Чтобы избежать чрезмерного механического смещения соединительных гильз при проведении испытаний, рекомендуется использовать жесткую раму, на которой все клеммы на токопроводящих жилах кабеля механически закреплены, а соединение между различными клеммами можно устанавливать и изменять без какого-либо дополнительного механического воздействия на испытуемые соединительные гильзы. Чтобы избежать дополнительного теплового воздействия, следует использовать минимальное установочное расстояние d в соответствии с рисунками 3 и 4 между образцом и разъединяю-

щими клеммами. В качестве разъединяющих клемм допускается использовать, например, оголенные кабельные наконечники, механически прикрепленные к жесткой, электрически изолированной испытательной раме. Пропускная способность соединительных кабелей или деталей, присоединенных к закрепленным клеммам, должна быть почти равна пропускной способности испытуемых кабельных жил, чтобы избежать источников тепла или радиаторов перегрева.

Жилы в многожильных кабелях могут изготавливаться с использованием токопроводящих жил разной длины, даже если они имеют одинаковый размер, форму и материал. Поэтому рекомендуется изготавливать все испытательные ответвления с использованием одних и тех же жил в каждом параллельном испытательном ответвлении, взятом из одного непрерывно производимого отрезка кабеля. В этом случае можно использовать только одну контрольную токопроводящую жилу для каждой основной жилы и по одной токопроводящей жиле для каждой ответвляющейся жилы, которые могут быть идентифицированы по цвету изоляции.

На каждую испытательную цепь устанавливают по одной многопроволочной соединительной гильзе. Установка многопроволочных соединительных гильз должна проводиться изготовителем. Подготовка необходимого монтажного отверстия в многопроволочной соединительной гильзе и подготовка концов кабеля для ответвления кабельных жил должны производиться в соответствии с инструкцией изготовителя по монтажу, которая должна быть частью протокола типовых испытаний. Кабели в сборе должны быть сохранены в первоначальном виде на расстоянии не менее 100 мм от срезов внешней защиты кабеля и закреплены с помощью кабельных скоб на жесткой испытательной раме, чтобы избежать смещения образца при обращении с комплектом испытательной установки во время типовых испытаний. Для многопроволочных токопроводящих жил следует установить компенсаторы, предпочтительно расположенные между кабельными скобами и анкерными зажимами. В результате длины l_a и l_b будут больше, чем показано на рисунке 3 для основной токопроводящей жилы, но их следует свести к минимуму, расположив уравнители близко к кабельным зажимам. Предпочтительный метод испытаний заключается в том, чтобы ответвления не сгибались до уравнителя, а стержни ответвлений крепились по отдельности к механической неподвижной конструкции испытательной установки рядом с уравнителем, что не обязательно соответствует реальной установке ответвления в соединениях.

Одна из возможностей при монтаже ответвлений многопроволочной соединительной гильзы состоит в том, чтобы разобрать многожильный кабель-ответвление на отдельные изолированные жилы, установить уравнители таким образом, чтобы обеспечить одинаковые расстояния на каждой жиле от предельной отметки в конце l_j, где кабель будет присоединен к каждому уравнителю. После этого стержни следует согнуть, чтобы они поместились в зажим.



Примечание — Показаны не все необходимые соединения, например для текущей проверки основных проводников и диэлектрика.

TC θ — внутренние многожильные соединительные гильзы,
θ — внутренние кабельные ответвительные проводники,
θ — внутренние проводники главного кабеля;

— механическое крепление к жесткой испытательной раме;

— уравнитель;

— разъединительная клемма для переменных соединений;

TO x — испытательные объекты: соединения внутри многожильных соединительных гильз;

— механическая жесткая испытательная рама с разъединяющими клеммами, обеспечивающая возможность переменного подключения для различных испытаний.

Рисунок Н.3 — Пример испытательной установки для многопроволочных ответвительных соединительных гильз на четырехжильном кабеле, состоящем из нескольких испытательных ответвлений

В данном примере подготовка к прокладке основного кабеля не показана, но должна быть выполнена таким же образом, как и для питающей магистрали, если также необходимо провести проверку на короткое замыкание или если основной и ответвительный кабели подключают параллельно во время проверки на стойкость к циклическому воздействию температуры.

Н.3.3 Цепи для измерения сопротивления испытательной установки

В испытательных цепях для измерения сопротивления следует использовать уравнители в случае многопроволочных токопроводящих жил или места измерения потенциала в случае однопроволочных токопроводящих жил,

расположенные рядом с местом, где доступная изоляция жилы кабеля соприкасается с изоляцией соединительной гильзы, как описано в настоящем стандарте, соблюдая минимальное расстояние в 10 мм.

Н.3.4 Измерение температуры в отдельном испытательном блоке во время первого и второго циклов нагрева

Несмотря на то, что изоляция является неотъемлемой частью установленной многопроволочной соединительной гильзы и может повлиять на ее эксплуатационные характеристики, подготовленные испытательные объекты для оценки стабильности сопротивления не измеряют, поскольку существует определенный риск повреждения обрабатываемого образца при использовании оборудования для измерения температуры внутри соединительной гильзы.

Рекомендуется использовать дополнительную цепь в испытательной установке для измерения температуры каждой металлической детали, используемой для соединения токопроводящих жил внутри многопроволочной соединительной гильзы, а также для контроля температуры и тока каждой токопроводящей жилы в основном и ответвляющемся кабелях. Все металлические контактные детали этой многопроволочной соединительной гильзы, установленные в ответвлении для измерения температуры, должны быть оснащены термопарами. Многопроволочные соединительные гильзы могут иметь более одной металлической детали для соединения двух токопроводящих жил. Поскольку погрешность измерения температуры небольших металлических деталей в значительной степени зависит от правильной установки термопар, несколько термопар используют различными способами. Рекомендуется записывать и использовать максимальное измеренное значение температуры в качестве температуры соединительной гильзы.

Для измерения температуры контрольных токопроводящих жил необходимо проверить конфигурацию, эквивалентную по температуре реального кабеля, сохранив жилы в исходном положении внутри кабеля и восстановив изоляционные слои кабеля, в которых установлены термопары. В этой части испытательной цепи не следует использовать уравнители, и установка оборудования для измерения сопротивления не должна требовать дополнительного разъединения токопроводящих жил и удаления изоляции кабеля.

Испытуемые ответвления для измерения сопротивления и/или устройство с однопроволочными контрольными токопроводящими жилами соединяют между собой последовательно таким же образом, как и испытательное подключение для измерения температуры.

Ток при испытании на стойкость к циклическому воздействию температуры во время первого цикла нагрева подается для контроля и соблюдения следующих температурных условий:

- температура каждой жилы, прилегающей к многопроволочной соединительной гильзе, не должна превышать θ_{max} + 15 K во избежание повреждения изоляции проникающей жилы, которая является неотъемлемой частью соединительной гильзы, прокалывающей изоляцию;
- температура любой металлической контактной части в многожильных соединительных гильзах не должна превышать 100 °C;
- температура жил любого изолированного кабеля в его исходном положении внутри многопроволочного кабеля не должна превышать 140 °C.

Как только будет выполнено одно из этих температурных условий, температура, зарегистрированная в измерительной цепи контрольной токопроводящей жилы, будет использоваться в качестве управляющего параметра для следующего цикла нагрева, как описано в 6.3.3.

Ожидается, что температура токопроводящих жил внутри изолированного многопроволочного кабеля будет выше, чем при испытании однопроволочной соединительной гильзы, прокалывающей изоляцию при прохождении того же тока из-за расположенных рядом токопроводящих жил. Первоначальное положение кабеля также сохраняется в некоторых частях ответвлений для измерения сопротивления, где кабель очищается. Следует следить за тем, чтобы температура в этих частях не превышала 140 °C, поскольку в этом случае свойства материала алюминиевых токопроводящих жил могут измениться и повлиять на показания сопротивления, если эти части расположены между соединительной гильзой и уравнителями.

В протоколе испытаний должны быть зафиксированы следующие значения:

- установившееся значение тока I_N;
- медианное значение максимальных температур в главных контрольных токопроводящих жилах при подаче тока I_N;
- медианное значение максимальных температур в контрольных токопроводящих жилах ответвлений при подаче тока I_N.

При последовательной нагрузке это установившееся значение тока I_N будет создавать определенные температуры концов в каждой основной и ответвленной контрольной токопроводящей жиле, используемой для измерения сопротивления. Эти температуры должны быть измерены и должна быть определена средняя контрольная токопроводящая жила, которая должна использоваться для регулирования всех последующих тепловых циклов.

Системы соединительных гильз, прокалывающих изоляцию, чувствительны ко времени воздействия температуры из-за размягчения изоляционного материала. При испытании, описанном в *[6]*, для получения профиля нагрева используется только включение и выключение тока. Чтобы получить сопоставимые результаты при определении профиля нагрева во время второго цикла нагрева, рекомендуется использовать регулирование тока, как описано в 6.3.3.

В качестве альтернативы t_1 должно составлять максимум 30 мин, а t_2 — минимум 30 мин, чтобы ограничить потребление энергии.

Ответвление для проверки температуры используют только временно, во время первого и второго циклов нагрева, и затем оно должно быть удалено, так как необходимые токи нагрева могут привести к перегреву и повреждению установленного основного и ответвительного кабелей в их первоначальной форме, а установленная многожильная соединительная гильза может потерять механическую стабильность во время последующих циклов нагрева из-за воздействия повышенных температур.

При отключении ответвления для проверки температуры критерий максимальной температуры, указанный в 6.6, не может быть оценен в последующих циклах нагрева путем сравнения максимальной контрольной температуры токопроводящей жилы со всеми максимальными температурами соединительной гильзы в течение каждого цикла нагрева.

Опыт показал, что этот температурный критерий будет соблюдаться в любое время при успешном прохождении оценки на стабильность сопротивления.

Н.3.5 Соединение клемм для испытания на стойкость к циклическому воздействию температуры

Согласование температур ответвлений и задействованных токопроводящих жил в такого рода последовательно и параллельно соединенных ответвлениях за счет протекания тока на повышенной стадии тепловых циклов всегда является компромиссом, и соблюдение всех требуемых температурных ограничений на протяжении всего испытания вряд ли может быть выполнено. При передаче тока от питающей цепи к ответвлению соединение может охлаждаться текущей цепью, по которой ток проходить не будет, и в случае параллельного подключения питающей цепи и ответвления существует высокий риск перегрева питающей цепи или при соответствующем снижении тока текущая цепь и/или ответвление не достигнут требуемых минимальных температур. Использование дополнительной подачи тока между текущей цепью и ответвлением часто приводит к тому, что обе задействованные сети не достигают минимальных температур или при соответствующем увеличении тока возникает высокий риск перегрева ответвления.

В зависимости от незначительных различий в полных сопротивлениях и магнитных воздействиях, обусловленных протеканием тока в испытательной установке, распределение тока может быть неоднородным в равных испытуемых ветвях. Рекомендуется использовать подвижные катушки (например, в виде кольца из кабеля) между соединительными клеммами испытательной установки, чтобы регулировать требуемое распределение тока путем изменения полного сопротивления во время циклического нагрева от сети переменного тока (см. рисунки Н.4 и Н.5). Использование постоянного тока не рекомендуется.

Для циклирования нагрева рекомендуется использовать последовательный токоподвод между питающей цепью и ответвлением в проверенных комбинациях, где разница между размерами обеих установленных токопроводящих жил составляет не более двух стандартных размеров в соответствии с *ГОСТ 22483*.

Для всех остальных комбинаций текущие цепи и ответвление должны быть подключены параллельно.

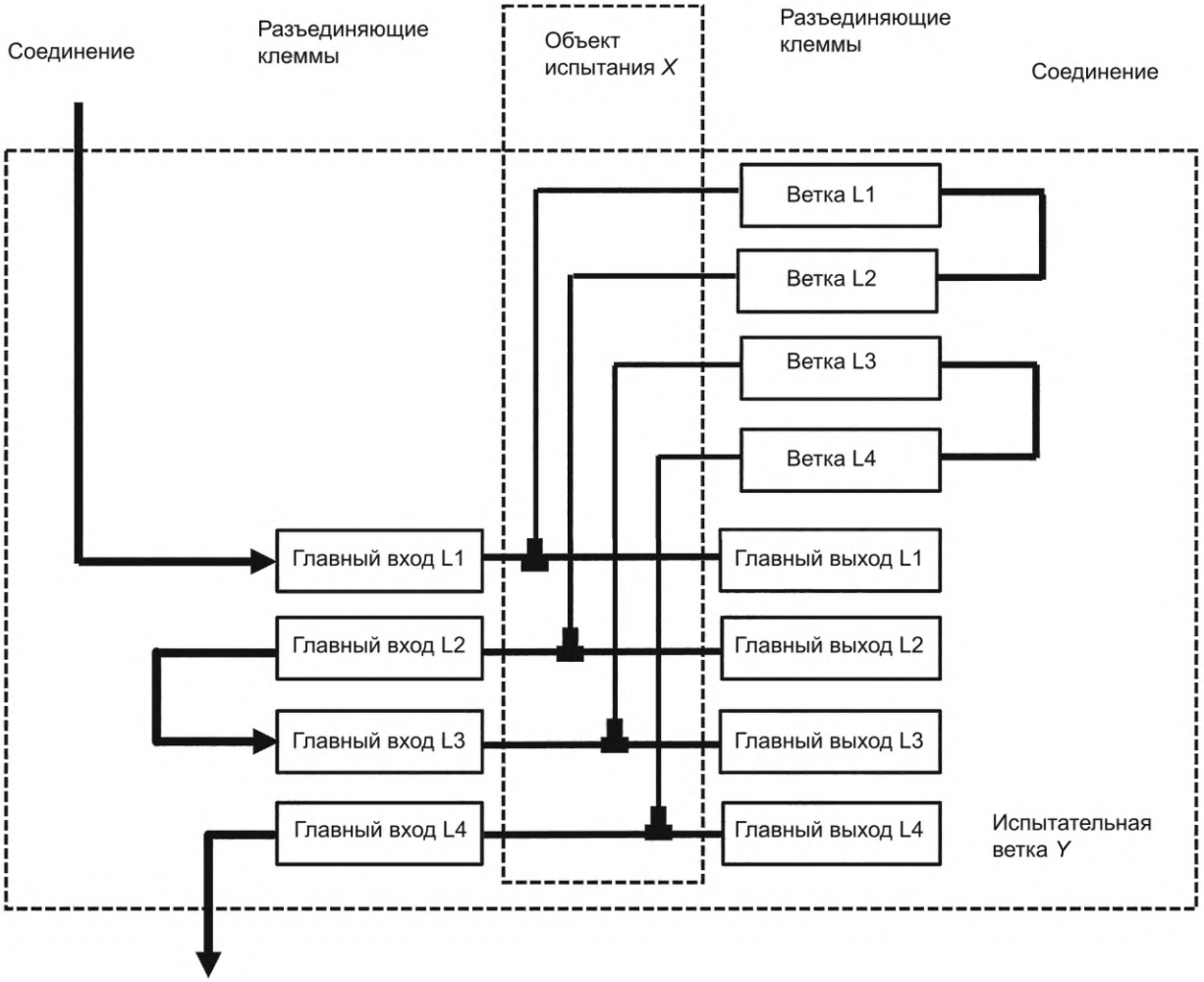


Рисунок Н.4 — Пример принципиальной схемы для испытания на стойкость к циклическому воздействию температуры многопроволочных ответвительных соединительных гильз от основной к ответвительной, например 150/150, 150/120 или 150/95 для четырехжильных кабелей

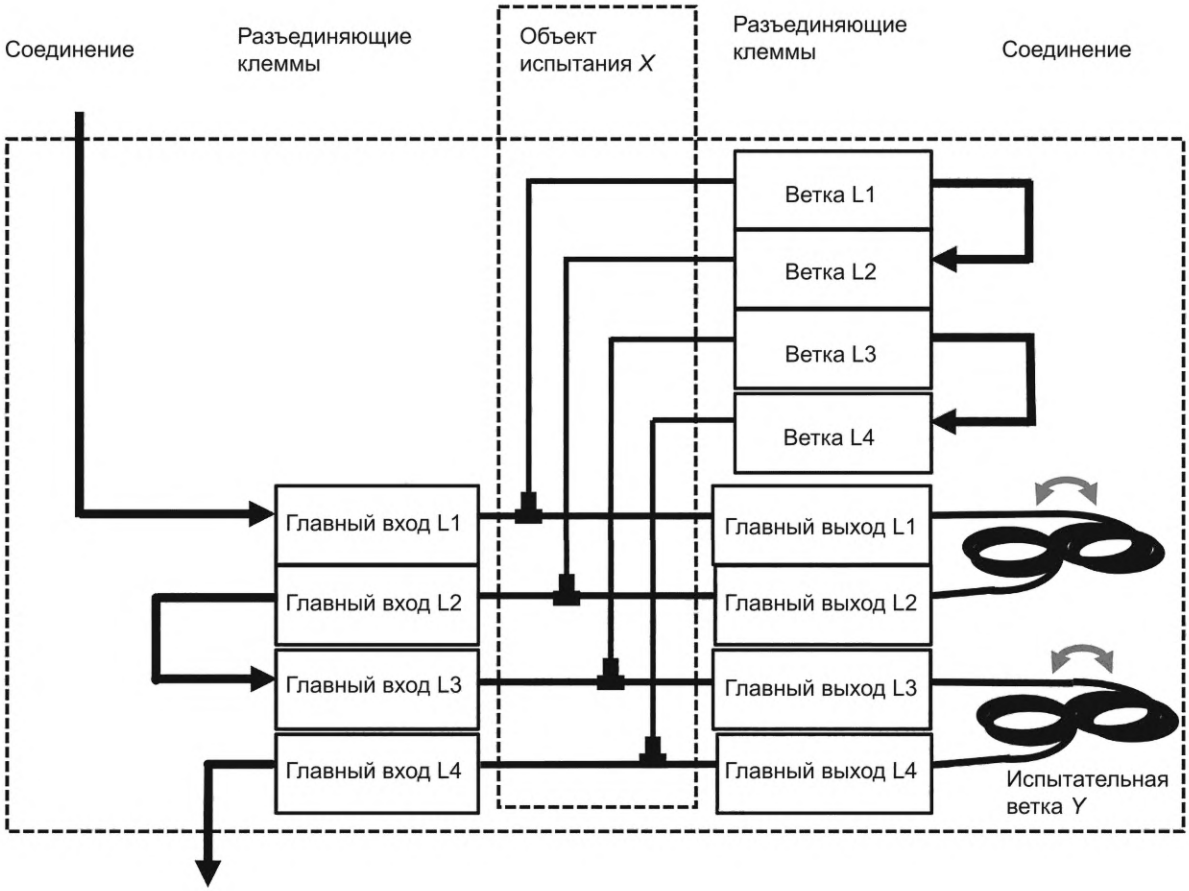


Рисунок Н.5 — Пример принципиальной схемы для испытания на стойкость к циклическому воздействию температуры многопроволочных ответвительных соединительных гильз от основной к ответвительной, например 150/70 и менее для четырехжильных кабелей

Для соединения разъединительных клемм, установленных в участках цепи во время протекания переменного тока, допускается использовать катушку из гибкого одножильного кабеля, количество витков такой катушки допускается регулировать для контроля распределения тока в разных участках цепи путем изменения полного сопротивления.

Н.3.6 Испытания на воздействие коротким замыканием

Несмотря на то, что многопроволочные соединительные гильзы, прошедшие испытания в соответствии с данной рекомендацией по испытаниям, относятся к классу В, их ограниченная способность выдерживать короткое замыкание должна быть проверена в соответствии с последовательностью испытаний и критериями, приведенными в *[6]*.

Многопроволочные соединительные гильзы часто используют в низкочастотных кабельных сетях, защищенных предохранителями. В большинстве установок значение короткого замыкания не превышает 10 кА. Поэтому 10 кА — это максимальное используемое значение. Для создания необходимой конечной температуры длительность воздействия тока короткого замыкания необходимо увеличить, предохранители ограничивают эту длительность до нескольких миллисекунд. Для больших сечений токопроводящих жил времени воздействия в 5 с может быть недостаточно для достижения требуемой конечной температуры. Поэтому время следует увеличить, хотя испытание больше не является адиабатическим.

Испытание на воздействие тока короткого замыкания следует проводить после 750-го цикла нагрева при температуре на конце токопроводящей жилы:

- от 160 °С до 180 °С в случае кабелей с ПВХ изоляцией;
- от 250 °С до 270 °С в случае кабелей с полиэтиленовой изоляцией (XL).

Приложение D допускается использовать для расчета значения тока, необходимого для достижения конечных температур в зависимости от материала и размера токопроводящей жилы, а также материала изоляции его жилы.

Каждое соединение внутри многопроволочной проходной соединительной гильзы дважды подвергают воздействию проходного тока короткого замыкания.

Каждое соединение внутри многопроволочной ответвительной соединительной гильзы дважды подвергают воздействиям сквозных токов короткого замыкания в цепи и двум воздействиям токов короткого замыкания, действующим от цепи к ответвлению, с циклическим обменом токами, протекающими через соседние жилы.

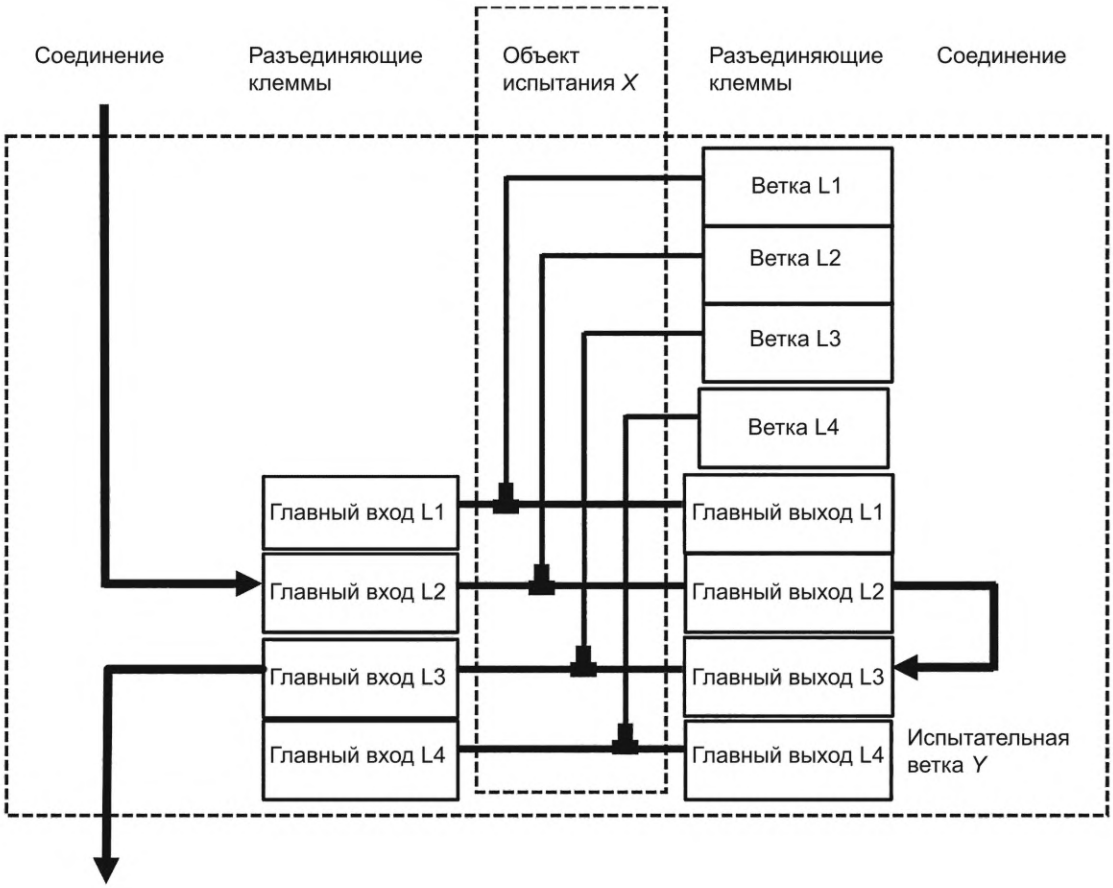


Рисунок Н.6 — Пример принципиальной схемы в случае испытаний четырехжильной кабельной соединительной гильзы на короткое замыкание в цепи через соседние фазы L2—L3 с противоположным протеканием тока

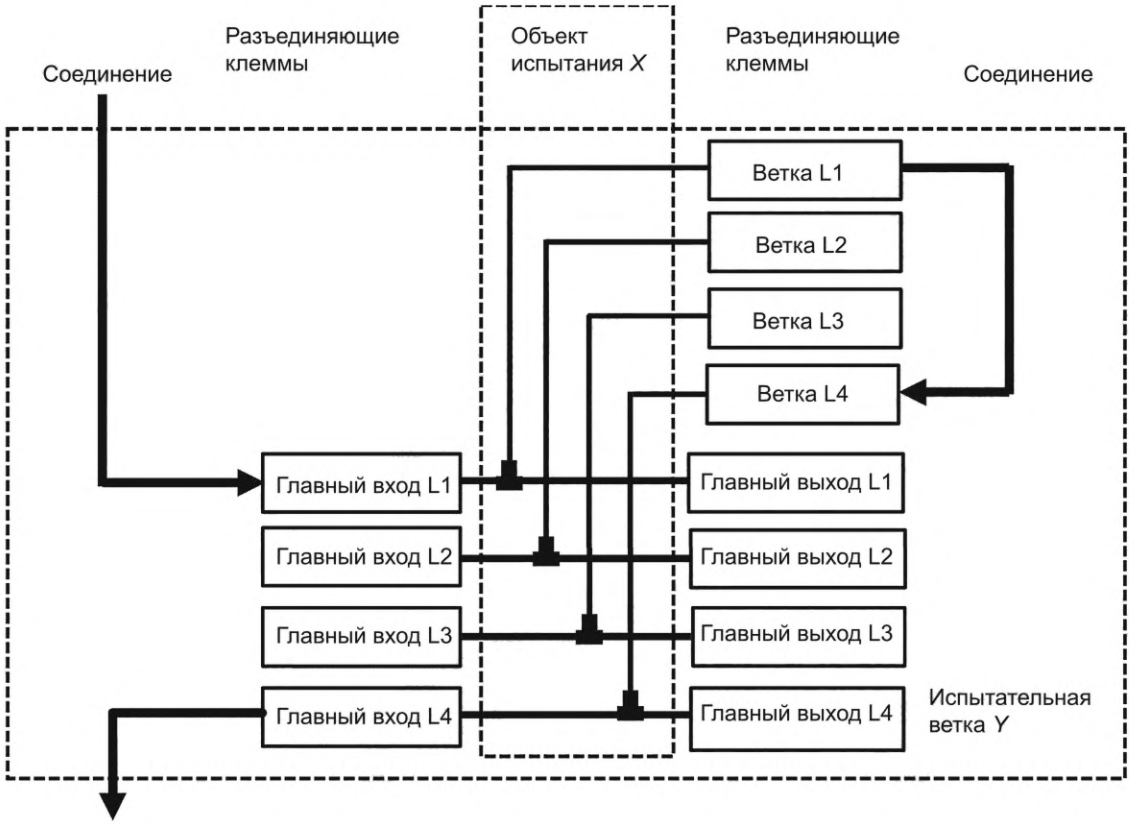


Рисунок Н.7 — Пример принципиальной схемы в случае испытаний ответвления четырехжильной кабельной соединительной гильзы на короткое замыкание от основной цепи к ответвлению через соседние фазы L4—L1 с противоположным протеканием тока

Значения тока выбирают в соответствии с используемыми жилами кабеля в испытательной цепи материалом и сечением токоведущих жил основного и/или ответвляющегося кабеля, а также материалом его изоляции.

Каждое испытание на воздействие короткого замыкания следует проводить испытанием на стойкость основного кабеля, а затем от основного к ответвительному кабелю, соединяя соседние кабельные жилы, например L1—L2, затем L2—L3, затем L3—L4, затем L4—L1, каждой испытательной ветви для четырех кабелей с сердечниками и L1—L2, затем L2—L3, затем L3—L1 для трехжильных кабелей (см. рисунки Н.6 и Н.7).

Соединение на закрепленных клеммах выполняют таким образом, чтобы замкнутыми оказались соседние жилы кабеля.

В данной рекомендации используются только четыре токовые нагрузки на каждое отдельное соединение жилы вместо шести по сравнению со стандартным методом испытаний. Однако эти отдельные соединения не являются независимыми друг от друга, и на них будут воздействовать проходящие рядом токи, действующие на одну и ту же систему зажима. Таким образом, каждую испытанную многопроволочную соединительную гильзу подвергают восьми испытаниям на однократное короткое замыкание для четырехжильных ответвительных соединительных гильз и шести испытаниям на короткое замыкание для трехжильных ответвительных соединительных гильз в наихудшем состоянии, используя смежные фазы для создания максимальных динамических усилий взаимного влияния.

Н.3.7 Оценка значений сопротивления R_j

При расчете k для такого применения значения могут сильно отличаться от 1, поскольку они зависят от интерпретации предполагаемой виртуальной длины l_j в специальных конструкциях.

Во избежание возможного неправильного толкования рекомендуется использовать значения сопротивления R_j, описанные в F.2, для оценки подключения, которые не связаны с контрольными значениями сопротивления токопроводящей жилы. Для многопроволочных токопроводящих жил сопротивление, рассчитанное для контрольных токопроводящих жил a и b, должно быть вычтено из R_j для длин подачи l_a и l_b от уравнителей до входа в зажим. Отправной точкой для измерения свободных длин l_a и l_b является точка соприкосновения изоляции или любой другой части многопроволочной соединительной гильзы с изоляцией сердечника токопроводящей жилы.

Измерение электрического сопротивления следует проводить в соответствии с 6.2.2, но следует использовать другие интервалы измерений, указанные в таблице 2, а также собирать показания каждого соединения

жил кабеля всех четырех испытанных многопроволочных соединительных гильз и рассчитывать значения сопротивления:

а) перед первым циклом нагрева: R_{j0};

б) после 500-го цикла нагрева: R_{j1};

в) после 750-го цикла нагрева, но перед испытанием на ток короткого замыкания: R_{j2};

г) после проверки на ток короткого замыкания: R_{j3};

д) после 1000-го цикла нагрева: R_{j4}.

Каждое отдельное соединение жил в четырех многожильных соединительных гильзах проверяют на стабильность сопротивления. Это означает, что в случае соединительных гильз для четырехжильных кабелей необходимо зафиксировать 16 одиночных соединений, а в случае соединительных гильз для трехжильных кабелей — 12 одиночных соединений на пяти этапах испытания.

Все индивидуальные значения R_{j0} объединяют для оценки диапазона исходных значений R_j перед началом цикла нагрева, чтобы убедиться, что испытанная конструкция реагирует на установку аналогичным образом.

Для всех измеренных соединений максимальное индивидуальное значение R_{j0} не должно превышать минимальное значение более чем на 100 %.

Все индивидуальные значения R_{j1} объединяют для оценки диапазона значений R_j после этапа формирования, чтобы убедиться, что испытанная конструкция одинаково реагирует на циклическое нагревание.

Для всех измеренных соединений максимальное индивидуальное значение R_{j1} не должно превышать минимальное значение более чем на 100 %.

Для каждого отдельного соединения должны выполняться следующие критерии. Разница между R_2 и R_{j1} по отношению к R_{j1} не должна превышать 20 % для любого измеренного соединения.

Для каждого отдельного соединения значение R_{j3} не должно быть ниже значения R_{j2} более чем на ±50 %.

Для каждого отдельного соединения разница между R_{j4} и R_{j3} по отношению к R_{j3} не должна превышать 15 % для любого измеренного соединения.

Для каждого отдельного соединения разница между R_{j4} и $_{Rj0}$ по отношению к R_{j0} не должна превышать 100 %.

Н.3.8 Рекомендуемое испытание на диэлектрическую прочность после электрического испытания

Два образца многопроволочных соединительных гильз могут быть подвергнуты циклам нагрева и испытанию на воздействие тока короткого замыкания для проверки диэлектрической прочности после электрического испытания.

Они должны быть размещены в двух дополнительных контрольных ответвлениях, где изоляция жил и установленных соединительных гильз не должна быть повреждена при использовании компенсаторов или средств для измерения температуры или сопротивления.

На закрепленные клеммы каждой испытуемой соединительной гильзы следует подавать напряжение постоянного тока 9 кВ в течение 1 мин между каждой жилой и всеми остальными жилами и всеми другими незакрепленными металлическими частями многопроволочной соединительной гильзы, если это возможно без снятия внешней изоляции.

Не должно произойти пробоя диэлектрика.

Приложение I
(рекомендуемое)

Испытания на подачу нагрузки

Соединительные гильзы, прокалывающие изоляцию, установленные во время эксплуатации кабелей, могут выдерживать испытания на определение нагрузки в реальных условиях эксплуатации при подаче напряжения на оба подключаемых кабеля.

В таблице I.1 приведены минимальные значения тока, которые должны иметь место при первоначальном подключении на соединительные гильзы, прокалывающие изоляцию. Затем установленную соединительную гильзу, прокалывающую изоляцию, следует поместить в испытательную цепь и подвергнуть электрическим испытаниям в соответствии с разделом 6.

Таблица I.1 — Минимальная подача нагрузки

Минимальная подача нагрузки[a)]			
Номинальное сечение, мм^2	Однопроволочный алюминий, А	Многопроволочный алюминий, А	Многопроволочная медь, А
400	—	490	—
300	471	430	497
240	409	380	430
185	347	330	364
150	304	290	319
120	263	255	276
95	227	225	238
70	187	185	196
50	146	150	153
35	120	—	120
25	86	—	120
16	55	—	77
10	35	—	48
6	—	—	29
4	—	—	20
[a)] Если выбраны другие текущие значения, они должны быть занесены в протокол испытаний.			

Значение сопротивления, полученное после включения нагрузки, должно приниматься за первоначальное значение сопротивления перед первым циклом нагрева, как указано в таблице 2.

Способ и скорость замыкания контактов соединительной гильзы, прокалывающих изоляцию, находящихся под напряжением, например выраженная в частоте вращения при затягивании болтов, должны соответствовать инструкциям изготовителя. Полная процедура установки должна быть отражена в отчете.

Примечание — При монтаже возможное напряжение в соединителе из-за расплавления материала при замыкании контактов, находящихся под напряжением, зависит от количества энергии, затраченной от момента зажигания до гашения дуги.

Минимальный ток нагрузки выбирают в соответствии с номинальным сечением наименьшей подключенной токопроводящей жилы.

По завершении испытания на выдерживание нагрузки изоляционный материал должен быть проверен на наличие повреждений, вызванных возникновением электрической дуги, никакие металлические детали не должны быть оголены.

В протокол испытания должны быть включены данные о токе нагрузки, проходящем через соединительную гильзу, и фотография соединительной(ых) гильзы (гильз) после подачи нагрузки.

Применяемый коэффициент мощности должен быть зафиксирован и указан в протоколе испытаний.

Приложение ДА
(справочное)

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

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ 22483—2021 (IEC 60228:2004)	MOD	IEC 60228:2004 «Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров»
ГОСТ Р МЭК 60949—2009	IDT	IEC 60949:1988 «Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учетом неадиабатического нагрева»
Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов: - IDT — идентичный стандарт; - MOD — модифицированный стандарт.		

Библиография

[1]	IEC 62475:2010	High-current test techniques — Definitions and requirements for test currents and measuring systems (Методы испытания током большой величины. Определения и требования к токам для испытания и к измерительным системам)
[2]	IEC 60493-1:2011	Guide for the statistical analysis of ageing test data — Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results (Руководящие указания по статистическому анализу данных по испытаниям на старение. Часть 1. Методы, основанные на средних величинах нормально распределенных результатов испытаний)
[3]	IEC 61238-1:2003	Compression and mechanical connectors for power cables for rated voltages up to 30 kV (U_m = 36 kV) — Part 1: Test methods and requirements (Соединители для силовых кабелей, закрепляемые опрессовкой и механическим способом. Часть 1. Методы испытания и требования к соединителям, закрепляемым путем прокалывания изоляции, для силовых кабелей на номинальное напряжение до 1 кВ (U_m = 1,2 кВ), испытываемых на изолированных токопроводящих жилах)
[4]	CEI 20-28:1998	Connettori per cavi d'energia[1)] (Разъемы для энергетических кабелей)
[5]	BS 4579-3:1976	Specification for performance of mechanical and compression joints in electric cable and wire connectors. Mechanical and compression joints in aluminium conductors[1)] (Спецификация на выполнение механических и компрессионных соединений в соединителях электрических кабелей и проводов. Механические и компрессионные соединения в алюминиевых проводах)
[6]	DIN VDE 0220-3:1976	Bestimmung für Einzel und Mehrfachkabelklemmen mit Isolierteilen in Starkstrom-Kabelanlagen bis 1000 V (Specifications for single and multiple cable clamps with insulating parts in electrical power cable installations up to 1000 V) (Спецификации для сигнала и многократные кабельные зажимы с изоляционными частями в прокладках кабеля электроэнергии до 1000 В)

[1)] Отозвано.

УДК 621.315.682:006.354 ОКС 29.060.20

Ключевые слова: соединительная гильза, токопроводящая жила, уравнитель, хвостовик, группа соединительных гильз

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 27.11.2025. Подписано в печать 12.01.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 4,74.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru