МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

**ГОСТ IEC 61643-32— 2021**

# УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ

## Часть 32

## Устройства защиты от перенапряжений фотоэлектрических систем. Принципы выбора и применения

(IEC 61643-32:2017, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

**Сведения о стандарте**

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «Диэлектрические кабельные системы» (АО «ДКС») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 сентября 2021 г. № 143-П)

За принятие проголосовали:

| Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Сокращенное наименование национального органа по стандартизации |
|---|---|---|
| Армения | AM | ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения |
| Беларусь | BY | Госстандарт Республики Беларусь |
| Казахстан | KZ | Госстандарт Республики Казахстан |
| Киргизия | KG | Кыргызстандарт |
| Россия | RU | Росстандарт |
| Узбекистан | UZ | Узстандарт |

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2021 г. № 1190-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 61643-32—2021 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2022 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 61643-32:2017 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 32. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к стороне постоянного тока фотоэлектрических установок. Принципы выбора и применения» («Low-voltage surge protective devices — Part 32: Surge protective devices connected to the d.c. side of photovoltaic installations — Selection and application principles», IDT).

Международный стандарт разработан Подкомитетом SC 37A «Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные» Технического комитета ТС 37 «Разрядники импульсные» Международной электротехнической комиссии (IEC).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.*

*В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»*

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021



В Российской Федерации 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 . . . . . 3
4 Системы и оборудование, подлежащие защите . . . . . 5
5 Перенапряжения в фотоэлектрических системах . . . . . 6
6 Установка и размещение устройств защиты от импульсного перенапряжения (УЗИП) . . . . . 6
6.1 Общие сведения . . . . . 6
6.2 Требования для разных фотоэлектрических систем . . . . . 7
7 Уравнивание потенциалов . . . . . 10
8 Требования по установке УЗИП в фотоэлектрических системах . . . . . 11
9 Выбор и установка УЗИП в фотоэлектрических системах . . . . . 11
9.1 Выбор УЗИП, устанавливаемых на стороне переменного тока (AC) . . . . . 11
9.2 Выбор УЗИП, устанавливаемых на стороне постоянного тока (DC) . . . . . 13
10 Техническое обслуживание . . . . . 18
Приложение А (обязательное) Определение значения $I_{imp}$ или $I_n$ для УЗИП согласно упрощенному подходу для различных зданий (сооружений), защищенных СМЗ . . . . . 19
Приложение В (справочное) Выходные характеристики фотоэлектрического оборудования . . . . . 25
Приложение С (справочное) Дополнительная информация к разделу 6 «Установка и размещение устройств защиты от импульсного перенапряжения (УЗИП)» к разделу 7 «Уравнивание потенциалов» . . . . . 27
Приложение D (справочное) Исключения для УЗИП класса испытания I в США . . . . . 30
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам . . . . . 31
Библиография . . . . . 33

## Введение

Настоящий стандарт входит в серию стандартов IEC 61643 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные».

Настоящая часть серии стандартов IEC 61643 дает полезную информацию о выборе УЗИП, подключенных к фотоэлектрическим установкам.

Стандарт IEC 61643-32 дает информацию об оценке дополнительных потребностей в устройствах защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), которые необходимо устанавливать на стороне постоянного тока фотоэлектрической системы (ФЭС) для защиты от наведенного и прямого воздействий молнии со ссылкой на IEC 62305, IEC 60364 и IEC 61643-12. В нем дается руководство по выбору, эксплуатации и монтажу УЗИП, включая выбор УЗИП по категории испытаний, значений выбросов тока и площади поперечного сечения соединительных проводников. Также дается руководство по выбору УЗИП, подключаемых к стороне переменного тока.

Для фотоэлектрических батарей и ФЭС требуются специальные УЗИП на входе постоянного тока ФЭС (выходе фотоэлектрической батареи), учитывающие особенности электрических параметров фотоэлектрического оборудования.

В настоящем стандарте рассмотрены УЗИП, используемые в разных местах фотоэлектрических систем и фотоэлектрических системах разного типа, приведены примеры, а также описан упрощенный и общий подходы к определению значений импульсного разрядного тока для стороны переменного тока разных фотоэлектрических систем.

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й  С Т А Н Д А Р Т

# УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ

## Часть 32

## Устройства защиты от перенапряжений фотоэлектрических систем. Принципы выбора и применения

Low-voltage surge protective devices. Part 32. Surge protective devices connected to the d.c. side of photovoltaic installations. Selection and application principles

**Дата введения — 2022—03—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает принципы выбора, установки и координации устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), предназначенных для использования в фотоэлектрических системах (ФЭС) с напряжением до 1500 В на стороне постоянного тока (DC) и напряжением до 1000 В (среднеквадратичное значение) на стороне переменного тока (AC) и частотой 50/60 Гц.

ФЭС включает в себя фотоэлектрическую батарею (ФБ), состоящую из электрически соединенных между собой фотоэлектрических модулей, соответствующие электрические кабели, защитные устройства, а также инвертор и точку подключения в распределительном щите или пункте электроснабжения.

Настоящий стандарт распространяется на УЗИП, устанавливаемые в следующих ФЭС:

- ФЭС, фотоэлектрические модули которых расположены на крыше здания;
- наземных ФЭС, таких как электростанции на открытом пространстве, характеризующиеся заземлением в нескольких точках и системой заземления в виде сетки.

Примечание — В настоящем стандарте не рассмотрены такие компоненты фотоэлектрической батареи, как основание(я), устройство(а) слежения, устройство(а) теплового контроля и прочие подобные компоненты, которые в общем случае также могут влиять на возникновение импульсных перенапряжений, и требования к организации защиты от них.

К ФЭС, в состав которых входят аккумуляторные батареи, могут быть применены дополнительные требования.

Примечания

1 Также применимы стандарты IEC 60364, IEC 62305 и IEC 61643-12.

2 Настоящий стандарт распространяется только на УЗИП и не касается компонентов защиты от импульсных перенапряжений, встроенных в оборудование ФЭС, например в инверторы и другие устройства преобразования электроэнергии.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения к нему)]:

IEC 60364-4-44:2007, Low-voltage electrical installations — Part 4-44: Protection for safety — Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances (Электрические установки низкого напря-

**Издание официальное**

жения. Часть 4-44. Защита для обеспечения безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных возмущений)

IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015 Изменение 1

IEC 60364-5-53:2015 Electrical installations of buildings — Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment — Isolation, switching and control (Электроустановки зданий. Часть 5-53. Выбор и установка электрооборудования. Изоляция, коммутация и управление)[1)]

IEC 60364-5-54, Low-voltage electrical installations — Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment — Earthing arrangements and protective conductors (Электрические установки зданий. Часть 5-54. Выбор и установка электрооборудования. Заземляющие устройства и защитные проводники)

IEC 60364-7-712:2017, Low voltage electrical installations — Part 7-712: Requirements for special installations or locations — Solar photovoltaic (PV) power supply systems (Электроустановки низковольтные. Часть 7-712. Требования к специальным установкам или местам их размещения. Системы питания с использованием фотоэлектрических (PV) солнечных батарей)

IEC 60664-1:2007, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems — Part 1: Principles, requirements and tests (Координация изоляции для оборудования в низковольтных системах. Часть 1. Принципы, требования и испытания)[2)]

IEC 61000-4-5:2014, Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-5: Testing and measurement techniques — Surge immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС) Часть 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к выбросу напряжения)

IEC 61643-11:2011, Low-voltage surge protective devices — Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems — Requirements and test methods (Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 11. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным системам распределения электроэнергии. Требования и методы испытаний)

IEC 61643-12, Low-voltage surge protective devices — Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems — Selection and application principles (Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 12. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Принципы выбора и применения)

IEC 61643-21, Low voltage surge protective devices — Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks — Performance requirements and testing methods (Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к сигнальным и телекоммуникационным сетям. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний)

IEC 61643-22, Low-voltage surge protective devices — Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks — Selection and application principles (Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 22. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к сетям сигнализации и связи. Принципы выбора и применения)

IEC 61643-31, Low-voltage surge protective devices — Part 31: Surge protective devices connected to the DC side of photovoltaic installations — Requirements and test methods (Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 31. Требования и методы испытаний устройств защиты от перенапряжений (SPD) для фотоэлектрических установок)

IEC 62305-2, Protection against lightning — Part 2: Risk management (Защита от молний. Часть 2. Управление риском)

IEC 62305-3, Protection against lightning — Part 3: Physical damage to structures and life hazard (Защита от молний. Часть 3. Физические повреждения конструкций и опасность для жизни)

IEC 62305-4, Protection against lightning — Part 4: Electrical and electronic systems within structures (Защита от молний. Часть 4. Электрические и электронные системы внутри конструкций)

ITU-T, recommendation K.20, Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents (Устойчивость телекоммуникационного оборудования, установленного в телекоммуникационном центре, к импульсным перенапряжениям и сверхтокам)

---

[1)] Заменен на IEC 60364-5-53:2019. Однако для однозначного соблюдения требования настоящего стандарта, выраженного в датированной ссылке, рекомендуется использовать только указанное в этой ссылке издание.

[2)] Заменен на IEC 60664-1:2020. Однако для однозначного соблюдения требования настоящего стандарта, выраженного в датированной ссылке, рекомендуется использовать только указанное в этой ссылке издание.

ITU-T, recommendation K.21, Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents (Устойчивость телекоммуникационного оборудования, установленного на объектах потребителей, к импульсным перенапряжениям и сверхтокам)

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

ISO и IEC ведут терминологические базы данных, используемых при стандартизации и доступных по следующим адресам:

- Электротехническая энциклопедия IEC Electropedia;
- Поисковая платформа ISO.

3.1 **фотоэлектрическая батарея;** ФБ (PV array): Устройство, состоящее из электрически соединенных фотоэлектрических модулей, генерирующее постоянный электрический ток под воздействием солнечного излучения, включающее защитно-коммутационное оборудование, соединители, обеспечивающие механические и электрические соединения внутри батареи и соединения с внешними устройствами и конструкциями.

Примечания

1 В настоящем стандарте под фотоэлектрической батареей понимают все ее составляющие до входных клемм постоянного тока преобразователя энергии, накопителя энергии или нагрузки постоянного тока. В настоящем стандарте не рассматривают основание(я), устройство(а) слежения, температурного контроля и прочие аналогичные компоненты.

2 Фотоэлектрическая батарея может состоять из одного фотоэлектрического модуля, одной фотоэлектрической цепочки, нескольких параллельно соединенных фотоэлектрических цепочек или нескольких параллельно соединенных фотоэлектрических групп и связанных с ними электротехнических компонентов.

В целях настоящего стандарта границы фотоэлектрической батареи определяются выходной стороной устройства отключения ФБ.

[IEC 60364-7-712:2017, пункт 712.3.4]

3.2 **фотоэлектрический модуль;** ФМ (photovoltaic module PV module): Устройство, конструктивно объединяющее в одной общей оболочке электрически соединенные между собой фотоэлектрические элементы, защищенные от окружающей среды, и допускающее испытания и эксплуатацию в качестве независимой конструкционной единицы.

[IEC 60364-7-712:2017, пункт 712.3.2]

3.3 **фотоэлектрическая цепочка** (photovoltaic string): Последовательное электрическое соединение двух или более одинаковых фотоэлектрических компонентов (фотоэлектрических модулей, фотоэлектрических групп одного уровня) в фотоэлектрической батарее.

[IEC 60364-7-712:2017, пункт 712.3.3]

3.4 **фотоэлектрическая установка** (PV installation): Смонтированное оборудование фотоэлектрической системы.

[IEC 60364-7-712:2017, пункт 712.3.11]

3.5 **ввод в электрическую установку** (origin of the electrical installation): Точка, в которой электрическая энергия вводится в электроустановку.

[IEC 60050-826:2004, пункт 826-10-02]

3.6 **система молниезащиты;** СМЗ (lightning protection system; LPS): Комплексная система, предназначенная для уменьшения физического ущерба зданию (сооружению) при ударе молнии.

Примечание — СМЗ состоит из внешних и внутренних систем защиты от молнии.

[IEC 62305-1:2010, пункт 3.42]

3.7 **изолированная внешняя система молниезащиты** (external LPS isolated from the structure to be protected): Система молниезащиты, включающая в себя молниеприемники и токоотводы, не имеющие контакта с защищаемым зданием (сооружением).

Примечание — Изолированные СМЗ позволяют избежать опасных искр между СМЗ и строением.

[IEC 62305-3:2010, пункт 3.3]

3.8 **устройство защиты от импульсных перенапряжений;** УЗИП [Surge protective device (SPD)]: Устройство, которое содержит по крайней мере один нелинейный компонент, предназначенный для ограничения импульсных перенапряжений и отвода импульсных токов.

Примечание — УЗИП является законченным устройством, имеющим собственные средства присоединения.

[IEC 61643-11:2011, пункт 3.1.1]

3.9 **разделительное расстояние *s*** (separation distance *s*): Расстояние между двумя проводящими частями, при котором не может происходить опасное искрение.

[IEC 62305-3:2010, пункт 3.28]

3.10 **молниезащитное уравнивание потенциалов;** EB (lightning equipotential bonding; EB): Соединение с СМЗ отдельных проводящих частей непосредственно или через устройства защиты от импульсных перенапряжений, предназначенное для уменьшения разности потенциалов, создаваемых током молнии.

[IEC 62305-3:2010, пункт 3.23]

3.11 **соединительная шина** (bonding bar): Металлическая шина, с помощью которой металлические конструкции, внешние проводящие части, линии связи, электрические и другие кабели могут быть соединены с СМЗ.

[IEC 62305-3:2010, пункт 3.24]

3.12 **соединительный проводник** (bonding conductor): Проводник, соединяющий между собой токопроводящие части и СМЗ.

[IEC 62305-3:2010, пункт 3.25]

3.13 **стандартные условия испытаний (фотоэлектрического оборудования);** СУИ (standard test conditions; STC): Стандартные условия испытаний — это следующие условия испытаний фотоэлектрического оборудования:

a) энергетическая освещенность в плоскости рабочей поверхности 1000 Вт/м$^2$;

b) температура элемента 25 °С,

c) спектральный состав АМ 1,5;

d) световой поток направлен нормально к воспринимающей поверхности.

[IEC 60364-7-712:2017, пункт 712.3.12]

3.14 **напряжение холостого хода при стандартных условиях испытания $U_{\text{х.х. СУИ}}$** (open-circuit voltage under standard test conditions; $U_{\text{oc stc}}$): Напряжение при отсутствии нагрузки и стандартных условиях испытаний на выходе фотоэлектрического оборудования (фотоэлектрического элемента, фотоэлектрического модуля, фотоэлектрической цепочки, фотоэлектрической батареи и т. д.).

Примечание — Для фотоэлектрической батареи это напряжение равно напряжению на входе постоянного тока инвертора/другого устройства преобразования энергии, к которому она подключена.

[IEC 60364-7-712:2017, пункт 712.3.13, с изменениями (добавлено примечание: равное для фотоэлектрической батареи напряжению на входе постоянного тока инвертора/другого устройства преобразования энергии, к которому она подключена)

3.15 **максимальное напряжение холостого хода $U_{\text{х.х max СУИ}}$** (open-circuit maximum voltage $U_{\text{oc max}}$): Максимальное напряжение холостого хода данного фотоэлектрического оборудования при СУИ с поправкой на минимальную ожидаемую рабочую температуру и максимально возможную энергетическую освещенность (для данной местности, в данных условиях эксплуатации, для которых предназначено оборудование).

Примечания

1 Такое напряжение называют максимально возможным напряжением данного фотоэлектрического оборудования. Такое напряжение на входе фотоэлектрической батареи, равное напряжению на входе постоянного тока инвертора/другого устройства преобразования энергии, к которому подключена фотоэлектрическая батарея является максимально возможным напряжением постоянного тока ФЭС.

2 Расчет $U_{\text{oc max}}$ приведен в приложении В.

3.16 **ток короткого замыкания при стандартных условиях испытаний $I_{\text{к.з СУИ}}$** (short-circuit current under standard test conditions $I_{\text{sc stc}}$): Ток короткого замыкания фотоэлектрического оборудования (фотоэлектрического элемента, фотоэлектрического модуля, фотоэлектрической цепочки, фотоэлектрической батареи и т.д.) при стандартных условиях испытаний.

[IEC 60364-7-712:2017, пункт 712.3.15]

3.17 **максимальный ток короткого замыкания $I_{\text{к.з max}}$** (short-circuit maximum current $I_{\text{sc max}}$): Максимальный ток короткого замыкания фотоэлектрического оборудования.

Примечание — Расчет $I_{\text{sc max}}$ приведен в приложении В.

[IEC 60364-7-712:2017, пункт 712.3.16]

3.18 **максимальное длительное рабочее напряжение при применении на стороне постоянного тока ФЭС $U_{C\ PV}$** (maximum continuous operating voltage for PV application $U_{C\ PV}$): Максимальное напряжение постоянного тока, которое может быть длительно приложено к устройству защиты вида УЗИП, предназначенному для установки на стороне постоянного тока ФЭС.

Примечание — Значение этого параметра больше или равно $U_{OC\ MAX}$.

[IEC 61643-31, пункт 3.1.10]

3.19 **номинальный ток короткого замыкания УЗИП $I_{к.з\ PV}$** (short-circuit current rating of the SPD $I_{SC\ PV}$): Максимальный ожидаемый ток короткого замыкания на стороне постоянного тока ФЭС, на который рассчитано УЗИП в сочетании с указанным разъединителем.

Примечание — Значение этого параметра больше или равно $I_{sc\ max}$.

[IEC 61643-31, пункт 3.1.25]

3.20 **режим отказа «обрыва цепи»;** OCFM (open-circuit failure mode; OCFM): Поведение при неисправности, при котором УЗИП в определенных условиях переходит в состояние постоянного высокого сопротивления или обрыва цепи.

Примечание — Промежуточное состояние с низким сопротивлением возможно в течение ограниченного времени, пока не будет достигнут окончательный режим аварийного состояния.

[IEC 61643-31, пункт 3.1.40]

3.21 **режим отказа «короткое замыкание»;** SCFM (short-circuit failure mode; SCFM): Поведение при неисправности, при котором УЗИП в определенных условиях переходит в состояние постоянного низкого сопротивления или короткого замыкания.

[IEC 61643-31, пункт 3.1.41]

3.22 **номинальное импульсное напряжение $U_w$** (rated impulse voltage $U_w$): Значение выдерживаемого импульсного напряжения, указанное изготовителем оборудования или его части, характеризующее заданную способность его изоляции выдерживать кратковременные перенапряжения.

Примечания

1 В настоящем стандарте рассматриваются только выдерживаемые напряжения между токоведущими проводниками и землей.

2 $U_w$ измеряется импульсом напряжения с формой волны 1,2/50 мкс.

3 В некоторых других стандартах его также называют $U_{imp}$.

[IEC 60664-1:2007, пункт 3.9.2, с изменением (добавление примечаний к записи)]

3.23 **суммарный разрядный ток $I_{Total}$** (total discharge current $I_{Total}$): Ток, который протекает через заземляющий проводник многополюсного УЗИП во время испытания на суммарный разрядный ток.

Примечания

1 Цель состоит в том, чтобы учесть суммарное воздействие, которое возникает, когда несколько видов защиты многополюсного УЗИП срабатывают одновременно.

2 $I_{Total}$ особенно важен для УЗИП, испытанных согласно классу испытаний I и используемых для уравнивания потенциалов при защите от воздействия молнии согласно серии стандартов IEC 62305.

[IEC 61643-11:2011, пункт 3.1.44, с изменениями (слова «проводник PE или PEN» заменены на слова «заземляющий проводник»)].

Примечание — Далее в тексте все обозначения параметров фотоэлектрического оборудования даны в виде, приведенном в примененном стандарте IEC 61643-32, для соответствия обозначениям параметров в других стандартах комплекса ГОСТ IEC 61643. Принятые в фотоэнергетике и установленные в соответствующих стандартах обозначения и сокращения приведены в настоящем разделе.

## 4 Системы и оборудование, подлежащие защите

К оборудованию ФЭС и его компонентам, которому может потребоваться защита, относятся:

- инвертор, т. е. его компоненты, обеспечивающие электрическое соединение как с фотоэлектрической батареей, так и с системой электропитания переменного тока низкого напряжения;
- фотоэлектрическая батарея;

- проводка (самой ФЭС);
- компоненты, установленные между инвертором и фотоэлектрической батареей;
- оборудование для управления и контроля ФЭС.

Перенапряжения могут повредить ФЭС или привести к ее неисправности, поэтому ФЭС должны быть защищены.

Оценка потребности в защите и правильный выбор защитных мер требуют от производителя информации о выдерживаемом напряжении оборудования. Если такая информация отсутствует, то в качестве исходного может использоваться значение номинального импульсного напряжения $U_w$ для оборудования, указанного в 9.1.2 и в таблице 2. Частичные токи растекания молнии могут вызвать неконтролируемые пробои и вызвать возгорание. Меры для защиты от перенапряжения могут помочь уменьшить риск возгорания (см. серию стандартов IEC 62305).

## 5 Перенапряжения в фотоэлектрических системах

Перенапряжения в ФЭС могут быть вызваны рядом условий. К ним относятся:

- непосредственные попадания (S1) во внешнюю систему молниезащиты (СМЗ) здания или удары молнии возле (S2) здания и/или ФЭС;
- непосредственные попадания (S3) и наведенные токи удара молнии (S4), распределяющиеся по электрической сети;
- перенапряжения, создаваемые распределительной сетью, например вызываемые коммутационными операциями.

Примечания

1 S1, S2, S3 и S4 определены в серии стандартов IEC 62305.

2 Перенапряжения описаны в IEC 60364-4-44.

При переключениях на стороне переменного тока могут возникать повторные перенапряжения (пики), создаваемые электронным инвертором или другим устройством преобразования энергии. В зависимости от технологии и особенностей устройства преобразования энергии могут потребоваться дополнительные требования при выборе УЗИП.

Требования защиты по настоящему стандарту основаны на предположении о том, что кабели, соединяющие компоненты постоянного тока ФЭС, в достаточной степени защищены от прямых ударов молнии путем соответствующей прокладки либо экранирования (например, с использованием соответствующей системы прокладки кабелей).

## 6 Установка и размещение устройств защиты от импульсного перенапряжения (УЗИП)

### 6.1 Общие сведения

В соответствии с IEC 61643-12 и серией стандартов IEC 62305 выбор и установка УЗИП для защиты ФЭС зависит от многих факторов, но основными являются следующие:

- плотность ударов молнии в землю на квадратный километр $N_G$ в год (1/км$^2$/год) или изокераунический уровень $T_D$ (количество грозовых дней в году) в данном месте расположения;
- характеристики низковольтной энергосистемы (например, воздушные или подземные линии) и оборудования, которое необходимо защитить;
- необходимость в защите ФЭС от прямых попаданий молний с использованием внешней СМЗ.

Если установки защищены внешней СМЗ, требования к УЗИП будут зависеть:

- от выбранного класса СМЗ (см. упрощенный метод в приложении А);
- соблюдения разделительного расстояния ($s$) между СМЗ и ФЭС (изолированная СМЗ) или его несоблюдения (неизолированная СМЗ).

Дополнительные требования к наружной СМЗ и разделительному расстоянию приведены в IEC 62305-3.

Для оптимальной защиты инвертора от перенапряжений рекомендуется непосредственное подключение УЗИП и инвертора к заземляющей шине (клемме) между ними.

Класс испытаний УЗИП и минимальная площадь поперечного сечения соединительных проводников выбирают по таблице 1.

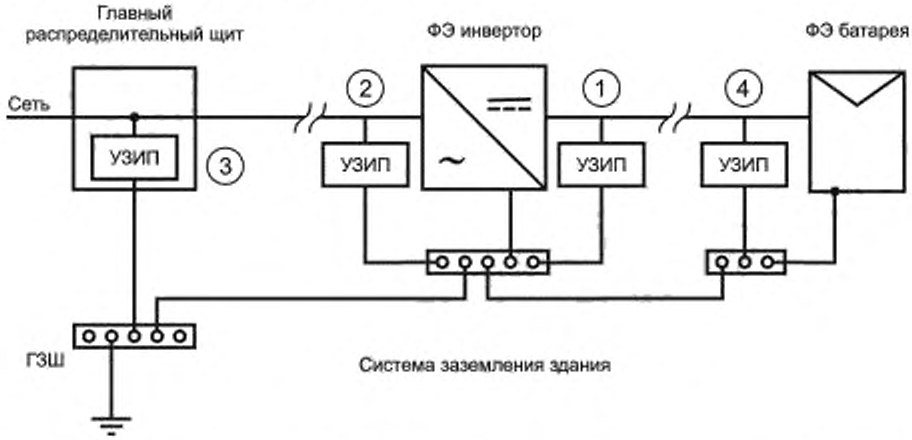
Таблица 1 — Выбор класса испытания УЗИП и площади поперечного сечения соединительного проводника

| | Класс испытания УЗИП и соответствующие площади поперечного сечения | | |
|---|---|---|---|
| Вариант установки<br><br>Установка УЗИП для ФЭС без внешней СМЗ (см. 6.2.1) | Место установки УЗИП<br><br>③<br><br>УЗИП, испытанные по классу I согласно IEC 61643-11[a], 16 мм$^2$<br>или<br>УЗИП, испытанные по классу II согласно IEC 61643-11[a], 6 мм$^2$ | Место установки УЗИП<br><br>②<br><br>УЗИП, испытанные по классу II согласно IEC 61643-11[a], 6 мм$^2$ | Место установки УЗИП<br><br>① и ④<br><br>УЗИП, испытанные по классу II согласно IEC 61643-31[a], 6 мм$^2$ |
| Установка УЗИП в здании с внешней СМЗ с соблюдением разделительного расстояния $s$ (см. 6.2.2) | УЗИП, испытанные по классу I согласно IEC 61643-11, 16 мм$^2$ | УЗИП, испытанные по классу II согласно IEC 61643-11, 6 мм$^2$ | УЗИП, испытанные по классу II согласно IEC 61643-31, 6 мм$^2$ |
| Установка УЗИП в здании с внешней СМЗ без соблюдения разделительного расстояния $s$ | УЗИП, испытанные по классу I согласно IEC 61643-11, 16 мм$^2$ | УЗИП, испытанные по классу I согласно IEC 61643-11[a], 16 мм$^2$ | УЗИП, испытанные по классу I согласно IEC 61643-31, 16 мм$^2$ |
| [a] При необходимости.<br><br>Примечание — Минимальные требования к площади поперечного сечения проводов в некоторых странах различаются. Эти различия объяснены в предисловии к IEC 62305-3. | | | |

Маркировка УЗИП по IEC 61643-31 содержит индекс «PV».

### 6.2 Требования для разных фотоэлектрических систем

#### 6.2.1 Фотоэлектрические системы без внешней СМЗ




1 — УЗИП, испытанные по классу II согласно IEC 61643-31; 2 — УЗИП, испытанные по классу II согласно IEC 61643-11. 3 — УЗИП, испытанные по классу I или по классу II согласно IEC 61643-11; 4 — УЗИП, испытанные по классу II согласно IEC 61643-31, ГЗШ — главная заземляющая шина

Рисунок 1 — Размещение УЗИП для ФЭС с фотоэлектрическими модулями, размещенными на здании без внешней СМЗ

В целом, как показано на рисунке 1, должны быть установлены два УЗИП на стороне постоянного тока (точки 1 и 4) и два УЗИП на стороне переменного тока относительно инвертора (точки 3 и 2).

Примечание — При использовании экранированного силового кабеля для постоянного тока подключаемое к такому кабелю оборудование уже имеет защиту от наведенных перенапряжений.

УЗИП в точке 2 не требуется, если:

- расстояние[1)] между УЗИП в главном распределительном щите и инвертором менее 10 м, а провод PE проложен совместно с силовыми проводами переменного тока (см. 9.1.3). В этом случае в главном распределительном щите в точке 3 устанавливают только одно УЗИП

или

- инвертор и главный распределительный щит подключены к одной шине заземления кабелями, длина каждого из которых менее или равна 0,5 м (например, инвертор расположен внутри главного распределительного щита).

УЗИП в точке 4 не требуется, если:

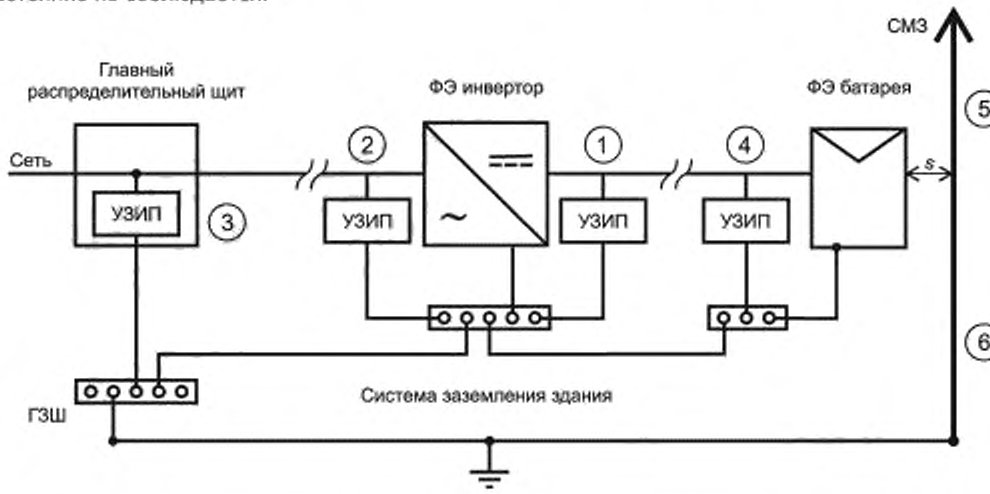
- расстояние[2)] между инвертором и фотоэлектрической батареей менее 10 м, а уровень защиты ($U_p$) УЗИП, установленного в точке 1, менее или равен 0.8 $U_w$ выдерживаемого напряжения фотоэлектрической батареи (см. 9.2.3)

или

- уровень защиты ($U_p$) УЗИП, установленного в точке 1, менее или равен 0,5 $U_w$ выдерживаемого напряжения фотоэлектрической батареи, а провод PE проложен близко к проводам постоянного тока.

**6.2.2 Фотоэлектрические системы с внешней СМЗ с соблюдением разделительного расстояния (*s*) (за исключением ФЭС, заземленных в нескольких точках, таких как фотоэлектрические солнечные электростанции)**

Данное решение является более предпочтительным по сравнению с тем, в котором разделительное расстояние не соблюдается.




*1* — УЗИП, испытанное по классу II согласно IEC 61643-31, *2* — УЗИП, испытанное по классу II согласно IEC 61643-11; *3* — УЗИП, испытанное по классу I согласно IEC 61643-11; *4* — УЗИП, испытанное по классу II согласно IEC 61643-31, *5* — молниеприемник СМЗ; *6* — токоотвод СМЗ, ГЗШ — главная заземляющая шина

Рисунок 2 — Размещение УЗИП для ФЭС установки с внешней СМЗ с соблюдением разделительного расстояния (*s*)

Меры по уменьшению разделительного расстояния (*s*) (например, многочисленные токоотводы или токоотводы, объединенные в сетчатую структуру) или использование внешней СМЗ, изолированной

1) Имеется в виду расстояние вдоль электрического кабеля, проложенного между точками 2 и 3.

2) Имеется в виду расстояние вдоль электрического кабеля, проложенного между инвертором и фотоэлектрической батареей.

от защищаемого строения (при этом фотоэлектрические модули и, возможно, другие компоненты ФЭС установлены на таком строении или интегрированы в его конструкции), являются предпочтительнее тех мер, которые определены в 6.2.3.

Внешнюю СМЗ, изолированную от защищаемого строения, можно применить исключительно вблизи ФЭС (как частично изолированную СМЗ).

В целом, как показано на рисунке 2, должны быть установлены два УЗИП на стороне постоянного тока (точки 1 и 4) и два УЗИП на стороне переменного тока относительно инвертора (точки 3 и 2).

УЗИП в точке 2 не требуется, если:

- расстояние [1] между УЗИП в главном распределительном щите и инвертором менее 10 м, а напряжением, наведенным от протекающего в токоотводе тока молнии, можно пренебречь (см. IEC 62305-4)

или

- инвертор и главный распределительный щит подключены к одной шине заземления кабелями, длина которых менее или равна 0,5 м (например, инвертор расположен внутри главного распределительного щита).

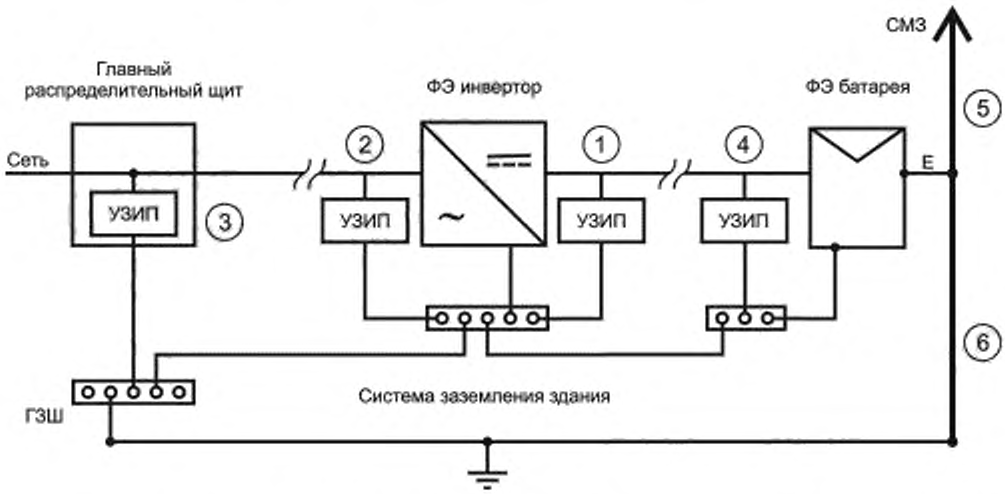
УЗИП в точке 4 не требуется, если:

- расстояние[2] между инвертором и фотоэлектрической батареей менее 10 м, а уровень защиты ($U_p$) УЗИП, установленного в точке 1, менее или равен 0,8 $U_w$ выдерживаемого напряжения фотоэлектрической батареи (см. 9.2.3)

или

- уровень защиты ($U_p$) УЗИП, установленного в точке 1, менее или равен 0,5 $U_w$ выдерживаемого напряжения фотоэлектрической батареи, а проводник PE проложен близко к проводникам постоянного тока.

**6.2.3 Фотоэлектрические системы с внешней СМЗ без соблюдения разделительного расстояния (*s*) (включая системы, заземленные в нескольких точках), такие как фотоэлектрические солнечные электростанции)**




*1* — УЗИП, испытанное по классу I согласно IEC 61643-31; *2* — УЗИП, испытанное по классу I согласно IEC 61643-11 (см. исключение ниже), *3* — УЗИП, испытанное по классу I согласно IEC 61643-11; *4* — УЗИП, испытанное по классу I согласно IEC 61643-31; *5* — молниеприемник СМЗ, *6* — токоотвод СМЗ; E — присоединение для уравнивания потенциалов (без соблюдения разделительного расстояния = неизолированная СМЗ); ГЗШ — главная заземляющая шина

Рисунок 3 — Размещение УЗИП для ФЭС с внешней СМЗ без соблюдения разделительного расстояния (*s*)

[1] Имеется в виду расстояние вдоль электрического кабеля, проложенного между точками УЗИП и инвертором.

[2] Имеется в виду расстояние вдоль электрического кабеля, проложенного между инвертором и фотоэлектрической батареей.

При защите с использованием УЗИП другим компонентам установки, подключенным к одним и тем же шинам, могут требоваться УЗИП, испытанные по классу I.

В данной конфигурации проводники переменного и постоянного токов действуют как параллельные проводники для проводников уравнивания потенциалов. На рисунке А.1 и в таблице А.1, а также в таблице А.2 (приложение А) дана дополнительная информация относительно выбора УЗИП.

В точках 1, 2, 3 и 4 требуются УЗИП, испытанные по классу I. УЗИП в точках 1 и 2 устанавливают максимально близко к инвертору, как показано на рисунке 3. УЗИП в точке 4 устанавливают максимально близко к фотоэлектрической батарее.

В целом, УЗИП в точках 2 и 3 следует устанавливать обязательно, за исключением ситуаций, когда инвертор и главный распределительный щит подключены к одной шине заземления кабелями, длина которых менее или равна 0,5 м (например, инвертор расположен внутри главного распределительного щита). В таких случаях установка УЗИП в точке 2 не обязательна.

**6.2.4 Цепи связи и сигнализации фотоэлектрических систем**

Если для силовых цепей требуются УЗИП, то следует рассмотреть необходимость их установки в цепях телекоммуникации и сигнализации. На рисунке С.1 (приложение С) приведен пример.

## 7 Уравнивание потенциалов

Системы заземления и защитные проводники в ФЭС должны отвечать требованиями IEC 60364-7-712. В настоящем стандарте представлена дополнительная информация.

Минимальная площадь поперечного сечения проводников уравнивания потенциалов должна отвечать требованиям IEC 60364-5-54, IEC 61643-12 и IEC 62305-3.

Если проводники уравнивания потенциалов рассматриваются как токоотводы, они должны быть изготовлены из меди с минимальной площадью поперечного сечения 50 мм$^2$ или иметь аналогичные характеристики.

Если проводники уравнивания потенциалов пропускают частичный ток молнии, они должны быть изготовлены из меди с минимальной площадью поперечного сечения 16 мм$^2$ или иметь аналогичные характеристики.

Если проводники уравнивания потенциалов пропускают только наведенный ток молнии, они должны быть изготовлены из меди с минимальной площадью поперечного сечения 6 мм$^2$ или иметь аналогичные характеристики.

Соединительные проводники, соединяющие токопроводящие части с заземляющей шиной, должны иметь минимальную площадь поперечного сечения 6 мм$^2$ для меди или иметь аналогичные характеристики.

В случае, если ФЭС не подключена к СМЗ, минимальная площадь поперечного сечения соединительных проводников, соединяющих разные заземляющие шины, и проводников, соединяющих шины с системой заземления, должна составлять 6 мм$^2$ для меди или иметь аналогичные характеристики.

Примечание — Минимальные требования к площади поперечного сечения проводов в некоторых странах различаются. Эти различия объяснены в предисловии к IEC 62305-3.

Компоненты, в которых будет протекать значительный частичный ток молнии, должны отвечать требованиям серии стандартов IEC 62561.

Если ФЭС защищена СМЗ, нужно соблюдать минимальное разделительное расстояние (*s*) между СМЗ и металлоконструкциями ФЭС во избежание протекания частичных токов молнии через эти конструкции. На рисунке С.2 (приложение С) приведен пример. Сечения всех проводников уравнивания потенциалов должны быть 6 мм$^2$, за исключением того, который показан на рисунке С.2 (приложение С), для проводников заземления УЗИП, испытанных по классу I, в главном распределительном щите.

Когда фотоэлектрическая батарея защищена СМЗ, но разделительное расстояние (*s*) соблюсти невозможно, обеспечивают непосредственное соединение между внешней СМЗ и металлоконструкцией фотоэлектрической батареи. Данное соединение должно выдерживать частичный ток молнии. В этом случае минимальная площадь поперечного сечения проводников уравнивания потенциала должна соответствовать рисунку С.3 (приложение С) и требованиям IEC 60364-5-54, IEC 61643-12 и IEC 62305-3. Сечения всех проводников уравнивания потенциалов должны составлять 16 мм$^2$, за исключением того, который используется для заземления инвертора, как показано на рисунке С.3 (приложение С).

## 8 Требования по установке УЗИП в фотоэлектрических системах

Установка УЗИП на стороне постоянного и переменного токов ФЭС не обязательна, если по результатам оценки риска не показано иное.

Для крупных ФЭС обычно применяют IEC 62305-2. Для менее крупных ФЭС могут применять другие методы оценки рисков, например описанные в IEC 61643-12, IEC 60364-4-44:2015 (раздел 443) для УЗИП на стороне переменного тока и IEC 60364-7-712 — для УЗИП на стороне постоянного тока.

Когда УЗИП установлены для защиты ФЭС, необходимо также обеспечить защиту любых цепей телекоммуникации и сигнализации, которые входят в ФЭС.

УЗИП должны соответствовать:

- IEC 61643-11 — для устройств защиты от импульсных перенапряжений, подключенных к низковольтным энергосистемам переменного тока;
- IEC 61643-31 — для устройств защиты от импульсных перенапряжений, устанавливаемых к фотоэлектрическим системам;
- IEC 61643-21 — для устройств защиты от импульсных перенапряжений, подключенных к линиям телекоммуникаций и сигнализации.

Дополнительно при выборе и установке УЗИП необходимо соблюдать правила установки, определенные:

- в IEC 60364-5-53:2015 (раздел 534), IEC 61643-12 и IEC 62305-4 — для защиты энергосистем переменного тока;
- IEC 61643-22 или IEC 62305-4 — для защиты систем управления и связи.

## 9 Выбор и установка УЗИП в фотоэлектрических системах

### 9.1 Выбор УЗИП, устанавливаемых на стороне переменного тока (AC)

#### 9.1.1 Общие сведения

При выборе и установке УЗИП для защиты стороны переменного тока ФЭС руководствуются правилами IEC 60364-5-53:2015 (раздел 534), IEC 61643-12 и IEC 62305-4. В настоящем стандарте учитываются только некоторые конкретные детали защиты оборудования на стороне переменного тока ФЭС.

Примечание — Напряжения между проводниками переменного тока и земли зависят от технологии инвертора и не всегда представляют собой чисто синусоидальные переменные напряжения. При выборе УЗИП для стороны переменного тока нужно учитывать искажение волны напряжения, например, если ожидаются значительные пики.

#### 9.1.2 Выбор УЗИП с учетом номинального разрядного тока $I_n$ и импульсного тока $I_{imp}$

Минимальный номинальный разрядный ток $I_n$ должен быть 5 кА 8/20 для каждого вида защиты УЗИП, класса испытаний II. Более высокий показатель может обеспечить более продолжительный срок службы УЗИП.

Если в точке соединения между фотоэлектрической установкой и сетью общего пользования (обычно в главном распределительном щите) требуется УЗИП класса испытаний I, это УЗИП должно иметь минимальный импульсный ток $I_{imp}$ в соответствии с требованиями IEC 60364-5-53:2015 (раздел 534) и IEC 61634-12.

Для данных установок могут требоваться более высокие значения $I_{imp}$, определенные в IEC 62305. Упрощенный подход к определению значения $I_{imp}$ в зависимости от риска по уровню защиты от молний (УЗМ) приведен в IEC 61643-12.

#### 9.1.3 Выбор УЗИП с учетом уровня напряжения защиты $U_p$

Чтобы выбрать УЗИП с подходящим уровнем напряжения защиты, необходимо определить номинальное импульсное напряжение $U_w$ оборудования и его уровень устойчивости к электромагнитным помехам, как определено в IEC 61000-4-5:

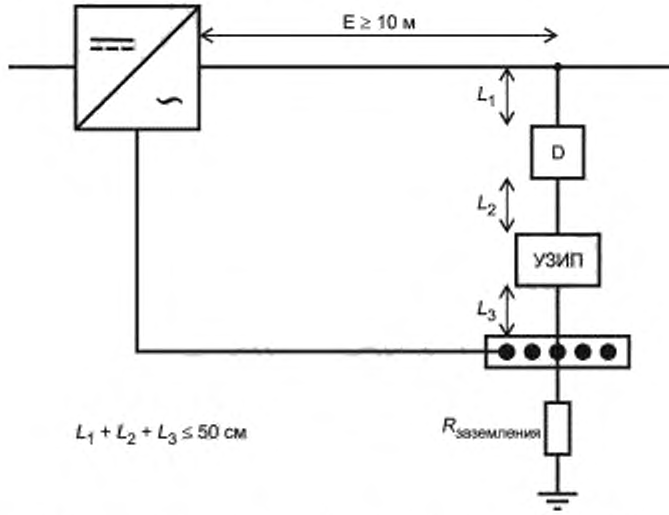
- для линий электропередачи и соответствующего оборудования подключения — по IEC 61000-4-5, IEC 60364-4-44:2015 (раздел 443) и IEC 60664-1;
- для линий сигнализации и соответствующего оборудования подключения — по IEC 61000-4-5, ITU-T K.20 и ITU-T K.21.

Для обеспечения эффективной защиты оборудования уровень напряжения защиты $U_p$ должен быть ниже, чем номинальное импульсное напряжение $U_w$ защищаемого оборудования. Как правило, следует поддерживать запас прочности не менее 20 % между номинальным импульсным напряжением

оборудования и уровнем напряжения защиты $U_p \leq 0,8$, кратным $U_w$ (см. IEC 61643-12 и IEC 62305-4). Возможные исключения описаны в IEC 60364-5-53:2015, раздел 534. Если не указано иное, допустимой категорией перенапряжения является категория II. Максимальное значение импульсного напряжения, которое (как ожидается) может достигнуть оборудования, составляет 2,5 кВ для систем 230/400 В переменного тока. Обычно для обеспечения этого условия требуется схема защиты с несколькими скоординированными УЗИП. Производители УЗИП могут предоставлять необходимую информацию для такой координации.

**9.1.4 Установка УЗИП на стороне переменного тока**

УЗИП должно быть установлено максимально близко к вводу в электрическую установку, например в точке подключения ФЭС к электросети (см. рисунок 4). Если длина прокладки проводников между данным УЗИП и инвертором (расстояние E) равна или более 10 м, рекомендуется обеспечить защиту инвертора дополнительным УЗИП, расположенным рядом с таким инвертором (см. рисунок 5). Также проводник PE должен быть проложен возле проводников переменного тока.

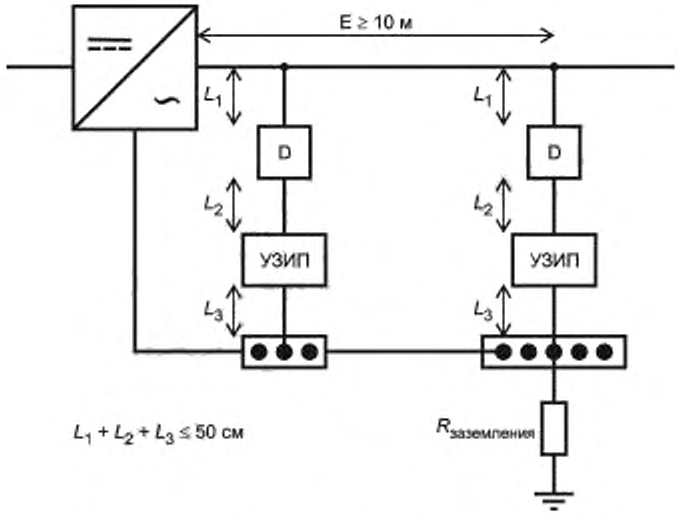



E — расстояние между вводом в систему и инвертором; $L_1$, $L_2$ и $L_3$ — длина соединительного кабеля; D — наружный разъединитель УЗИП

Рисунок 4 — Установка УЗИП на стороне переменного тока с малым расстоянием между вводом в установку и инвертором (E < 10 м)

Примечание — В описанном в 6.2.3 случае второе УЗИП для инвертора является обязательным.

Если общая длина проводников согласно рисунку 4 и рисунку 5 превышает 0,5 м, могут применяться требования, определенные в IEC 60364-5-53:2015, подпункт 534.4.8.




E — расстояние между вводом в систему и инвертором; $L_1$, $L_2$ и $L_3$ — длина соединительного кабеля, D — наружный разъединитель УЗИП

Рисунок 5 — Установка УЗИП на стороне переменного тока с большим расстоянием между вводом в установку инвертором (E ≥ 10 м)

### 9.2 Выбор УЗИП, устанавливаемых на стороне постоянного тока (DC)

#### 9.2.1 Общие положения

Выбор и установку УЗИП для защиты стороны постоянного тока ФЭС следует выполнять в соответствии с IEC 60364-7-712. В настоящем стандарте представлена дополнительная информация.

Ввиду особенностей выходных характеристик фотоэлектрического оборудования на стороне постоянного тока ФЭС устанавливают только УЗИП, специально предназначенные для такого применения. Эти УЗИП должны отвечать требованиям IEC 61643-31.

#### 9.2.2 Выбор УЗИП с учетом номинального разрядного тока $I_n$ и импульсного тока $I_{imp}$

Минимальный номинальный разрядный ток $I_n$ должен составлять 5 кА 8/20 для каждого вида защиты УЗИП класса испытаний II. Более высокое значение может обеспечить более продолжительный срок службы УЗИП.

Выбор импульсного тока $I_{imp}$ для УЗИП класса испытаний I следует проводить в соответствии с приложением А. Если данных для применения приложения А недостаточно, то минимальный импульсный ток $I_{imp}$ должен составлять 12,5 кА для каждого вида защиты при уровне защиты от молнии (УЗМ) III/IV в соответствии с IEC 60364-7-712.

#### 9.2.3 Выбор $U_{C\ PV}$ УЗИП, устанавливаемых на стороне постоянного тока (DC)

Максимальное длительное рабочее напряжение $U_{C\ PV}$ для всех видов защиты УЗИП (+/-, +/земля и -/земля) должно быть выше или равно максимальному напряжению холостого хода $U_{OC\ MAX}$ фотоэлектрической батареи в условиях эксплуатации, для которой предназначена ФЭС (дополнительная информация дана в приложении В).

Примечание — Форма огибающей напряжения между проводниками постоянного тока и землей зависит от технологии инвертора и не всегда является равномерной по постоянному току. При выборе УЗИП на стороне постоянного тока следует учитывать пульсацию постоянного тока.

#### 9.2.4 Выбор УЗИП с учетом уровня напряжения защиты $U_p$

Для определения необходимого уровня защиты нужно определить номинальное импульсное напряжение $U_w$ оборудования или уровень устойчивости оборудования (см. IEC 61000-4-5) на:

- силовых клеммах по IEC 60664-1 и IEC 61000-4-5,
- сигнальных и телекоммуникационных портах по IEC 61000-4-5, ITU-T K.20 и ITU-T K.21.

Для обеспечения эффективной защиты оборудования уровень напряжения защиты $U_p$ должен быть ниже номинального импульсного напряжения $U_w$ оборудования, подлежащего защите. В целом

должен быть обеспечен запас прочности минимум 20 % между номинальным импульсным напряжением оборудования и $U_p \leq 0{,}8U_w$ (см. IEC 62305-4). К тому же, проводник PE должен быть проложен возле проводников постоянного тока. Если дополнительная информация отсутствует, номинальное импульсное напряжение $U_w$ для оборудования можно выбрать в таблице 2.

Для цепей с УЗИП, состоящих из сочетания однополюсных УЗИП (A,B,C…X,Y,Z, как показано на рисунках 7 и 8) или многополюсных УЗИП, в которых не все возможные виды защиты заявлены изготовителем, уровень напряжения защиты отдельных УЗИП необходимо добавить для получения общего уровеня напряжения защиты.

Таблица 2 — Номинальное импульсное напряжение $U_w$ для оборудования между фотоэлектрической батареей и инвертором (когда отсутствует другая информация)

| $U_{x.x\ max}$, В | $U_w$, В | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Модуль класса B,[g] основная изоляция[a] | Инвертор[b] | Другое оборудование[c] | Модули класса A[g] и другое оборудование с двойной/усиленной изоляцией[f] |
| 100 | 800 | 2500 (минимальное требование) | 800 | 1500 |
| 150 | 1500 | | 1500 | 2500 |
| 300 | 2500 | | 2500 | 4000 |
| 424 | 4000 | 2500 (минимальное требование) | 4000 | 4000 |
| 600 | 4000 | 4000 | 4000 | 6000 |
| 800[d] | 5000 | | 5000 | 6000 |
| 849 | 6000 | | 6000 | 8000 |
| 1000 | 6000 | 6000 | 6000 | 8000 |
| 1500[e] | 8000 | 8000 | 8000 | 12000 |

Все номинальные импульсные напряжения соответствуют категории перенапряжения II.

[a] IEC 61730-2:2004, основная изоляция (таблица 8).

[b] IEC 62109-1:2010, подпункт 7.3.7.1.2, перечисление b).

[c] $U_w$ по IEC 60664-1:2007.

[d] В соответствии с IEC 61730-2:2004 допускается линейная интерполяция, которая была применена к настоящей таблице для ясности.

[e] Рекомендованные значения, основанные на к IEC 60664-2-1:2011, приложение D.

[f] Двойная/усиленная изоляция является защитным средством, поэтому уровни напряжения защиты УЗИП не должны превышать номинальное импульсное напряжение базовой изоляции, указанной в графах 2—4 настоящей таблицы.

[g] Дополнительная информация по классу A и классу B дана в IEC 61730:2004.

К кабелям, подлежащим защите от прямых попаданий, относятся:

- кабели силовой цепи постоянного тока, идущие от фотоэлектрической батареи к инвертору;
- кабели передачи сигналов, которые соединяют датчики с оборудованием управления, и кабели передачи данных, идущие от входа в ФЭС до технических средств управления, при наличии.

### 9.2.5 Установка УЗИП на стороне постоянного тока

Для ФЭС, описанных в 6.2.1 и 6.2.2, когда расстояние E между ФЭ модулями и инвертором по длине прокладки кабеля равно или превышает 10 м, необходимы два набора УЗИП для обеспечения достаточной защиты фотоэлектрических модулей и инвертора (см. рисунок 6).

Для ФЭС, описанных в 6.2.1 и 6.2.2, когда расстояние E между защищаемыми блоками по длине прокладки кабеля меньше 10 м, может быть достаточно одного набора УЗИП. Для обычных фотоэлектрических модулей можно предположить, что их номинальное импульсное напряжение выше, чем номинальное импульсное напряжение $U_w$ инвертора. Поэтому рекомендуется устанавливать УЗИП рядом с инвертором.

Общая длина проводников подключения ($L_1$+$L_2$) должна быть как можно короче (предпочтительно не более 0,5 м для общей длины проводников).

Если общая длина проводников согласно рисунку 6 превышает 0,5 м, могут применяться требования, определенные в IEC 60364-5-53:2015, пункт 534.4.8.

Примечание — В описанном в 6.2.3 случае второе УЗИП для инвертора является обязательным.

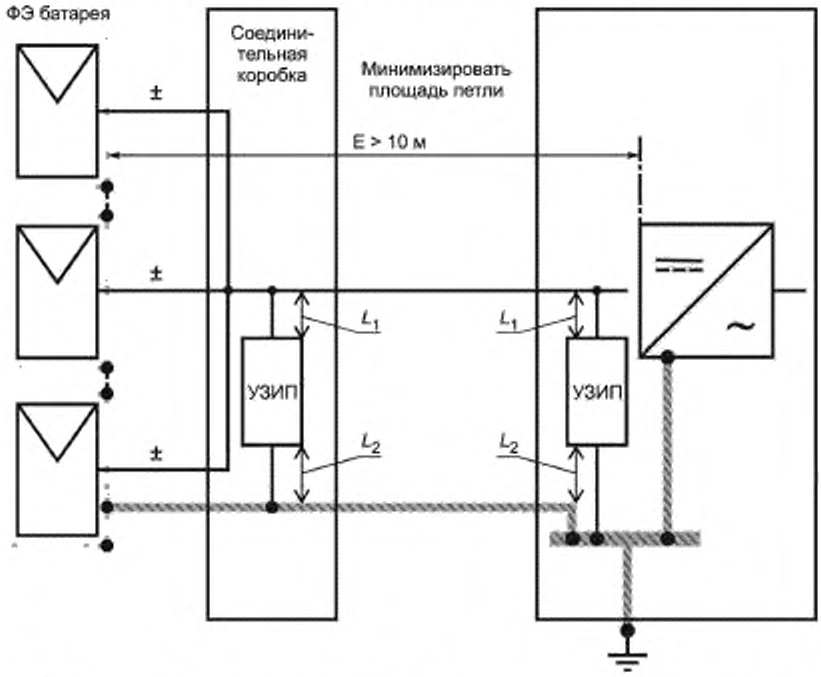



Рисунок 6 — Пример защиты от перенапряжения на стороне постоянного тока ФЭС

**9.2.6 Площадь поперечного сечения соединительных проводников для УЗИП, устанавливаемых на стороне постоянного тока (DC)**

При подключении УЗИП руководствуются следующими правилами:

Проводники заземления УЗИП класса испытаний должны иметь минимальную площадь поперечного сечения 16 мм$^2$ для меди или аналогичные показатели.

Проводники заземления УЗИП класса испытаний I с видом защиты в режиме отказа «короткое замыкание» должны иметь минимальную площадь поперечного сечения, равную площади поперечного сечения соответствующих токоведущих проводников, если она более 16 мм$^2$.

Проводники заземления УЗИП класса испытаний II должны иметь минимальную площадь поперечного сечения 6 мм$^2$ для меди или аналогичные показатели.

Проводники заземления УЗИП класса испытаний II с видом защиты в режиме отказа «короткое замыкание» должны иметь минимальную площадь поперечного сечения, равную площади поперечного сечения соответствующих токоведущих проводников, если она более 6 мм$^2$.

Примечание — Минимальные требования к площади поперечного сечения проводов в некоторых странах различаются. Эти различия объяснены в Предисловии к IEC 62305-3.

Номинальное значение тока короткого замыкания УЗИП ($I_{SC\ PV}$) должно быть скоординировано с ожидаемым током короткого замыкания ФЭС на месте установки, а площадь поперечного сечения соединительных проводников должна быть рассчитана на этот ток с учетом максимального времени отключения максимальной дублирующей защиты от сверхтока.

Площадь поперечного сечения соединительных проводников для УЗИП с режимом отказа «короткое замыкание», а также для УЗИП с режимом отказа «обрыв цепи» должна соответствовать характеристикам разъединителей, встроенных в УЗИП (при наличии), при испытании на предмет поведения УЗИП в режиме отказа по IEC 61643-31.

Проводники, соединяющие УЗИП и устройства защиты от импульсных сверхтоков (при наличии) с токоведущими проводниками, должны выдерживать ожидаемый ток короткого замыкания и должны иметь площадь поперечного сечения, не менее:

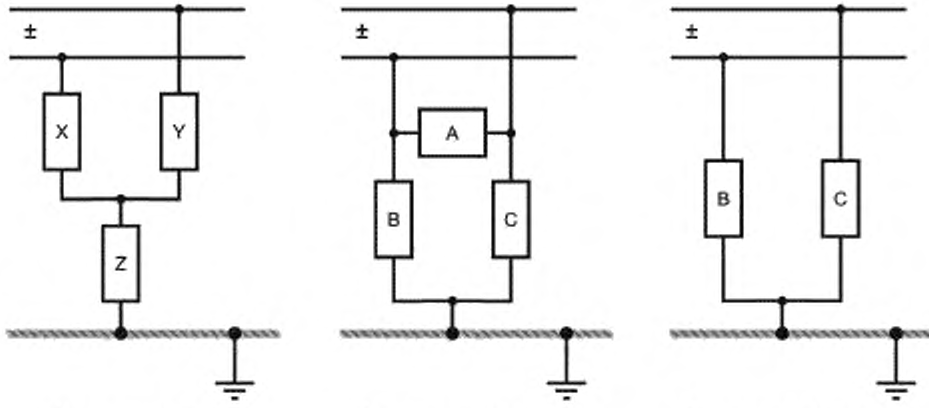
- 2,5 мм$^2$ — для меди или аналогичного материала для УЗИП класса испытаний II, установленных на стороне постоянного тока;
- 6 мм$^2$ — для меди или аналогичного материала для УЗИП класса испытаний I, установленных на стороне постоянного тока.

**9.2.7 Схемы внутренних соединений многополюсных УЗИП или комбинаций включения УЗИП с одним видом защиты на стороне постоянного тока (DC)**

Примеры присоединения УЗИП к ФЭС приведены на рисунках 7 и 8.

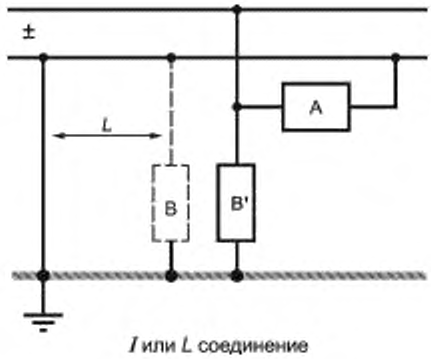
Защита может представлять собой как сочетание однополюсных УЗИП с одним видом защиты (A, B, C…X, Y, Z) (см. рисунки 7 и 8), так и многополюсный УЗИП с несколькими видами защиты. Защитные компоненты, используемые в УЗИП, могут быть ограничивающего, коммутирующего типов или представлять собой сочетание обоих типов (комбинированные). Элементы УЗИП (A, B, C, X, Y и Z) также называют токовой ветвью УЗИП. Такая токовая ветвь может отличаться от отдельного вида защиты многополюсного УЗИП (например, при включении звездой и треугольником). Элементы X, Y и Z могут быть тремя одинаковыми УЗИП с одним видом защиты.

Примечание — Если уровень напряжения защиты для каждого вида защиты не заявлен производителем, то уровни напряжения защиты отдельных однополюсных УЗИП суммируются для получения общего уровня напряжения защиты.




Соединение в звезду | Соединение в треугольник | Параллельное соединение с общим заземляющим проводом

Рисунок 7 — Пример подключений УЗИП на стороне постоянного тока ФЭС при незаземленной фотоэлектрической батарее




*I* или *L* соединение

Примечания

1 Элемент B может не потребоваться, если расстояние *L* между B и надежным заземлением менее 1 м.

2 *I* и *L* — конфигурации соединения. Конфигурация *I* отмечена пунктиром.

Рисунок 8 — Пример подключений УЗИП на стороне постоянного тока ФЭС источника с надежным заземлением

### 9.2.8 Выбор $I_{SC\ PV}$ УЗИП, устанавливаемых на стороне постоянного тока (DC)

Если УЗИП переходит в состояние с низким сопротивлением в конце срока службы, то ток короткого замыкания будет зависеть от количества конечных фотоэлектрических цепочек, места установки УЗИП и уровня энергетической освещенности. Из-за нелинейных характеристик фотоэлектрических модулей их ток короткого замыкания выше, чем ток в точке максимальной мощности. Это осложняет обнаружение короткого замыкания в ФЭС, так как образующиеся токи короткого замыкания могут не вызывать срабатывание устройств защиты от сверхтоков, таких как предохранители или автоматические выключатели. Это также действительно и для внешних устройств защиты от сверхтоков или устройств защиты от сверхтоков, которые интегрированы в УЗИП.

Номинальный ток короткого замыкания $I_{SC\,PV}$ УЗИП должен быть равен или больше максимального тока короткого замыкания $I_{sc\,max}$ фотоэлектрической батареи на месте установки УЗИП. Дополнительная информация дана в приложении B.

УЗИП, установленное на стороне постоянного тока ФЭС, может получить повреждения по следующим причинам:

- тепловой пробой в результате большого количества ударов молний, не превышающих номинал устройств, но приводящих к медленной деградации их внутренних компонентов;
- внезапный отказ в результате нагрузки, превышающей номинал устройств и тем самым ведущей к внезапному ухудшению их полного сопротивления.

Таким образом, УЗИП необходимо оборудовать специальным защитным устройством, подходящим для работы в условиях любого солнечного излучения (повышенного или пониженного) независимо от того, какой уровень тока выдает фотоэлектрическая батарея. К устройствам, которые могут обеспечить безопасное отключение или безопасное короткое замыкание внутри УЗИП, относятся:

- встроенные разъединители для перехода в режим отказа «обрыв цепи» (OCFM), при котором УЗИП отключается от источника постоянного тока;
- наружные разъединители, установленные последовательно с УЗИП и согласованные с характеристиками УЗИП при перегрузке для перехода в режим отказа «обрыв цепи» (OCFM) (например, плавкие предохранители или другие аналогичные компоненты защиты от сверхтоков);
- комбинация вышеупомянутых средств;
- внутренние средства защиты от короткого замыкания УЗИП (средства КЗ), которые способны справляться с током $I_{SC\ PV}$ в течение неограниченного времени для достижения безопасного режима отказа «короткое замыкание» (SCFM).

Примечания

1 Не все ФЭС и инверторы способны выдерживать короткое замыкание на стороне постоянного тока. Устойчивое короткое замыкание на землю может представлять риск в некоторых системах. Другие стандартные установки могут требовать наружные разъединители. Дополнительная информация дана в IEC 60364-7-712.

2 Дополнительные требования могут предъявляться, когда к цепям постоянного тока подключены аккумуляторные батареи, потому что токи короткого замыкания, образуемые такими аккумуляторными батареями, могут быть значительно выше максимального значения тока короткого замыкания тока фотоэлектрической батареи.

Характеристики устройств, используемых в целях разъединения или короткого замыкания, должны быть определены изготовителем УЗИП.

Типы отказа УЗИП следующие:

- режим отказа «обрыв цепи» (OCFM) или
- режим отказа «короткое замыкание» (SCFM).

Влияние компонентов защиты (например, разъединителей, средств защиты от КЗ и т. д.) на систему постоянного тока следует учитывать исходя из информации, предоставленной изготовителем УЗИП.

Ввиду возможной опасности для людей и имущества, которую представляет образование дуги постоянного тока во время замены подключаемых УЗИП в режиме короткого замыкания, подходящие средства разъединения должны быть заявлены изготовителем. Средства разъединения должны иметь изолирующую способность и способность коммутации нагрузки до $I_{sc\ max}$.

**9.2.9 Координация УЗИП**

Координация УЗИП в установке крайне важна. Дополнительная информация приведена в IEC 61643-12. Необходимо соблюдать указания изготовителя о надлежащей координации между УЗИП.

## 10 Техническое обслуживание

УЗИП устанавливают так, чтобы их было легко осматривать.

Примечание — Обслуживание — в соответствии с рекомендациями изготовителя по обслуживанию устройств УЗИП.

**Приложение А**
**(обязательное)**

## Определение значения $I_{imp}$ или $I_n$ для УЗИП согласно упрощенному подходу для различных зданий (сооружений), защищенных СМЗ

### А.1 Общие сведения

В серии IEC 62305 используется общий подход к защите зданий от молний. Целью является защита всей установки от прямых ударов молнии (защита самого строения) и от наведенных перенапряжений (защита сетей, питающих установку). Она основана на полном анализе рисков в соответствии с IEC 62305-2. Для каждой конкретной ситуации по результатам анализа рисков анализируемой установке присваивают уровень риска в диапазоне от I до IV, так называемый уровень защиты от молний (УЗМ). При необходимости система молниезащиты (СМЗ) (которая представляет защиту самого здания) будет спроектирована и создана для защиты строения согласно потребностям УЗМ.

Для установок, оборудованных СМЗ, использование УЗИП, испытанных по классу I, требуется для защиты сетей на входе здания (ввод в установку). Фактически после прямого удара молнии значительная часть тока, пропускаемого СМЗ, попадает через общую систему заземления во внутренние цепи здания.

Упрощенный подход к защите на стороне переменного тока ФЭС приведен в IEC 61643-12.

Определение $I_{imp}$ является следствием такого УЗМ.

В настоящем приложении описан упрощенный подход к определению значений $I_{imp}$ для стороны постоянного тока разных ФЭС.

Для расчета ожидаемого распределения тока можно использовать числовые переходные сетевые программы.

Измерения и моделирование показали, что сокращение продолжительности 10/350-мкс волны частичного тока молнии в кабелях постоянного тока посредством УЗИП постоянного тока является характеристикой для распределения тока молнии в зданиях, на крыше которых установлены фотоэлектрические модули ФЭС. Чтобы сравнить такое содержание энергии с параметрами УЗИП, определенными в IEC 61643-31, реальные значения необходимо преобразовать в приведенный импульсный ток молнии 10/350 мкс путем расчета эквивалентной энергии импульса.

Частичный ток молнии, который протекает через УЗИП в систему постоянного тока, зависит от:

- класса СМЗ;
- удельного сопротивления земли;
- числа внешних токоотводов в законченной системе;
- расстояния (длины провода) между уровнем крыши и местоположением инвертора или шины уравнительного соединения на уровне земли;
- общего сопротивления УЗИП (в зависимости от того, относится ли устройство к ограничивающему или коммутирующему типу).

Благодаря конфигурации токоотводов и эффективному подключению УЗИП параллельно этим токоотводам ток через УЗИП изменяется по сравнению с обычной формой волны 10/350 мкс. Таким образом, УЗИП следует испытывать импульсом 8/20 мкс, равным расчетному пиковому току, а для расчетной энергии — со стандартизованным импульсом 10/350 мкс.

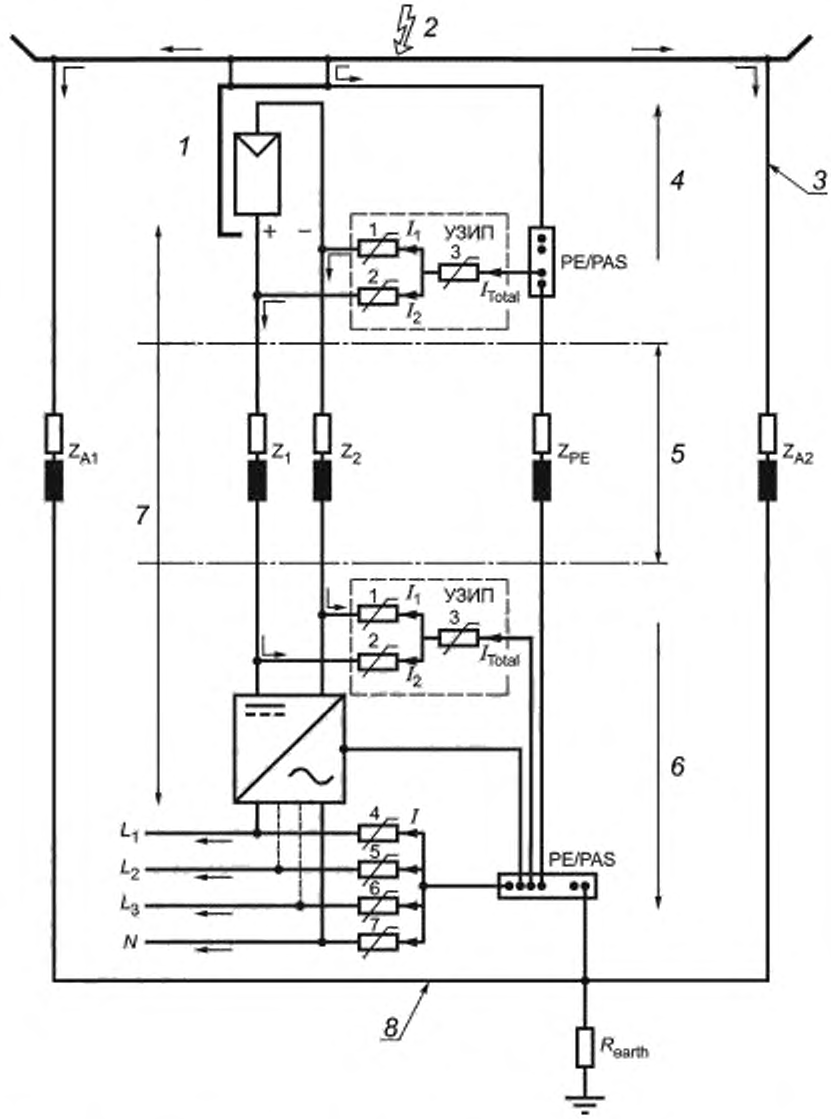
Результаты расчетов для разных вариантов ФЭС кратко приведены в настоящем приложении. В таблицах А.1, А.2 и А.3 дано руководство по выбору УЗИП и выбору испытательных значений для каждого вида защиты и $I_{Total}$ для многополюсных УЗИП.

Кабели фотоэлектрического оборудования, через которые может протекать частичный ток молнии, прокладывают вдали от других электроустановок.

### А.2 ФЭС, фотоэлектрические модули которых размещают на крыше здания (по 6.2.3 настоящего стандарта)

В настоящем разделе указано, как определить значение пикового разрядного тока на стороне постоянного тока ФЭС с внешней СМЗ, если разделительное расстояние не соблюдено и металлические части фотоэлектрических модулей соединены с токоотводами системы молниезащиты (СМЗ).

Приведенный на рисунке А.1 пример основан на измерениях и моделировании конструкции здания с двумя наружными вертикальными токоотводами и УЗИП ограничивающего типа. Для данной конфигурации получены разные значения $I_{imp}$ (10/350 мкс) и $I_n$ (8/20 мкс) в таблице А.1.




*1* – монтажная рама(мы) фотоэлектрической батареи; *2* – уровень защиты от удара молнии I (УЗМ I), 100 % тока молнии; *3* — внешний токовод, смонтированный на каждой стороне здания; *4* — уровень крыши; *5* — расстояние между подвальным уровнем и уровнем крыши; *6* — подвальный уровень земли, *7* — конструкция здания; *8* — система заземления; $Z_{A1}$...$Z_{A2}$ – сопротивление внешних токоотводов; $Z_1$...$Z_2$ – сопротивление силового проводника постоянного тока; $Z_{PE}$ — сопротивление проводника уравнивания потенциалов; PE/PAS — шина уравнивания потенциалов, $I_1$...$I_2$ — ток, протекающий через каждый полюс (или ответвление) УЗИП постоянного тока (1, 2); $I_{Total}$ — общий ток, протекающий через УЗИП постоянного тока (3); $I_4$... $I_7$ — ток, протекающий через каждый полюс УЗИП переменного тока (4...7)

Рисунок А.1 — Пример конфигурации с двумя внешними токоотводами для определения значения разрядного тока для выбора УЗИП

Таблица А.1 — Значения $I_{imp}$ ($I_{10/350}$) и $I_n$ ($I_{8/20}$) для УЗИП ограничивающего типа, устанавливаемые на стороне постоянного тока ФЭС, фотоэлектрические модули которых размещают на крыше здания, с внешней СМЗ без соблюдения разделительного расстояния

| УЗМ Максимальный ток, соответствующий УЗМ (10/350), кА | | Количество внешних токоотводов | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | <4 | | ≥4 | |
| | | Значения класса испытания I для УЗИП ограничивающего типа, основанные на выборе $I_{8/20}$ (8/20 мкс) и $I_{10/350}$ (10/350 мкс) | | | |
| | | $I_{SPD1} = I_{SPD2}\ I_{8/20}/I_{10/350}$ | $I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{Total}\ I_{8/20}/I_{10/350}$ | $I_{SPD1} = I_{SPD2}\ I_{8/20}/I_{10/350}$ | $I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{Total}\ I_{8/20}/I_{10/350}$ |
| I или неизвестно | 200 | 17/10 | 34/20 | 10/5 | 20/10 |
| II | 150 | 12,5/7,5 | 25/15 | 7,5/3,75 | 15/7,5 |
| III или IV | 100 | 8,5/5 | 17/10 | 5/2,5 | 10/5 |

УЗИП ограничительного типа могут также представлять собой комбинацию УЗИП с компонентами, ограничивающими и коммутирующими напряжение с последовательным включением.

Для данного применения есть два варианта при использовании УЗИП ограничивающего типа:

- использование УЗИП, испытанного по классу I при $I_{imp} = I_{10/350}$ и по классу II при $I_n = I_{8/20}$, определенных в таблице А.1;
- использование УЗИП, испытанного только по классу I при $I_{imp}$, равном пиковому значению, требуемому для $I_{8/20}$, определенному в таблице А.1.

Пример УЗМ по классу III и IV менее чем с 4 токоотводами: можно выбирать УЗИП, испытанные:

- по классу I при $I_{imp}$ минимум 5 кА для каждого вида защиты и по классу II при $I_n$ минимум 8,5 кА для каждого вида защиты;
- или только по классу I при $I_{imp}$ минимум 8,5 кА для каждого вида защиты.

В зависимости от сопротивления и других характеристик УЗИП разных типов значения распределения тока для коммутирующих напряжение УЗИП отличаются от значений для ограничивающих напряжение УЗИП. Для выбора коммутирующих напряжение УЗИП по классу испытания I значения $I_{imp} = I_{10/350}$ определены в таблице А.2.

Таблица А.2 — Значения $I_{imp}$ ($I_{10/350}$) для УЗИП коммутационного типа, устанавливаемые на стороне постоянного тока ФЭС, фотоэлектрические модули которых размещают на крыше здания, с внешней СМЗ без соблюдения разделительного расстояния

| УЗМ Максимальный ток, соответствующий УЗМ (10/350), кА | | Количество внешних токоотводов | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | <4 | | ≥4 | |
| | | Значения класса испытания I для УЗИП коммутирующего типа | | | |
| | | $I_{SPD1} = I_{SPD2}/I_{10/350}$ | $I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{Total}/I_{10/350}$ | $I_{SPD1} = I_{SPD2}/I_{10/350}$ | $I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{Total}/I_{10/350}$ |
| I или неизвестно | 200 | 25 | 50 | 12,5 | 25 |
| II | 150 | 18,5 | 37,5 | 9 | 18 |
| III или IV | 100 | 12,5 | 25 | 6,25 | 12,5 |

УЗИП коммутирующего типа могут также представлять собой комбинацию УЗИП с компонентами, ограничивающими и коммутирующими напряжение с параллельным включением.

Если разделительное расстояние (*s*) не соблюдено и требуется металлическое соединение между СМЗ и рамой фотоэлектрического модуля или монтажной конструкцией, рекомендуется использовать экранированный кабель для проводов постоянного тока. В этом случае экран должен быть способен пропускать частичный ток молнии, равный $I_{Total}$. Экран должен быть заземлен с обоих концов.

В случае нескольких фотоэлектрических батарей в составе одной ФЭС с несколькими УЗИП (по одному для каждой батареи) значение тока 8/20 и 10/350, определенное по таблицам А.1 и А.2, можно снизить с учетом распределения тока между разными УЗИП.

**А.3 Фотоэлектрические солнечные электростанции свободной планировки, размещаемые на земле**

В настоящем разделе указано, как можно определить значение пикового разрядного тока на стороне постоянного тока ФЭС с внешней СМЗ.

Далее рассмотрен упрощенный подход на примере ФЭС, размещенной на земле и занимающей большую площадь. Такие фотоэлектрические солнечные электростанции свободной планировки характеризуются заземлением в нескольких местах и заземляющим устройством в виде сетки с размером ячеек сетки 20 × 20 м. Это дает значения $I_{imp}$, приведенные в таблице А.3.

ФЭС, размещенная на земле, представляет собой изолированное строение ($C_D$ = 1), расположенное в сельской местности ($C_E$ = 1).

Такие ФЭС обычно подключаются к сети посредством высоковольтной ($c_T$ = 0,2) трехфазной воздушной ($c_I$ = 1) незкранированной ($C_{LD}$ = 1, $P_{LD}$ = 1) линии электропередач, длину которой можно принять равной 5 км, если нет более подробной информации.

Примечание — Подробная информация относительно управления рисками дана в IEC 62305-2.

Низковольтные линии электропередач подключают к главному щиту, к которому подключен инвертор или инверторы ФЭС. PE проводник обычно находится в том же кабеле, что и фазные проводники.

Линия сигнализации, подключенная к оборудованию управления и наблюдения, может входить в ФЭС.

Частичный ток молнии, который протекает через УЗИП в систему постоянного тока, зависит от:

- класса СМЗ. Для фотоэлектрических солнечных электростанций, размещенных на земле, УЗМ III, как правило, достаточно;
- удельного сопротивления земли. Более высокое удельное сопротивление земли приводит к протеканию более высоких частичных токов в систему постоянного тока через УЗИП;
- размера сетки заземляющего устройства. Больший размер сетки приводит к протеканию более высоких частичных токов в систему постоянного тока через УЗИП;
- общего сопротивления УЗИП (в зависимости от того, используется устройство ограничивающего или коммутирующего типа);
- структуры инверторного оборудования (централизованная — один общий инвертор или распределенная — несколько инверторов для каждой конечной фотоэлектрической цепочки). В случае централизованной структуры инверторного оборудования частичные токи молнии протекают через кабели постоянного тока. В случае распределенной структуры инверторного оборудования частичные токи молнии протекают через кабели переменного тока.

Измерения и моделирование показали сокращение продолжительности 10/350 мкс волны частичного тока молнии, поданного на кабели постоянного тока с УЗИП постоянного тока.

Это — характеристика распределения тока молнии на фотоэлектрических солнечных электростанциях свободной планировки, расположенных на земле, характеризующихся заземлением в нескольких местах и заземляющим устройством в виде сетки. Чтобы сравнить эту энергоемкость с параметрами УЗИП, определенными в IEC 61643-31, реальные значения необходимо преобразовать в приведенный импульсный ток молнии 10/350 мкс путем расчета эквивалентной энергии импульса.

УЗИП ограничивающего типа могут также представлять собой комбинацию УЗИП с компонентами, ограничивающими и коммутирующими напряжение с последовательным включением.

УЗИП коммутирующего типа могут также представлять собой комбинацию УЗИП с компонентами, ограничивающими и коммутирующими напряжение с параллельным включением.

Для данного применения существует три варианта:

- использование УЗИП ограничивающего типа, испытанных по классу I при $I_{imp} = I_{10/350}$ и испытанных по классу II при $I_n = I_{8/20}$ по таблице А.3 для УЗИП ограничивающего типа;
- использование УЗИП ограничивающего типа, испытанных по классу I только при $I_{imp}$, равном пиковому значению, требуемому для $I_{8/20}$ в таблице А.3;
- использование УЗИП коммутирующего типа, испытанных по классу I при $I_{imp} = I_{10/350}$ по таблице А.3 для УЗИП коммутирующего типа.

Например, можно выбрать:

- УЗИП ограничивающего типа:

испытанные по классу I при $I_{imp}$ минимум 5 кА для каждого вида защиты и испытанные по классу II при $I_n$ как минимум 15 кА для каждого вида защиты

или испытанные только по классу I при $I_{imp}$ минимум 15 кА для каждого вида защиты;

- или (при использовании) УЗИП коммутирующего типа:

испытанные только по классу I при $I_{imp}$ минимум 10 кА для каждого вида защиты.

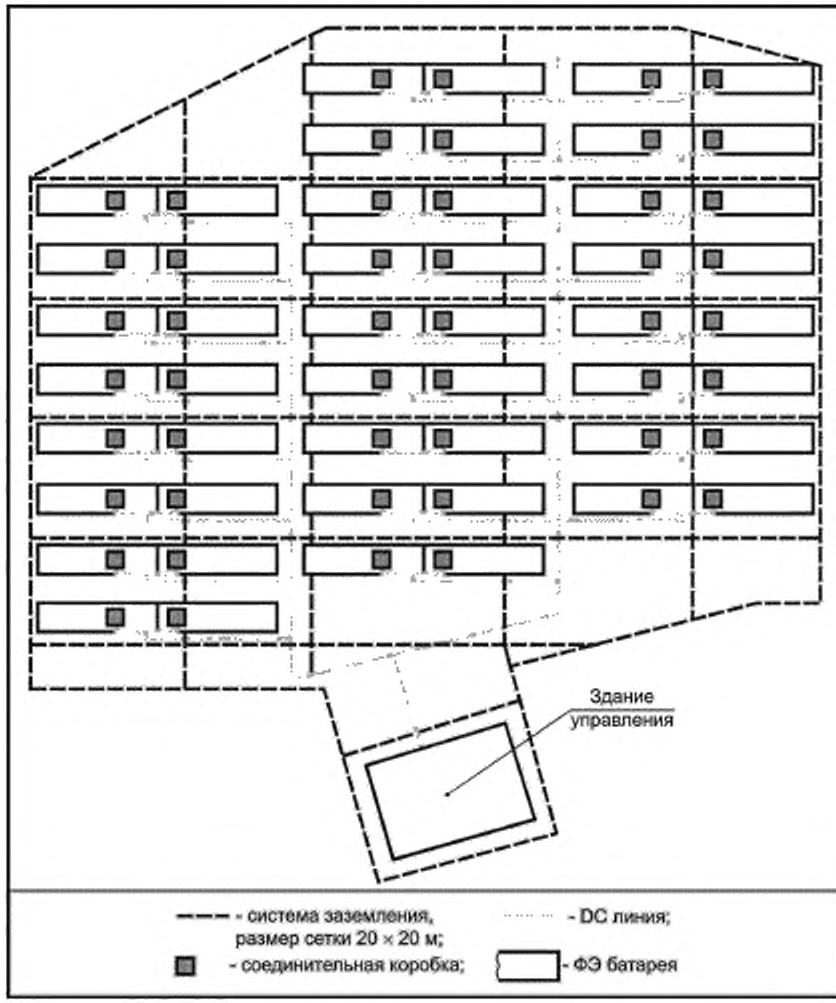



Рисунок А.2 — Пример структуры крупной ФЭС, размещенной на земле. Фотоэлектрическая солнечная электростанция с заземлением в нескольких местах и с заземляющим устройством в виде сетки

Таблица А.3 — Значения $I_{imp}$ ($I_{10/350}$) и $I_n$ ($I_{8/20}$) для УЗИП, устанавливаемых на стороне постоянного тока фотоэлектрических солнечных электростанций с одним общим инвертором, заземлением в нескольких местах и заземляющим устройством в виде сетки

| УЗМ Максимальный ток, соответствующий УЗМ (10/350), кА | | УЗИП, подключенные со стороны постоянного тока $I_{imp}$ в кА (10/350 мкс), $I_n$ в кА (8/20 мкс) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | УЗИП ограничивающего типа, кА | | | | УЗИП коммутирующего типа, кА | |
| | | $I_{10/350}$ | | $I_{8/20}$ | | $I_{10/350}$ | |
| | | Каждый вид защиты | $I_{Total}$ | Каждый вид защиты | $I_{Total}$ | Каждый вид защиты | $I_{Total}$ |
| III или IV | 100 | 5 | 10 | 15 | 30 | 10 | 20 |

Примечание — Таблица А.3 может не включать прямое попадание в здание, в котором расположен инвертор (здание эксплуатации). Если такой случай следует учитывать, нужно провести соответствующие имитационные испытания.

Также рекомендовано использовать экранированный кабель для проводов постоянного тока между фотоэлектрической батареей и единственным общим инвертором станцией инвертора для снижения индукции токов молнии в системе постоянного тока. В этом случае экран должен быть способен пропускать частичный ток молнии, равный $I_{Total}$ каждой коммутационной коробки. Экран должен быть заземлен с обоих концов.

На крупных солнечных электростанциях, в которых используется несколько инверторов для последовательно соединенных панелей, приведенные в таблице А.3 значения применяют к испытанным по I классу УЗИП на стороне переменного тока инверторов для батарей и низковольтной стороне центрального трансформатора. На стороне постоянного тока инвертора для батареи обычно достаточно испытанных по II классу УЗИП при условии, что один комплект УЗИП включен на стороне постоянного тока.

**Приложение В**
**(справочное)**

## Выходные характеристики фотоэлектрического оборудования

### В.1 Выходные характеристики фотоэлектрического оборудования

На рисунке В.1 представлена эквивалентная схема фотоэлектрического оборудования, а на рисунке В.2 приведена вольт-амперная характеристика (ВАХ) нелинейного фотоэлектрического оборудования

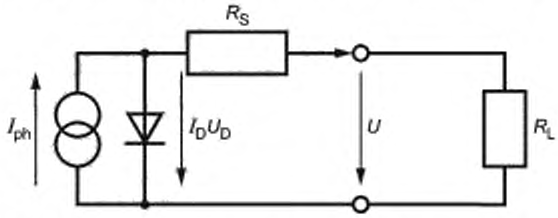
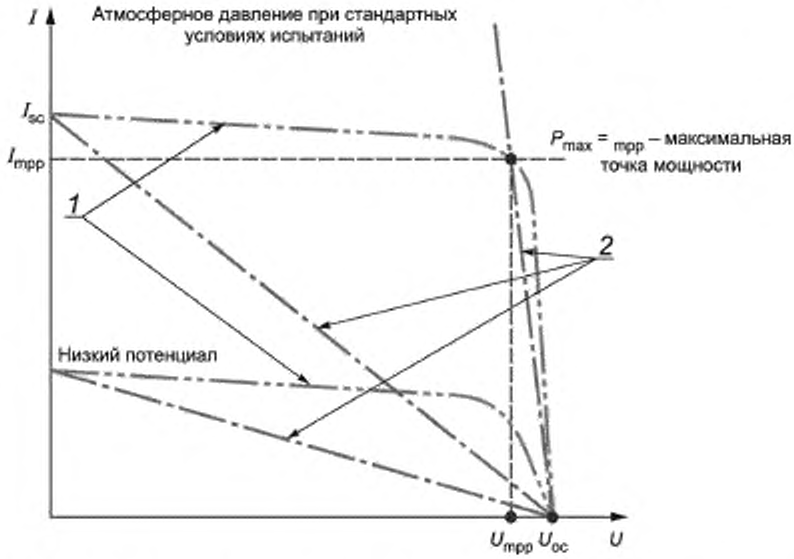



Рисунок В.1 — Эквивалентная схема фотоэлектрического оборудования




*1* — нелинейные ВАХ при разных уровнях энергетической освещенности; *2* — ВАХ трех линейных источников, имитирующих ВАХ фотоэлектрического оборудования для альтернативного метода испытания без использования фотоэлектрического оборудования или его имитатора

Рисунок В.2 — Пример вольтамперных характеристик нелинейного фотоэлектрического оборудования и линейных источников тока, которые можно использовать для имитации ВАХ фотоэлектрического оборудования при испытаниях УЗИП

Для испытаний УЗИП при низком и высоком уровнях энергетической освещенности используют имитатор соответствующего фотоэлектрического оборудования. Сочетание трех разных линейных источников может быть приемлемо, если при испытаниях с линейным(и) источником(ами) ВАХ при низкой энергетической освещенности до точки максимальной мощности сопоставимы с нелинейной(ыми) частью(ями) ВАХ фотоэлектрического оборудования.

УЗИП разных конструкций, изготовленные по разным технологиям, ограничивающего типа, или представляющие собой комбинацию обоих типов, могут вести себя по-разному, в зависимости от ВАХ источника постоянного тока, используемого при испытаниях.

Они могут создавать линейный остаточный ток в нормальных условиях эксплуатации. Поведение при отказе в условиях окончания срока службы зависит от ВАХ источника постоянного тока, используемого при

испытаниях. Такой источник должен быть способен имитировать работу ФЭС в реальных условиях эксплуатации. Фотоэлектрическая батарея — это нелинейный источник тока, при этом значения ее напряжения и тока зависят от температуры и энергетической освещенности рабочей поверхности фотоэлектрических модулей. Обязательно следует оценивать поведение УЗИП с их внутренней конструкцией и их внутренними или наружными разъединителями (плавкими предохранителями) при максимальном и минимальном уровнях энергетической освещенности. Если для испытания используется линейный источник постоянного тока, следует понимать, что результаты могут отличаться от тех, которые будут получены при использовании нелинейного фотоэлектрического оборудования или специального имитатора фотоэлектрического оборудования. Это означает, что требуется линейный источник с более высоким током короткого замыкания для достижения точки максимальной мощности реального фотоэлектрического оборудования или имитатора фотоэлектрического оборудования.

Максимальное возможное напряжение постоянного тока и максимальный возможный постоянный ток, который можно непрерывно пропускать через УЗИП в режиме защиты, можно рассчитать согласно В.2 и В.3. Выбранные или заданные номинальные показатели $U_{C\ PV}$ и $I_{SC\ PV}$ УЗИП должны быть равны или быть более рассчитанных максимальных значений.

### В.2 Расчет $U_{oc\ max}$

$U_{oc\,max}$ — это максимальное возможное напряжение фотоэлектрического оборудования (фотоэлектрического элемента, фотоэлектрического модуля, фотоэлектрической цепочки, фотоэлектрической батареи и т. д.) в режиме холостого хода. Его рассчитывают по следующей формуле

$$U_{oc\ max} = K_U\ U_{oc\ stc}.$$

Поправочный коэффициент $K_U$ учитывает возможное повышение напряжения холостого хода фотоэлектрических модулей и соответственно фотоэлектрической батареи, а также образущих ее фотоэлектрических цепочек, фотоэлектрических групп при минимальной температуре окружающей среды $T_{min}$ (°С) на месте эксплуатации ФЭС. Этот коэффициент определяют через температурный коэффициент напряжения холостого хода $\dot{\alpha}_{Uoc}$ ($\dot{\alpha}_{Ux.x}$) (%/°С), указанный изготовителем фотоэлектрического модуля по формуле

$$K_U = 1 + (\dot{\alpha}_{Uoc}/100)(T_{min} - 25).$$

$\dot{\alpha}_{Uoc}$ характеризует такое негативное явление, как увеличение напряжения фотоэлектрического модуля с уменьшением температуры при том же уровне энергетической освещенности, и может быть указан изготовителем модуля (мВ/°С или %/°С). Когда $\dot{\alpha}_{Uoc}$ выражен в мВ/°С, его переводят в %/°С, используя следующую формулу:

$$\dot{\alpha}_{Uoc}\,(\%/°C) = 0{,}1\ \dot{\alpha}_{Uoc}\,(mV/°C)/U_{oc\ stc\ mod(B)}.$$

Пример определения $U_{oc\ max}$, фотоэлектрического модуля на основе поликристаллического кремния, когда $\dot{\alpha}_{Uoc}$ задан в мВ/°С:

- Для поликристаллического модуля:

$$U_{oc\ stc\ mod} = 38{,}3\ В\ и\ \dot{\alpha}_{Uoc} = -133\ мВ/°C\ \rightarrow \dot{\alpha}_{Uoc} = -0{,}35\ %/°C$$

- $T_{min} = -15\ °C \rightarrow (T_{min} - 25) = -40\ °C \rightarrow K_U = 1{,}14 \rightarrow U_{oc\ max} = 1{,}14\ U_{oc\ stc}$.

$\dot{\alpha}_{Uoc}$ может принимать существенно различные значения в зависимости от технологии изготовления фотоэлектрических модулей.

Для фотоэлектрических модулей из аморфного кремния электрические характеристики во время первых недель эксплуатации могут быть выше, чем указанные в технической документации. Информация об этом должна быть указана изготовителем модуля, и это должно учитываться при расчете $U_{oc\ max}$.

В отсутствие информации об ожидаемой минимальной температуре на объекте эксплуатации или в отсутствие информации о температурном коэффициенте напряжения холостого хода фотоэлектрического модуля $U_{oc\ max}$ выбирают равным $1{,}2U_{oc\ stc}$.

### В.3 Расчет $I_{sc\ max}$

Максимальный ток короткого замыкания фотоэлектрического оборудования рассчитывают по следующей формуле

$$I_{sc\ max} = K_i I_{sc\ stc}.$$

Максимальное значение для $K_i$ составляет 1,25.

При определенных условиях $K_i$ следует увеличивать с учетом условий окружающей среды, прежде всего при повышенном уровне энергетической освещенности рабочей поверхности фотоэлектрических модулей, например при повышенном уровне отражения от окружающих объектов, почвы.

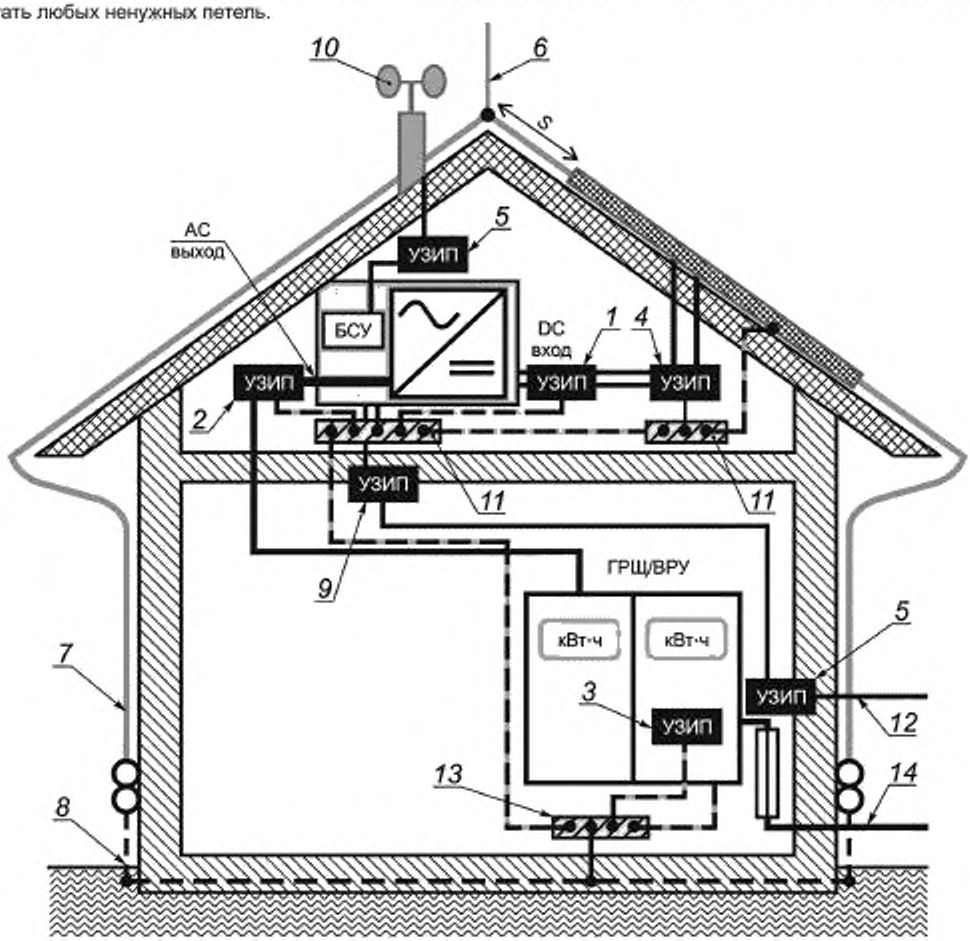
**Приложение С**
**(справочное)**

## Дополнительная информация к разделу 6 «Установка и размещение устройств защиты от импульсного перенапряжения (УЗИП)» к разделу 7 «Уравнивание потенциалов»

### С.1 Цепи связи и сигнализации фотоэлектрических систем

Примечание — На рисунках С.1—С.3 показаны общие примеры, и они могут учитывать не все детали и требования, установленные в настоящем стандарте.

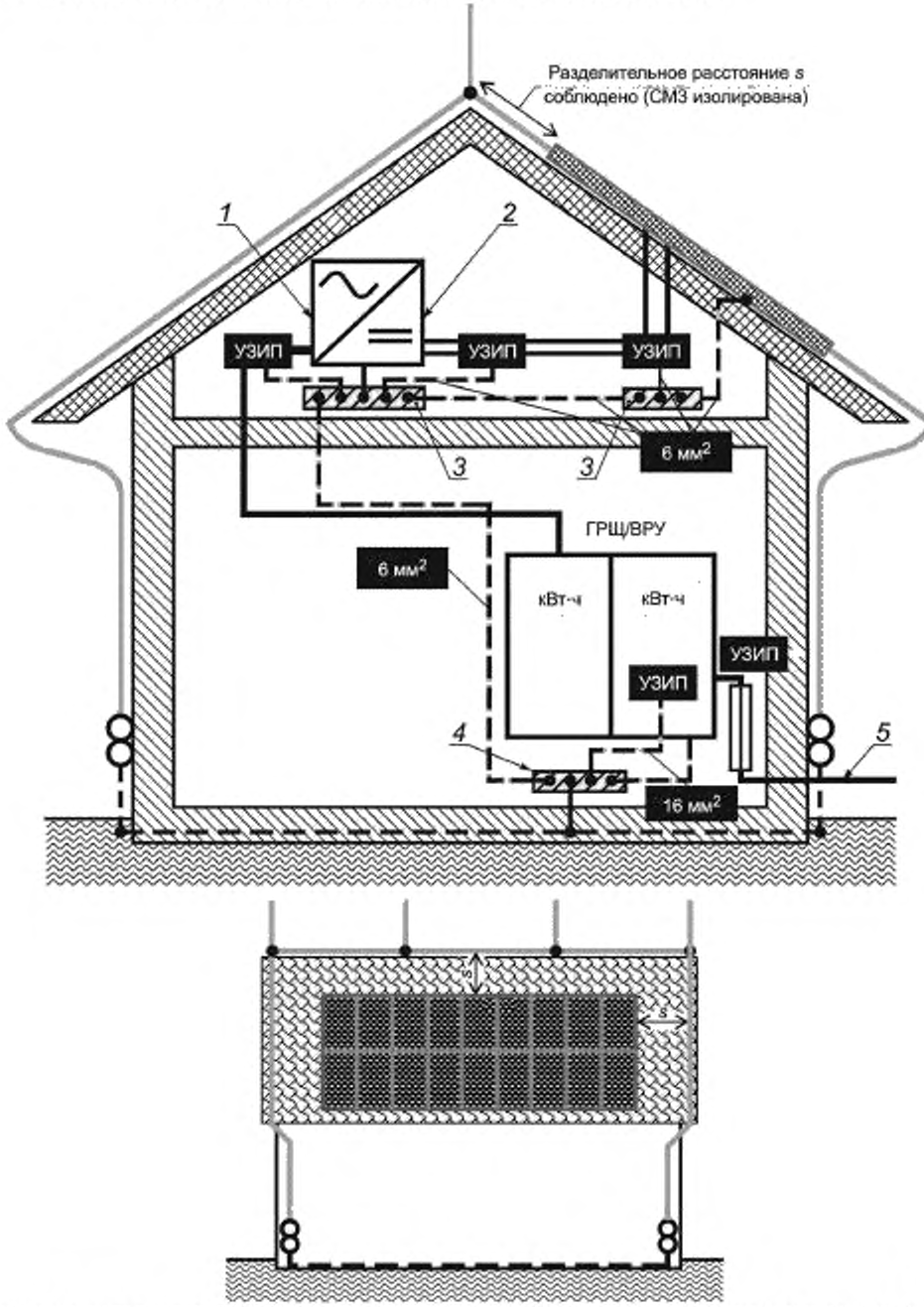
Для эффективной защиты от перенапряжений рекомендуется прокладывать проводники уравнивания потенциалов, кабели постоянного тока, а также линии связи и сигнализации максимально близко друг к другу и избегать любых ненужных петель.




*s* — разделительное расстояние (*s*) соблюдено (СМЗ изолирована); УЗИП — устройство защиты от импульсных перенапряжений; БСУ — блок сбора и управления, *1* — УЗИП, испытанные по классу II по IEC 61643-31; *2* — УЗИП, испытанные по классу II по IEC 61643-11; *3* — УЗИП, испытанные по классу I по IEC 61643-11; *4* — УЗИП, испытанные по классу II по IEC 61643-31, *5* — УЗИП категории D1 для линии сигнализации по IEC 61643-21, *6* — молниеприемник СМЗ; *7* — токоотвод СМЗ, *8* — система заземления, *9* — УЗИП категории С для линии сигнализации по IEC 61643-21, *10* — датчик скорости ветра; *11* — шины уравнивания потенциалов; *12* — сигнальная цепь; *13* — главная заземляющая шина (ГЗШ); *14* — АС линия питания

Рисунок С.1 — Пример УЗИП, установленных в ФЭС, защищенную внешней СМЗ, в которой соблюдено разделительное расстояние *s*. ФЭС включает систему сбора данных и управления

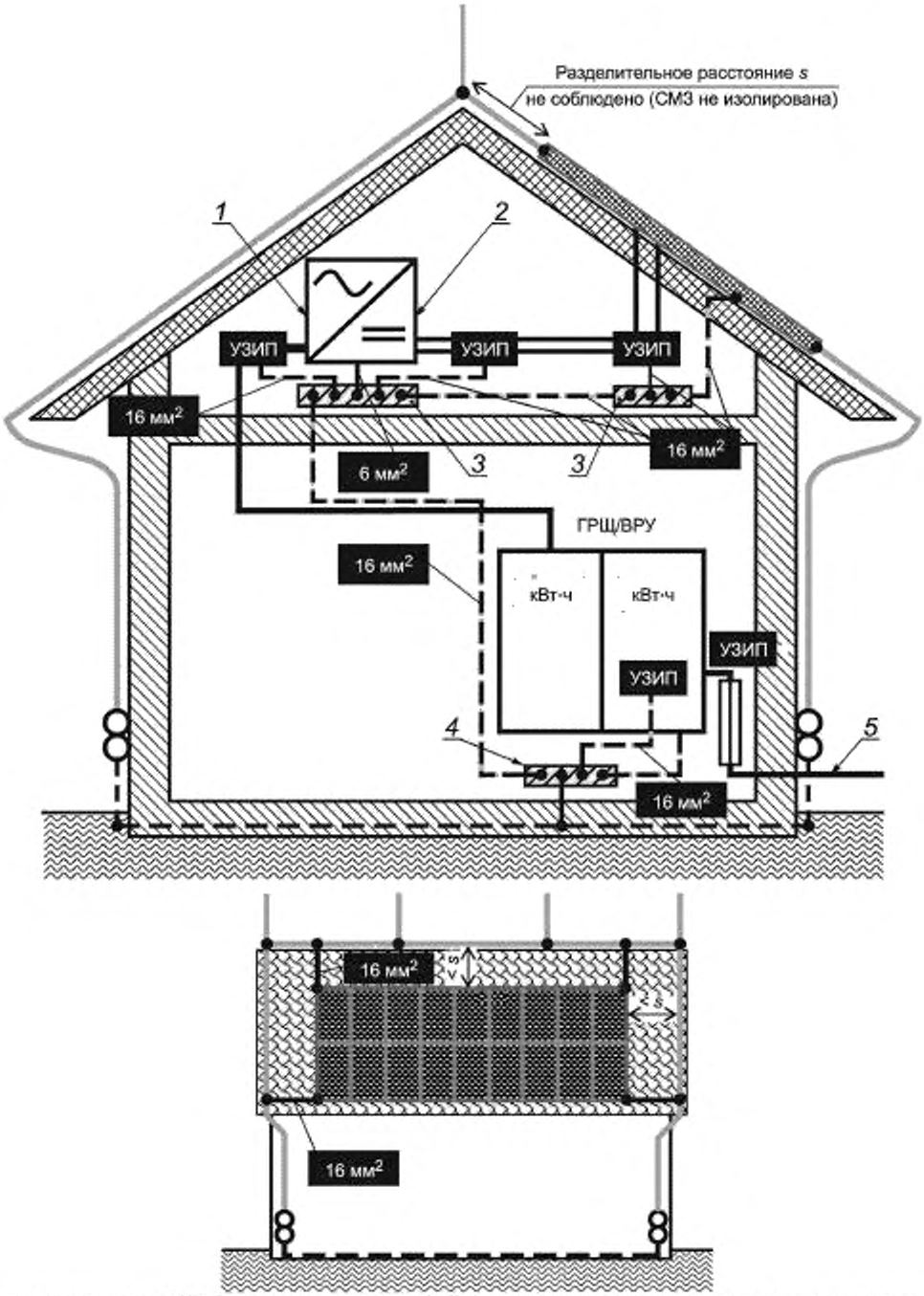
### С.2 ФЭС и размеры проводников соединения уравнивания потенциала




*1* — выход переменного тока (AC); *2* — вход постоянного тока (DC); *3* — шины уравнивания потенциалов; *4* — главная заземляющая шина (ГЗШ); *5* — AC сеть питания

Примечание — Рекомендуется располагать систему молниеотводов СМЗ так, чтобы предотвратить прямые попадания молнии в фотоэлектрическую батарею и вместе с тем свести к минимуму затенение модулей.

Рисунок С.2 — Пример здания с внешней СМЗ. Габариты проводников уравнивания потенциала с соблюдением разделительного расстояния *s* или с использованием изолированной СМЗ




*1* – выход переменного тока (AC), *2* – вход постоянного тока (DC); *3* — шины уравнивания потенциалов; *4* — главная заземляющая шина (ГЗШ), *5* — AC сеть питания

Примечание — Рекомендуется располагать систему молниеотводов СМЗ так, чтобы предотвратить прямые попадания молнии в фотоэлектрическую батарею и вместе с тем свести к минимуму затенение модулей.

Рисунок С.3 — Пример здания с внешней СМЗ. Размеры проводников уравнивания потенциалов при несоблюдении разделительного расстояния *s*

## Приложение D
## (справочное)

## Исключения для УЗИП класса испытания I в США

В США испытанные по I классу УЗИП не являются обязательными. Это исключение распространяется на весь документ, в частности в следующих местах:

| Раздел, приложение | Подраздел, пункт | Абзац/таблица/рисунок | Номер строки абзаца |
|---|---|---|---|
| 3 | 3.23 | Примечание 2 | 1 |
| 6 | 6.1 | Таблица 1 | 2 столбец, 3 строка, 2 строка в ячейке |
| 6 | 6.1 | Таблица 1 | 2 столбец, 4 строка, 2 строка в ячейке |
| 6 | 6.1 | Таблица 1 | 2 столбец, 5 строка, 2 строка в ячейке |
| 6 | 6.1 | Таблица 1 | 3 столбец, 5 строка, 2 строка в ячейке |
| 6 | 6.1 | Таблица 1 | 4 столбец, 5 строка, 2 строка в ячейке |
| 6 | 6.2 | Рисунок 1, обозначения | 3 строка |
| 6 | 6.2 | Рисунок 2, обозначения | 3 строка |
| 6 | 6.2 | Рисунок 3, обозначения | 1 строка |
| 6 | 6.2 | Рисунок 3, обозначения | 1 строка, 2 строка, 3 строка, 4 строка |
| 6 | 6.2 | Примечание | 2 строка |
| 6 | 6.2 | 2 абзац после примечания | 1 строка |
| 7 | | 4 абзац | 5 строка |
| 9 | 9.1 | 2 абзац | 3 строка |
| 9 | 9.2 | 2 абзац | 3 строка |
| 9 | 9.2 | 1 абзац под рисунком 6 | 2 строка |
| 9 | 9.2 | 2 абзац под рисунком 6 | 1 строка |
| 9 | 9.2 | 7 абзац под рисунком 6 | 4 строка |
| Приложение А | А.1 | 2 абзац | 1 строка |
| Приложение А | А.2 | Таблица А.1 | 3 строка сверху справа |
| Приложение А | А.2 | 1 абзац после примечания к таблице А.1 | 2 строка |
| Приложение А | А.2 | 1 абзац после примечания к таблице А.1 | 5 строка |
| Приложение А | А.2 | 2 абзац после примечания к таблице А.1 | 2 строка, 4 строка |
| Приложение А | А.2 | 3 абзац после примечания к таблице А.1 | 3 строка |
| Приложение А | А.2 | Таблица А.2 | 3 строка сверху справа |
| Приложение А | А.3 | 1 абзац после 2 примечаний к таблице А.1 | 2 строка, 4 строка, 6 строка |
| Приложение А | А.3 | 2 абзац после 2 примечаний к таблице А.3 | 3 строка, 5 строка, 7 строка |
| Приложение А | А.3 | Последний абзац А.3 | 2 строка |
| Приложение С | С.1 | Обозначения к рисунку С.1 | 4 строка |

## Приложение ДА
## (справочное)

## Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

| Обозначение ссылочного международного стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта |
|---|---|---|
| IEC 60364-4-44 | — | *,1) |
| IEC 60364-5-53 | — | *,2) |
| IEC 60364-5-54 | — | *,3) |
| IEC 60364-7-712 | — | *,4) |
| IEC 60664-1 | — | *,5) |
| IEC 61000-4-5 | IDT | ГОСТ IEC 61000-4-5—2017 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к выбросу напряжения» |
| IEC 61643-11 | IDT | ГОСТ IEC 61643-11—2013 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 11. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным системам распределения электроэнергии. Требования и методы испытаний» |
| IEC 61643-12 | — | *,6) |
| IEC 61643-21 | IDT | ГОСТ IEC 61643-21—2014 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к телекоммуникационным и сигнализационным сетям. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний» |

1) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50571.4.44—2019 (МЭК 60364-4-44:2007) «Электроустановки низковольтные. Часть 4.44. Защита для обеспечения безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных возмущений».

2) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50571.5.53—2013/МЭК 60364-5-53:2002 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-53. Выбор и монтаж электрооборудования. Отделение, коммутация и управление».

3) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50571.5.54—2013/МЭК 60364-5-54:2011 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов».

4) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50571.7.712—2013/МЭК 60364-7-712:2002 «Электроустановки низковольтные. Часть 7-712. Требования к специальным электроустановкам или местам их расположения. Системы питания с использованием фотоэлектрических (ФЭ) солнечных батарей».

5) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 55210—2012/IEC/TR 60664-2-1:2011 «Координация изоляции для оборудования в низковольтных системах. Часть 2-1. Руководство по применению серии стандартов IEC 60664. Примеры применения типов изоляции и испытания электроизоляционных свойств».

6) В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 61643-12—2011 «Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 12. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Принципы выбора и применения».

*Окончание таблицы ДА.1*

| Обозначение ссылочного международного стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта |
|---|---|---|
| IEC 61643-22 | — | *,1) |
| IEC 61643-31 | — | *,1) |
| IEC 62305-2 | — | *,2) |
| IEC 62305-3 | — | *,3) |
| IEC 62305-4 | — | *,4) |
| ITU-T, recommendation K.20 | — | *,5) |
| ITU-T, recommendation K.21 | — | *,6) |

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичные стандарты.

1) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 51992—2011 (МЭК 61643-1:2005) «Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 1. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Технические требования и методы испытаний».

2) В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 62305-2—2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 2. Оценка риска».

3) В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 62305-1—2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы».

4) В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 62305-4—2016 «Защита от молнии. Часть 4. Защита электрических и электронных систем внутри зданий и сооружений».

5) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 55950—2014 «Телекоммуникации. Нормы на параметры интерфейсов систем электропитания. Интерфейс постоянного тока».

6) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 55949—2014 «Телекоммуникации. Нормы на параметры интерфейсов систем электропитания. Интерфейс переменного тока».

## Библиография

IEC 60904-3, Photovoltaic devices — Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data (Приборы фотоэлектрические. Часть 3. Принципы измерения характеристик фотоэлектрических приборов с учетом стандартной спектральной плотности энергетической освещенности наземного солнечного излучения)

IEC TR 62066:2002, Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems — General basic information (Перенапряжения и защита от выбросов напряжения в низковольтных системах питания переменного тока. Общая основная информация)

IEC 62305-1:2010, Protection against lightning — Part 1: General principles (Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы)

IEC 62561 (все части), Lightning protection system components (LPSC) [Компоненты системы молниезащиты (LPSC)]

УДК 696.6:006.354 МКС 29.130.20 IDT

Ключевые слова: низковольтные устройства защиты от импульсных перенапряжений, устройства защиты от импульсных перенапряжений, постоянный ток фотоэлектрической системы, принцип выбора и применения

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 21.10.2021. Подписано в печать 23.11.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,20.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ» 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