Изображение Государственного Герба Республики Казахстан

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА**

**СТ РК IEEE 2760-2020**

*(IEEE 2760-2020 GUIDE FOR WIND POWER PLANT GROUNDING SYSTEM DESIGN FOR PERSONNEL SAFETY)*

*Настоящий проект стандарта*

*не подлежит применению до его утверждения*

Настоящий национальный стандарт является идентичным

осуществлением европейского стандарта IEEE 2760-2020 и принят с разрешения ассоциации стандартов IEEE 445 HoesLane, Пискатауэй, Нью-Джерси 08854, США

**Комитет технического регулирования и метрологии**

**Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан**

**(Госстандарт)**

**Нур-Султан**

**Предисловие**

**1 ПОДГОТОВЛЕН И ВНЕСЕН** РГП на ПХВ «Казахстанский институт стандартизации и метрологии» Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан.

**2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ** Приказом Председателя Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан № \_\_ от « » \_\_\_\_ 20\_\_года.

**3** Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEEE 2760-2020 GUIDE FOR WIND POWER PLANT GROUNDING SYSTEM DESIGN FOR PERSONNEL SAFETY (Руководство по проектированию системы заземления ветряных электростанций для обеспечения безопасности персонала).

Международный стандарт IEEE 2760-2020 разработан ассоциацией стандартов IEEE. Перевод с английского языка (en).

Официальный экземпляр международного стандарта, на основе которого разработан настоящий стандарт, и официальные экземпляры международных стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Едином государственном фонде нормативных технических документов

В разделе «Нормативные ссылки» и тексте стандарта ссылочные международные стандарты актуализированы.

Сведения о соответствии национальных (межгосударственных) стандартов ссылочным международным стандартам, приведены в дополнительном Приложении B.А.

Степень соответствия – идентичная (IDT).

**4** В настоящем стандарте реализованы нормы технического регламента Республики Казахстан «Требования к безопасности зданий и сооружений, строительных материалов и изделий», утвержденного постановлением Правительства Республики Казахстан от 17 ноября 2010 года № 1202.

**5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ**

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном каталоге «Документы по стандартизации Республики Казахстан», а текст изменений – в периодических информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (отмены) или замены настоящего стандарта соответствующаяинформация будет опубликована в периодическом информационном указателе «Национальные стандарты».*

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан.

**Содержание**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Введение |  |
| 1 | Область применения  | 1 |
| 2 | Нормативные ссылки | 1 |
| 3 | Термины и определения | 1 |
| 4 | Вопросы безопасности на ВЭС | 2 |
| 5 | Описание системы заземления ВЭС | 3 |
| 6 | Подход к проектированию | 6 |
| Библиография | 17 |

**Введение**

Настоящий стандарт предназначен для системы заземления коллекторной системы для береговых ветряных электростанций (далее – ВЭС) для обеспечения безопасности персонала при проектировании.

Настоящий стандарт не предназначен для подстанции ВЭС; поскольку подстанция обычно соединена с коллекторной системой, ее конструкция может влиять на коллекторную систему или находиться под ее влиянием. При должном рассмотрении описанные здесь методы можно использовать для определения влияния коллекторной системы на безопасность подстанции и наоборот.

Целью данного стандарта является предоставление рекомендаций и информации, относящихся к методам заземления в коллекторной системе ВЭС для обеспечения личной безопасности.

Конкретная цель этого стандарта заключается в следующем:

— Определите различия между заземлением подстанции (в соответствии со стандартом IEEEStd 80™) и заземлением коллекторной системы ВЭС.

— Установить в качестве основы для проектирования безопасные пределы разностей потенциалов, которые могут существовать в системе сбора ВЭС в условиях неисправности между точками, с которыми может соприкасаться тело человека.

— Рассмотрите методы заземления ВЭС со ссылкой на критерии безопасности для проекта и предоставьте процедуру проектирования практических систем заземления на основе этих критериев.

— Разработать аналитические методы для помощи в понимании и решении типичных проблем с градиентом напряжения на ВЭС.

Ветряные электростанции (ВЭС) создают уникальные проблемы с заземлением по сравнению с другими генерирующими объектами.В первую очередь это связано с их большим взаимосвязанным характером — часто на несколько квадратных километров — и тем фактом, что завод не огражден от населения.В настоящем руководстве рассматриваются эти аспекты и приводятся рекомендации по проектированию и анализу систем заземления для таких крупных объектов.

Первая версия этого документа была подготовлена Рабочей группой по проектированию коллекторов ветряных и солнечных электростанций и связанной с ней целевой группой по заземлению для защиты персонала в течение последних нескольких лет.

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**СИСТЕМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.**

**РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДЛЯ**

**ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА**

**Дата введения\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**1 Область применения**

Настоящий стандарт предназначен для системы заземления коллекторной системы для береговых ветряных электростанций (далее – ВЭС) для обеспечения безопасности персонала при проектировании.

Настоящий стандарт не предназначен для подстанции ВЭС; поскольку подстанция обычно соединена с коллекторной системой, ее конструкция может влиять на коллекторную систему или находиться под ее влиянием. При должном рассмотрении описанные здесь методы можно использовать для определения влияния коллекторной системы на безопасность подстанции и наоборот.

Количественный анализ эффектов переходных процессов перенапряжения (коммутации и молнии) выходит за рамки данного документа.

Стандарт не распространяется на морские ВЭС, аккумуляторные батареи, солнечные электростанции или заземление подстанций.

**2 Нормативные ссылки**

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные документы по стандартизации. Для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного документа по стандартизации, для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа по стандартизации (включая все его изменения).

IEEE 80: Руководство IEEE по безопасности при заземлении подстанции переменного тока;

IEEE 81: Руководство IEEE по измерению удельного сопротивления заземления, импеданса заземления и потенциалов земной поверхности системы заземления.

3 **Термины и определения**

3.1 **Термины и определения**

Для целей настоящего документа применяются термины и определения, приведенные в IEEE 2760-2020, а также следующие термины.

3.1.1 Коллекторная система: все подземные кабели и/или воздушные линии и секционные шкафы от площадок ветровых турбинных генераторов (ВТГ) до подстанции ветряных электростанций (ВЭС).

3.1.2 Электрическое сопротивление: свойство материала, определяющее электрическое сопротивление (препятствующее протеканию тока) проводящего объекта заданных размеров. Удельное электрическое сопротивление грунта (2 млн. фунтов стерлингов) используется для проектирования сетки заземления.

3.1.3 Точка соединения (ТОС): место, где ветряная электростанция (ВЭС) соединяется с системами передачи или распределения.

3.1.4 Секционный шкаф: устройство с монтажной площадкой, используемое в качестве соединения двух или более цепей коллекторной системы (фидеров). Синоним: секционное ограждение.

3.1.5 Коэффициент разделения: коэффициент, представляющий часть симметричного тока замыкания на землю от удаленного источника, который протекает через систему заземления и землю, по сравнению с общим током. Синоним: коэффициент деления тока повреждения.

3.1.6 Ветровая электростанция (ВЭС): группа электрически соединенных ветровых турбинных генераторов (ВТГ), имеющих одну или несколько точек присоединения к коммунальной электрической системе.

3.1.7 Система заземления ВЭС: совмещение всех подземных заземленных объектов и отдельных систем заземления на каждом ветровом турбинном генераторе (ВТГ) и взаимосвязь заземления через ветровую электростанцию (ВЭС).

3.1.8 Зона влияния (ЗОВ): область вокруг заземляющего электрода, ограниченная точками с заданным равным потенциалом, возникающим в результате падения напряжения через землю между заземляющим электродом и удаленной землей.

3.2 Сокращения

Для целей настоящего документа применяются сокращения, приведенные в IEEE 2760-2020, а также следующие сокращения.

ППЗ повышение потенциала земли

ПМГ повышение мощности генератора

ВН высокое напряжение

НН низкое напряжение

СН среднее напряжение

ВЗП воздушный заземляющий провод

ОЗП оптический заземляющий провод

ТС точка соединения

ВЭС ветровая электростанция

ВТГ ветровых турбинных генераторов

ЗВ зона влияния

4 Вопросы безопасности на ВЭС

Соображения, касающиеся практических расчетных ситуаций для проектирования системы заземления ВЭС, включают следующее:

— Непреднамеренное заземление, непреднамеренно установленное частью оборудования или человеком вблизи заземленного объекта (например, подстанции, ВЭС, распределительной коробки, метеорологической мачты и т. д.).

— Преднамеренное заземление, состоящее из заземлителей, закопанных на некоторую глубину ниже поверхности земли на ВЭС, в траншее кабельной системы подземного сбора или на опорах воздушной коллекторной линии.Эти заземления предназначены для контроля тока короткого замыкания и развития градиентов напряжения, чтобы снизить вероятность травм персонала.

4.1 Непреднамеренное заземление

Непреднамеренное или случайное заземление в ВЭС может подвергнуть человека воздействию напряжения прикосновения, ступенчатого напряжения и передаваемых напряжений по всей ВЭС, как описано в IEEEStd 80.Например, человек, прикасающийся к стене вышки ВЭС, в то время как одновременно происходит замыкание на землю на стороне среднего напряжения на башне, может подвергнуться воздействию напряжения прикосновения. Аналогичным образом, человек, находящийся вблизи фундаментов ВЭС, может подвергаться скачкообразному напряжению при тех же условиях неисправности.Человек, прикасающийся к данной вышке ВЭС или проходящий мимо той же самой вышки ВЭС, в то время как на соседней ВЭС происходит короткое замыкание среднего напряжения на землю, может подвергнуться воздействию передаваемого напряжения.

4.2 Преднамеренное заземление

Преднамеренное заземление предназначено для снижения опасности повреждения персонала и оборудования в условиях замыкания на землю.Для ВЭС, как описано в пункте 5, как правило, она состоит из разработанной системы заземляющих электродов в основании каждой ВТГ, соединенной с соседними ВТГ и, в конечном счете, соединенной с коллекторной подстанцией.Различные заземления вдоль подземных кабелей или заземления опор в цепях воздушных коллекторов являются частью системы преднамеренного заземления. Впункте 6обсуждается подход к проектированию, представленный в данном руководстве.

5. Описание системы заземления ВЭС

5.1 Общие положения

Система заземления ВЭС состоит из множества отдельных систем заземления, распределенных по большой площади, которые могут состоять из различных типов и характеристик грунта. Отдельные системы заземления связаны между собой через систему сбора, образуя широкую сеть, разбросанную по всей ВЭС. На рисунке 1 показан пример того, как может выглядеть схема ВЭС с несколькими коллекторными цепями, соединяющими ВТГ обратно с подстанцией через распределительные коробки и кабели среднего напряжения.



Рисунок 1 – Пример схемы компоновки ВЭС

На рисунке 2 показан электрический эквивалент того же примера системы заземления ВЭС, состоящий из отдельных локальных систем заземлителей на каждой ВТГ, распределительной коробки, метеорологической мачты и подстанции. Все они обычно соединяются между собой через неизолированный провод заземления, концентрическую нейтраль или экраны кабелей.



Рисунок 2 – Пример однолинейного чертежа системы заземления ВЭС

5.2 Заземление подземной системы сбора

Пример кабельной траншеи подземной системы сбора, как показано на рисунке 3 и рисунке 4, состоит из силового кабеля (кабель среднего напряжения с экраном или концентрической нейтралью, часто в форме трилистника или плоской формы), неизолированный заземляющий кабель и кабель связи (оптоволоконный кабель). Хотя на рисунке 4, показаны только соединения ВТГ, неизолированный заземляющий кабель обеспечивает соединение всех местных систем заземления (ВТГ, распределительных шкафов, метеорологических мачт и т. д.) обратно к подстанции, а оптоволоконный или металлический кабель обеспечивает функцию связи. Глубина кабелей и расстояние между кабелями частично определяются соответствующими местными нормами.

При правильном размере концентрическая нейтраль или экран силового кабеля в некоторых случаях могут играть роль заземляющего и связующего проводника, что позволяет отказаться от дополнительного оголенного заземляющего проводника для некоторых секций или всей системы сбора. Если дополнительный неизолированный заземляющий проводник не используется, размер концентрической нейтрали силового кабеля должен быть рассчитан на ожидаемый ток короткого замыкания, который может вернуться на эту концентрическую нейтраль для защиты кабеля. Дополнительное обсуждение этой темы включено в пункт 6.8.4.



Рисунок 3 – Пример подземной кабельной траншеи



Рисунок 4 – пример подключения подземного кабеля

5.3 Заземление воздушной системы сбора

На рисунке 5 показана типичная система сбора воздушной линии, в которой все оборудование подключено к главной подстанции с помощью фазных проводов, заземляющего проводника/нулевого провода и оптоволоконного кабеля связи. Проводник заземления/нейтральный провод и оптоволоконный кабель могут быть отдельными элементами, такими как воздушный заземляющий провод (ВЗП) и самонесущий оптоволоконный кабель или простой оптоволоконный кабель с закрепленным опорным проводником, используемым в качестве провода заземления/нейтрали. Они также могут быть объединены в один оптический заземляющий провод (ОЗП).

В дополнение к заземлениям ВТГ, показанным на рисунке 5, заземляющий провод/нейтральный провод воздушных линий часто заземляется через определенные промежутки времени, например, каждый столб, или определенное количество заземлений на километр с помощью системы заземления столбов, имеющей сопротивление, рассчитанное на соответствоваybt требованиям по защите оборудования. Более низкие сопротивления заземления конструкции улучшают коэффициент разделения и, как правило, снижают напряжения касания и шага на ВТГ.



Рисунок 5 – пример подключения верхнего коллектора

**5.4 Резервирование заземляющего проводника**

Во многих случаях одного заземляющего проводника, соединяющего каждую часть ВЭС, достаточно для удовлетворения проектных требований. Избыточность заземляющего проводника может потребоваться для повышения надежности системы соединения. Резервирование заземляющего проводника позволяет оставшемуся проводнику соответствовать требованиям, когда один из двух резервных заземляющих проводников обрывается. Однако, если часть системы заземления (например, локальная система заземления ВТГ) соответствует требованиям к производительности, но не соединена между собой, или соединительные проводники контролируются, резервный заземляющий проводник может не потребоваться.

**5.5 Локальное заземление ВТГ**

Территория вокруг каждой ВТГ имеет систему заземляющих электродов. Эта система может состоять из фундамента ВТГ и/или дополнительного заземляющего проводника, часто в петлях вокруг башни ВТГ и/или фундамента .Эта локальная система заземлителей обеспечивает местное снижение напряжения прикосновения и ступенчатого напряжения на башне ВТГ и вспомогательном оборудовании, таком как трансформатор ПМГ. Эта локальная система заземлителей соединяется с общей системой заземления ВЭС через заземление коллекторной системы.

Хотя это выходит за рамки данного руководства, некоторые производители ВТГ могут указывать требования к отдельному сопротивлению для местного заземления ВТГ, как правило, в целях молниезащиты.

**6. Подход к проектированию**

**6.1 Общие положения**

В этом разделе описывается подход к проектированию системы заземления ВЭС. Основные цели проекта следующие:

— Обеспечьте средства для рассеивания электрических токов в землю без превышения каких-либо эксплуатационных ограничений и ограничений оборудования.

— Ограничьте воздействие критического поражения электрическим током на человека, находящегося вблизи заземленных объектов в условиях неисправности.

— Достигните проектных критериев с экономически целесообразным проектом.

Следующие основные факторы, влияющие на конструкцию системы заземления, включают:

— Удельное сопротивление грунта (варьируется через ВЭС).

— Время устранения неисправности.

[—](file:///C%3A%5CUsers%5CUser%5CDesktop%5C%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BA%5C79%20IEEE%202760-2020_%D0%A0%D0%A3.docx#bookmark29)Величина тока замыкания на землю (в разных точках коллекторной системы и в ТС), включая рассмотрение количества ВТГ, работающих в момент замыкания, а также то, как этот ток распределяется по обратным путям (смотрите [6.7](file:///C%3A%5CUsers%5CUser%5CDesktop%5C%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BA%5C79%20IEEE%202760-2020_%D0%A0%D0%A3.docx#bookmark29)).

**6.2 Основные этапы проектирования системы заземления**

Существует ряд способов достижения экономически целесообразного проекта, отвечающего критериям безопасности; однако обычно они включают следующие действия:

a) Проект плана участка

b) Измерения удельного сопротивления грунта (в соответствии с IEEEStd 81)

c) Расчет параметров модели грунта (т. е. количества слоев, глубины каждого слоя и его удельного электрического сопротивления)

d) Определение тока замыкания на землю и расчет сечения заземляющего проводника (в соответствии с IEEEStd 80)

e) Вычисление критериев прикосновения и шагового напряжения (в соответствии с IEEEStd 80)

f) Автономный проект наземной сети в каждом месте (ВТГ и т. д.)

g) Проект взаимосвязанной наземной сети

h) Расчет максимальных токов заземления

i) Расчет потенциалов земли (ППЗ (в соответствии с IEEEStd 367 [[12]](file:///C%3A%5CUsers%5CUser%5CDesktop%5C%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BA%5C79%20IEEE%202760-2020_%D0%A0%D0%A3.docx#bookmark42)), а также напряжения прикосновения и ступенчатого напряжения)

j) Оценка защиты персонала (сравнение фактических потенциалов заземления с критериями IEEEStd 80)

k) Определение ЗВ потенциалов заземления (в соответствии с IEEEStd 367 [[12]](file:///C%3A%5CUsers%5CUser%5CDesktop%5C%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BA%5C79%20IEEE%202760-2020_%D0%A0%D0%A3.docx#bookmark42))

l) Полевые испытания систем заземления ВЭС

**6.3 Инструменты проектирования заземления**

Существует два распространенных метода анализа систем заземления ВЭС. Наиболее точным методом является использование имеющегося в продаже программного обеспечения для проектирования заземления (смотрите[6.3.1](file:///C%3A%5CUsers%5CUser%5CDesktop%5C%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BA%5C79%20IEEE%202760-2020_%D0%A0%D0%A3.docx#bookmark24)). Однако при отсутствии программного обеспечения можно использовать некоторые приблизительные методы ручных расчетов, частично основанные на стандарте IEEEStd 80 или IEEEStd 142™ [[11]](file:///C%3A%5CUsers%5CUser%5CDesktop%5C%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BA%5C79%20IEEE%202760-2020_%D0%A0%D0%A3.docx#bookmark41).

**6.3.1 Программное обеспечение для проектирования заземления**

Компьютерное моделирование, в отличие от ручного расчета, является наиболее удобным методом проектирования или анализа системы заземления ВЭС. Доступно сложное компьютерное программное обеспечение, которое может обрабатывать модель очень большой сети заземления с большим количеством проводников и грунтов с различными характеристиками. Это программное обеспечение, как правило, имеет следующие возможности или характеристики:

* Анализ измерений удельного сопротивления грунта;
	+ Определение и моделирование многослойных структур грунта;
	+ Анализ частотной области скрытых проводящих сетей;
	+ Трехмерное моделирование больших сложных систем заземляющих электродов, позволяющее полностью учитывать последовательность, замыкание и взаимные сопротивления (а не только устойчивость) фактических заземляющих электродов в многослойной структуре грунта и способное оценивать независимые электроды, подключенные только через землю;
* Факторы разделения неисправностей;
* Определение распределения тока повреждения между обратным током заземления и обратными токами нейтрали/заземляющего проводника/экрана (смотрите[6.7](file:///C%3A%5CUsers%5CUser%5CDesktop%5C%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BA%5C79%20IEEE%202760-2020_%D0%A0%D0%A3.docx#bookmark29)).

**6.3.2 Методы/инструменты ручного расчета**

Ручные расчеты конструкции заземления могут быть выполнены в соответствии со стандартом IEEEStd 80, что подтверждает применимость допущений, изложенных в стандарте IEEEStd 80.Для крупных ВЭС допущение об эквипотенциальной системе заземляющих электродов через ВЭС не является точным, но это допущение может быть или не быть разумным для отдельной системы заземления ВТГ.

**6.4 Экологические и геотехнические данные**

Электрическое сопротивление грунта зависит от климата, местных сезонных погодных условий, а также основных геотехнических условий, таких как соленость, рН, местная стратиграфия и т.д. Поэтому при проектировании систем заземления необходимо учитывать влияние на удельное сопротивление грунта.

**6.4.1 Климат и другие факторы, влияющие на конструкцию заземления**

На работу оборудования энергосистемы влияют климатические условия, такие как температура, влажность, кислотность, сейсмическая опасность и т.д.

Следующие климатические данные часто собираются в качестве минимальной основы для электрического проектирования системы сбора заземления:

— Температура (минимальная, средняя и максимальная) — удельное сопротивление грунта увеличивается с повышением температуры;

— Влажность (влажность грунта);

— Сезонные условия и осадки;

Следующие другие факторы влияют на конструкцию заземления:

— Местоположение объекта (сопротивление системы заземления варьируется в разные сезоны года);

— Профиль pH грунта (индикатор кислотности или щелочности грунта) — высокая щелочность (pH>7) снижает удельное сопротивление грунта и увеличивает коррозионную активность грунта. Кислый грунт (pH<7) вызывают коррозию, а нейтральный грунт (pH=7)

ПРИМЕЧАНИЕ: температура и содержание влаги в грунте становятся более стабильными на больших расстояниях ниже поверхности земли (особенно на глубине от 1 до 2 м); поэтому система заземления часто строится с заземляющими электродами, расположенными на значительном расстоянии от поверхности земли, причем более длинные электроды более эффективны, чем более короткие. Хотя такой тип конструкции не всегда может быть практичным, другие альтернативы, такие как использование материалов с низким удельным сопротивлением, таких как бентонит и цемент с низким сопротивлением, могут помочь достичь необходимых показателей сопротивления. Использование растворимых химических веществ или солевых обработок не рекомендуется из-за экологических соображений. Кроме того, при использовании необходимо использовать заземляющие провода и стержни, устойчивые к химической коррозии. Кроме того, системы заземления, в которых использовалась обработка солью, необходимо будет контролировать и поддерживать в течение долгого времени, чтобы гарантировать, что они остаются эффективными.

**6.4.2 Данные об удельном электрическом сопротивлении грунта**

Измерение удельного электрического сопротивления грунта обычно используется как для контроля коррозии заглубленных конструкций, так и для проектирования заземляющих сетей ВЭС. Каждое испытание состоит из определения измерений удельного электрического сопротивления грунта, описанных в стандарте IEEEStd 81. Длина траверсы и расстояние между датчиками должны учитывать размер локальной системы заземления.

Собственный или импортированный грунт (или материал) и удельное электрическое сопротивление (или измеренное кажущееся сопротивление) являются расчетными параметрами для проектирования системы заземления, которые собираются с использованием одного из различных доступных тестов удельного электрического сопротивления грунта, приведенных в IEEEStd 81. Данные могут собираться в каждой интересующей точке (например, на каждой площадке ВТГ) или в ограниченном подмножестве местоположений. Подмножество должно быть достаточно большим, чтобы отражать различия в ВЭС. В следующем списке описаны эти два параметра:

* Сбор данных об удельном сопротивлении грунта во всех точках заземления;
* Испытание удельного электрического сопротивления может проводиться на всей ВЭС в тех местах, которые подвергаются воздействию прикосновения и шагового напряжения, включая, но не ограничиваясь:
* Каждая локация ВТГ;
* Расположение каждой распределительной коробки: если набор распределительных коробок расположен в непосредственной близости друг от друга, можно провести одно испытание и использовать его для всех в непосредственной близости;
* Каждое распределительное устройство;
* Расположение каждого заземляющего трансформатора (если за пределами подстанции);
* На главной (коллекторной) подстанции;
* На межсетевой подстанции (если есть);
* В здании эксплуатации и обслуживания (если применимо);
* В каждом месте расположения метеорологической вышки (если применимо);
* Любое другое желаемое местоположение.

Такой подход может привести к увеличению затрат на тестирование, но он позволяет разработать индивидуальную конструкцию заземления для каждого местоположения, что может привести к оптимизации стоимости системы.Значительная экономия может быть достигнута в тех случаях, когда на всей территории ВЭС существуют различные ландшафты.

Сбор данных об удельном сопротивлении грунта при уменьшенном количестве точек заземления. Испытание на электрическое сопротивление проводится по всей ВЭС только в выбранном количестве мест:

* Рекомендуется увеличивать количество измерений, когда электрическое сопротивление значительно отклоняется от одного участка ВТГ к другому;
* Любая область, где существуют значительные геологические различия (например, вершина хребта, плато, склон холма или равнина).

Этот процесс приводит к снижению стоимости тестирования; однако это может не отражать все изменения удельного сопротивления на ВЭС. Для непроверенных местоположений применяется обычное удельное сопротивление грунта, что может привести к увеличению стоимости системы, если применяется ожидаемый наихудший профиль грунта. При использовании меньшего количества контрольных точек удельного сопротивления грунта можно быть более консервативным и применить профиль максимального удельного сопротивления грунта из сокращенного набора данных к расчетам наземной сетки (импеданс, ППЗ, шаг и напряжение касания), но использовать наименьшее измеренное сопротивление верхнего слоя для касания и ступенчатого напряжения предельные вычисления.

**6.5 Модели удельного электрического сопротивления грунта**

Собранные данные об удельном сопротивлении грунта анализируются для поиска моделей грунта для следующих процессов:

* Расчеты критериев защиты персонала (пределы напряжения прикосновения и шагового напряжения) для каждого интересующего объекта (ВТГ, точка подключения, подстанция и т. д.);
* Локальная модель грунта для расчета сопротивления грунта в каждом интересующем месте;
* Эквивалентная модель грунта для всей площадки и для расчета сопротивления заземляющей сетки каждой взаимосвязанной заземляющей сетки.

**6.5.1 Собранные данные в каждой точке заземления**

Если данные сопротивления/удельного сопротивления грунта измеряются в каждой точке заземления, то рекомендуется:

— Используйте каждую локальную модель грунта для каждого локального импеданса сетки заземления и для расчетов критериев напряжения прикосновения и ступенчатого напряжения;

— Используйте среднюю модель удельного сопротивления грунта или более консервативную модель грунта для общего участка и взаимосвязанных расчетов сопротивления сети заземления и потенциалов заземления.

**6.5.2 Собранные данные в уменьшенном количестве местоположений**

Если собранные данные о сопротивлении/удельном сопротивлении грунта находятся в местах с ограниченным доступом, то рекомендуется:

— Используйте данные профиля максимального удельного сопротивления близлежащего грунта для каждого локального расчета сопротивления сети заземления для всех непроверенных местоположений

— Используйте максимальный профиль удельного сопротивления близлежащего грунта для расчета импеданса взаимосвязанной сети заземления и потенциалов заземления

— Используйте данные профиля минимального удельного сопротивления грунта поблизости для расчетов критериев касания и ступенчатого напряжения для всех близлежащих непроверенных местоположений

Обратите внимание, что данные, определенные выше как «максимальный и минимальный» профиль удельного сопротивления грунта уменьшенного набора, могут не соответствовать истинному максимуму или истинному минимуму участка, и может быть разумно рассмотреть дополнительный расчетный запас.

**6.5.3 Сезонные колебания электрического сопротивления грунта**

Производительность системы заземления зависит в первую очередь от удельного электрического сопротивления грунтов в местах заземления.Возможны большие сезонные колебания удельного электрического сопротивления грунтов, особенно в районах, где грунт может замерзнуть. IEEEStd 80 и IEEEStd 81 обсуждают эти эффекты.

**6.6 Критерии проектирования безопасности**

Критерии шагового напряжения и напряжения прикосновения разрабатываются в соответствии со стандартом IEEE Std 80 с использованием соответствующего времени очистки, отношения X/R, удельного сопротивления грунта и материала покрытия в каждом анализируемом месте.

**6.7 Ток замыкания на землю и коэффициент разделения**

Все расчеты токов короткого замыкания между фазой и землей выполняются с использованием инструмента анализа энергосистемы или ручных расчетов.Эти расчеты основаны на всей электроустановке ВЭС.

**6.7.1 Ток замыкания на землю ВН**

Обмотка ВН главного трансформатора ВЭС может быть глухо заземлена через нейтраль ВН трансформатора и может обеспечивать обратный путь тока заземления обратно кТС.Обычно для проектирования учитываются следующие данные:

— Параметры фазных и экранирующих проводников линии передачи

— Геометрия опоры линии электропередачи и расчетное сопротивление опоре

— Длина линии электропередачи, количество полюсов и средняя длина пролета

— Полное сопротивление сети заземления ТС или удаленной подстанции

В результате можно определить коэффициент разделения высоковольтного замыкания на землю и применить его к расчетам ППЗ высоковольтной системы.

**6.7.2 Ток замыкания на землю среднего напряжения**

Система среднего напряжения часто заземляется глухозаземленно или заземляется через заземляющий реактор или резистор нейтрали.

Система заземления главной подстанции часто соединяется с заземлением каждой ВТГ через экраны или концентрические нейтрали силовых кабелей среднего напряжения и неизолированный траншейный заземлитель.

Там, где проекты включают воздушные линии среднего напряжения, каждая секция воздушной линии часто имеет воздушный нейтральный/заземляющий проводник, заземленный через равные промежутки между столбами, чтобы обеспечить хорошую непрерывность системы нейтрального/заземляющего провода среднего напряжения по всей системе сбора ВЭС до главной подстанции.

Экраны кабелей среднего напряжения или концентрические нейтрали и неизолированные горизонтальные заземляющие жилы обычно соединяются параллельно, соединяются друг с другом и с соответствующими неизолированными металлическими конструкциями на главной подстанции, с каждой распределительной коробкой, с каждым ВТГ и с каждой метеорологической мачтой. Это позволяет распределить ток короткого замыкания среднего напряжения между обратным током осмотра (грунт), обратным током экрана волокна или концентрическойнейтрали и обратным током неизолированного заземляющего проводника.

Соответствующий коэффициент разделения тока замыкания на землю определяется и используется в расчетах ППЗ в каждой точке заземления.

**6.7.3 Ток замыкания на землю НН**

Система низкого напряжения расположена в непосредственной близости от связанной с ней ВТГ, при этом все местные металлические предметы прочно соединены с нейтралью НН трансформатора ВТГ. Это приводит к тому, что незначительная часть тока замыкания фазы на землю НН попадает в систему заземления и вносит свой вклад в ППЗ.

6.7.4 Коэффициент разделения

Если анализ отдельного автономного ВТГ выполняется вручную или с помощью программного обеспечения, реалистичное определение распределения тока является требованием для расчета ППЗ и результирующих напряжений прикосновения и шагового напряжения. Коэффициент разделения определяется как отношение тока в обратном пути через землю (грунт) к общему доступному току короткого замыкания в месте повреждения.

По возможности рекомендуется использовать программный анализ для определения коэффициента разделения. Для этого разрабатывается эквивалентное сопротивление всей ВЭС и оценивается эквивалентное сопротивление, «видимое» от каждой ВТГ, подключенной к ВЭС. Моделирование неисправности на конкретной ВТГ обеспечивает разделение тока между возвратом через землю (грунт) и остальной частью системы заземления коллектора.

Если программный анализ невозможен, ниже представлены упрощенные методы ручного расчета. Для определения эквивалентного импеданса системы заземления коллектора в отдельном местоположении ВТГ можно использовать либо уравнение (1) либо уравнение (2) соответственно, в зависимости от того, имеет ли система коллектора неизолированный непрерывный заземляющий проводник или нет [3].

 (1)

 (2)

где,

*ZCol* – эквивалентное сопротивление заземления коллекторной цепи в точке одиночного ВТГ;

*ZSpan* – собственное сопротивление нулевого/заземляющего проводника(ов) между ВТГ;

*n* – равно 1 для последней ВТГ в цепочке или 2 для ВТГ, подключенной по крайней мере в двух направлениях к дополнительным ВТГ соответственно;

*RWTG* – автономное сопротивление анализируемой системы заземляющих электродов ВТГ;

*ZCon* – полное сопротивление оголенного заземляющего проводника(ов) относительно удаленного заземления на участке до следующей ВТГ.

В этих уравнениях используются типичные импедансы проводника между ВТГ, поэтому можно использовать консервативное приближение (с более высоким импедансом), когда расстояния/импедансы изменяются через ВЭС. Полное сопротивление закопанного неизолированного проводника относительно удаленной земли можно рассчитать различными методами, включая уравнения из стандарта IEEEStd 142 [11]. Сопротивление системы заземляющих электродов ВТГ обсуждается в 6.9.

Используя результаты уравнения (1) для коллекторных цепей со сплошным неизолированным заземляющим проводником между ВТГ или уравнения (2) для коллекторных цепей без сплошного неизолированного заглубленного заземляющего проводника между ВТГ, результирующий коэффициент разделения можно рассчитать с помощью уравнения (3).

 (3)

где,

*SF* — коэффициент разделения для данного местоположения ВТГ.

Затем этот коэффициент разделения можно использовать в любом автономном анализе одной системы заземления ВТГ. Обратите внимание, что в некоторых сценариях расчет коэффициента разделения может давать очень низкие значения, которые могут быть нереалистичными из-за некоторых приближений в методологии расчета. Коэффициент разделения ниже 5% встречается редко. Значения ниже 10% могут быть неточными с учетом этих упрощений; следовательно, использование минимального коэффициента разделения 10 % (даже при расчете ниже) может дать более реалистичные результаты.

6.8 Заземляющий проводник

Траншейный заземлитель для подземных систем сбора может потребоваться в качестве связующего провода между отдельными ВТГ или другими системами заземления, а также для отвода части тока короткого замыкания к источнику (главной подстанции). Это уменьшает количество тока, возвращающегося через землю, что снижает ППЗ и, таким образом, снижает напряжения касания и шага 6.8.4.

6.8.1 Материалы заземляющих проводников

Заземление ВЭС является обширным и использует значительное количество проводников для соединения системы. Последовательные и шунтирующие импедансы реальных заземлителей в многослойной структуре грунта и взаимное сопротивление в сложных конфигурациях проводников влияют на потенциалы земли. Кроме того, оголенный заземляющий проводник, если он используется, находится в контакте с грунтом в течение срока службы проекта и может подвергаться коррозии. Материал заземляющего проводника может помочь максимально снизить потенциалы земли и, соответственно, быть устойчивым к коррозии.

В заземлении ВЭС используется медь, сталь с медным покрытием, оцинкованная или нержавеющая сталь. Из-за длинных участков проводника, часто в виде одного проводника, проводимость (низкое сопротивление) и коррозионная стойкость более важны, чем в типичной системе заземления подстанции, которая имеет большую сетку.

Медь: является предпочтительным и наиболее распространенным материалом, используемым для заземления ВЭС, благодаря следующим свойствам:

* Высокая проводимость;
* Стойкость к большинству подземных катодных коррозий (жилы из луженой меди еще более устойчивы к коррозии);
* Стойкость к коррозии в кислых грунтах с рН до 4,0.

Омедненная сталь: омедненная сталь используется для подземных стержней и иногда для заземляющих сеток. Это очень хорошая альтернатива меди для заземляющего проводника траншеи ВЭС при соответствующем размере, бережном обращении и установке (без повреждений) и при отсутствии высокой коррозионной активности грунта. Омедненная сталь обладает следующими свойствами по отношению к меди:

* «Устойчивость» к воровству, поскольку имеет относительно небольшую коммерческую ценность;
* Стойкость к подземной коррозии благодаря медному покрытию (при условии, что медь не повреждена);
* Менее проводящая, чем медь;
* Кроме того, сталь, покрытая медью, имеет большее сопротивление перенапряжению по сравнению с медью того же поперечного сечения, что снижает эффективность молнии;
* Меньшая стоимость, чем у меди при том же размере.

Оцинкованная или нержавеющая сталь: редко используется в Соединенных Штатах из-за опасений, что оцинкованная сталь имеет ограниченный срок службы при контакте с землей и может потребовать замены до истечения срока службы объекта.

6.8.2 Соединения заземляющих проводов

Заземляющие разъемы и требования описаны в IEEEStd 837™ [16]. Для ВЭС ниже класса сварные соединения или необратимые компрессионные соединения являются приемлемыми соединениями при условии, что в конструкцию включены дополнительные соображения, такие как коррозионная стойкость, совместимость с заземляющими проводниками, проводимость тока и выдерживаемая способность, а также температура плавления.

6.8.3 Размер заземляющего проводника

Методика, представленная в стандарте IEEEStd 80, используется для определения минимальной площади поперечного сечения заземляющего проводника.Кроме того, оголенный заземляющий проводник может постоянно находиться рядом с оболочками/оболочками кабелей среднего и низкого напряжения или кабелей связи, и поэтому может потребоваться рассмотрение температурных ограничений материалов этих кабелей; заземляющие проводники могут иметь размеры, чтобы ограничить повышение температуры заземляющего проводника во время замыканий на землю.

6.8.4 Рассмотрение траншейного заземляющего проводника

Неизолированный заземляющий проводник в траншее служит эффективным противовесом заземления, поскольку он обеспечивает более низкую и более постоянную опорную точку заземления на всей площадке, особенно при различном удельном сопротивлении грунта.Это уравновешивающее заземление снижает напряжение, поскольку оно является дополнительным путем возврата тока к источнику во время неисправности и, следовательно, уменьшает ток в других обратных путях, включая землю.В некоторых грунтах ток замыкания через грунт может быть очень низким из-за гораздо более высокого импеданса, который представляет собой грунт по сравнению с оголенным проводником или другими преднамеренными обратными путями замыкания на землю из металла.

Если силовые кабели среднего напряжения снабжены концентрической нейтралью или экраном, который может играть роль нейтрального/заземляющего и связующего проводника, дополнительный неизолированный заземляющий проводник в кабельные траншеи может быть исключен для некоторых участков или для всей системы сбора до тех пор, пока инженерные расчеты и/или полевые испытания систем заземления показывают, что все критерии безопасности и производительности соблюдены для персонала и оборудования.Это требует, чтобы концентрическаянейтраль или металлический экран силового кабеля среднего напряжения были надлежащего размера, а исследование заземления показало соответствие критериям после удаления оголенного заземляющего провода.Большинство производителей силовых кабелей среднего напряжения предлагают довольно широкий выбор концентрических нейтралей, но площадь поперечного сечения металлических экранов, таких как 5-миллиметровая спирально намотанная медная лента, мала по сравнению с концентрическиминейтралями.Таким образом, использование силовых кабелей среднего напряжения с экранами из тонкой ленты в больших полях коллекторов обычно требует дополнительных путей возврата замыкания на землю, таких как неизолированный заземляющий проводник в траншее.Необходимость технического обслуживания экрана силового кабеля или концентрическойнейтрали также может повлиять на выбор другого непрерывного пути заземления. Если нет отдельного оголенного заземляющего провода, могут потребоваться временные перемычки на месте обслуживания.

6.9 Расчет импеданса системы заземляющего электрода относительно удаленной земли

Система заземления ВЭС состоит из множества следующих основных компонентов, обычно полностью связанных между собой в единую комплексную систему заземления:

— Проводники управления градиентом заземляющей сети и соответствующие заземляющие стержни для главной подстанции;

— Расширенная горизонтальная сеть проводников, проложенная в основании всех кабельных траншей на площадке;

— Заземление молниезащиты и управление уклоном заземляющей сетки, а также заземляющие стержни, окружающие каждый ВТГ и связанный с ним трансформатор;

ПРИМЕЧАНИЕ: молниезащита не рассматривается в этом руководстве, но производители ВТГ часто предоставляют рекомендации или требования, которые, возможно, потребуется включить в конструкцию заземления.

— Заземление молниезащиты и провода управления градиентом заземления и стержни заземления, окружающие каждую метеорологическую мачту;

— Заземление и проводники управления градиентом сетки заземления и заземляющие стержни, окружающие каждую распределительную коробку/распределительное устройство среднего напряжения;

— Провода и заземляющие стержни управления заземлением и градиентом сетки заземления, окружающие здание эксплуатации и обслуживания.

При необходимости рассчитываются местные и взаимосвязанные сопротивления заземления, а также сопротивление заземления по отношению к удаленному заземлению. Местное сопротивление заземления ВТГ сравнивается с требованиями ВТГ, если это применимо. Взаимосвязанное сопротивление заземления используется с током замыкания на землю для определения потенциалов заземления.

Одним из примеров требования к сопротивлению автономной/локальной сети заземления для ВТГ (измеренного или рассчитанного) может быть случай, когда сеть заземления ВТГ, если она отключена от остальной системы заземления ВЭС, составляет менее 10 Ом для молниезащитыВТГ [10]. Однако это значение часто указывается производителем ВТГ и не является рекомендуемым значением в этом руководстве. Кроме того, для соответствия критериям напряжения прикосновения и шагового напряжения может потребоваться более низкое или более высокое значение.

6.10 Расчеты потенциалов заземления

6.10.1 ППЗ, опорное напряжение, напряжение прикосновения и скачки напряжения

Расчеты для определения ППЗ из-за токов замыкания на землю как высокого, так и среднего напряжения необходимы для соответствия критериям стандарта IEEEStd 80.На основе различных токов возврата на землю и полных сопротивлений заземляющего электрода, определенных в 6.7 и 6.9 соответственно, результирующие локальные и передаточные значения ППЗ, напряжения прикосновения и скачков напряжения определяются для данного местоположения и сообщаются.

6.10.2 Контур зоны влияния

Контурные пределы ЗВ потенциального замыкания на землю могут быть определены в соответствии со стандартом IEEEStd 367 [12] и/или местными стандартами или нормами и на основе продолжительности замыкания на землю, указанные в пункте 6.6 и рассчитанных значений ППЗ. Затем каждое место можно классифицировать на основе ограничения контура ЗВ 300 В.

6.11 Влияние взаимосвязанной наземной сети подстанции на ВЭС

Подстанция обычно соединена с коллекторной системой, и, следовательно, ее конструкция как влияет, так и зависит от коллекторной системы. Проектирование подстанции исключено из сферы применения данного руководства; однако существуют некоторые особенности ВЭС, которые могут быть учтены при проектировании коллекторной подстанции. Наземная сеть подстанции обычно проектируется в соответствии с IEEEStd 80, IEEEStd 81 и IEEEStd 998[17].

Сопротивление заземления подстанции влияет на взаимосвязанное сопротивление заземления системы сбора и потенциалы заземления, особенно в местах, расположенных ближе к подстанции. В основу конструкции положены следующие дополнительные соображения:

— Соединение с наземной сетью:

Поскольку заземляющая сеть ВЭС взаимосвязана с заземляющей сетью подстанции (через экран кабеля среднего напряжения или концентрическую нейтраль и/или неизолированный заземляющий проводник, если таковой имеется), близлежащие ВТГ или распределительная коробка выигрывают от снижения импеданса системы заземления и потенциалов земли из-за к меньшему сопротивлению заземления подстанции. Однако по-прежнему требуется некоторая координация между заземлением системы сбора и проектированием заземления подстанции. Кроме того, передаваемое напряжение между подстанцией (при замыкании на землю на подстанции) и близлежащими ВТГ, распределительными коробками и т. д. может повышать напряжения на объекте и поэтому требует оценки.

— График уровня неисправности:

Местные источники (ВТГ) и удаленный источник (коммунальная система) вносят свой вклад в ток короткого замыкания на подстанции и внутри ВЭС. В большинстве случаев вклад полезности в неисправность является самым сильным из-за его относительной силы по сравнению с ВЭС.

Замыкание на землю на стороне среднего напряжения ВТГ рассматривает подстанцию как удаленный источник, и, как указано в 6.7, обратный ток разделяется между многими путями (экран кабеля среднего напряжения или концентрическая нейтраль, оголенный заземляющий проводник и земля), что влияет на то, как обратный ток земли влияет на ППЗ.

— Рассмотрение взаимосвязи заземления ВЭС и подстанции:

ВЭС требует наличия подстанции для создания токов короткого замыкания, но то же самое не относится к обратному. Подстанция может быть построена и подключена к сети до соединения с системой заземления ВЭС, либо ВЭС может быть демонтирована, а подстанция останется в эксплуатации. Следовательно, в то время как ВЭС может учитывать преимущества взаимосвязанной системы заземления подстанции, подстанция может не учитывать преимущества взаимосвязанной системы заземления ВЭС. Кроме того, последствия добавления ВЭС к существующей подстанции могут потребовать повторного анализа подстанции.

Библиография

[B1] Аккредитованный Комитет По Стандартам C2, Национальный Кодекс Электробезопасности ® (NESC®).

[B2] По материалам Hoekstra&McNeil 1973, цитируется Карен Генри в «Электрическое заземление в холодных регионах», Технический сборник для холодных регионов, № 87-1, март 1987 г.

[B3] Браун, Дж. и Р. Шаерер, «Параметрический анализ и упрощенные расчеты разделения тока короткого замыкания для проектирования безопасности системы заземления ветряных электростанций», Конференция и выставка IEEEPEST&D, 2014 г., Чикаго, Иллинойс, стр. 1-5, апрель 2014 г.,http://dx.doi.org/10.1109/TDC.2014.6863391.

[B4] Кэдмор, А. и А. Сана, «Сравнение медных и стальных плакированных медью проводников для заземления ВЭС», панельная сессия, посвященная проблемам проектирования систем заземления ветряных и солнечных электростанций для обеспечения личной безопасности, Общее собрание IEEEPES, 2016 г., Бостон, Массачусетс, США. 17-22 июля 2016 г.

[B5] CSAC22.1, Электротехнические нормы Канады (CEC), Стандарт безопасности для электрических установок.

[B6] Гори, Т. и А. Сана, «Применимость электрических норм к заземлению ВЭС и солнечных электростанций», панельная сессия по проблемам проектирования систем заземления ветряных и солнечных электростанций для обеспечения личной безопасности, Общее собрание IEEEPES, 2016 г., Бостон, Массачусетс, США. 17-22 июля 2016 г.

[B7] ICEAP-32-382, Характеристики короткого замыкания изолированных кабелей.

[B8] ICEAP-45-482, Характеристики металлических экранов и оболочек изолированного кабеля при коротком замыкании.

[B9] Серия стандартов IEC 62305, Защита от молнии.

[B10] IEC 61400-24, Ветряные турбины, часть 24: молниезащита.

[B11] IEEEStd 142™, Рекомендуемая практика IEEE для заземления промышленных и коммерческих энергосистем (IEEEGreenBook).

[B12] IEEEStd 367™, Рекомендуемая практика IEEE для определения повышения потенциала заземления электростанции и наведенного напряжения в результате сбоя питания.

[B13] IEEEStd 386™, Стандарт IEEE для раздельных изолированных соединительных систем для систем распределения электроэнергии выше 600 В.

[B14] IEEEStd 487™, Стандарт IEEE по электрической защите средств связи, обслуживающих места электроснабжения – общие положения.

[B15] IEEEStd 575™, Руководство IEEE по применению методов соединения оболочек для одножильных кабелей и расчету индуцированных напряжений и токов в оболочках кабелей.

[B16] IEEEStd 837™, Стандарт IEEE для квалификации постоянных соединений, используемых для заземления подстанции.

[B17] IEEEStd 998™, Руководство IEEE по защите подстанций от прямого удара молнии.

[B18] NFPA 70®, Национальный электрический кодекс (NEC®).

[B19] Сана, А., А. Кэдмор, Т. Гори и Р. Шерер, «Проектирование системы заземления ветряных электростанций для обеспечения личной безопасности», Учебное пособие № 02, Конференция и выставка по передаче и распределению электроэнергии IEEEEnergyEngineeringSociety (PES), Орландо, Флорида, США, 2-5 мая 2016 г.

[B20] Сана, А., «Применимость Национального электротехнического кодекса (NEC) к системам сбора ветряных электростанций (ВЭС) и конструкции заземления», панельная сессия «Как применять требования электрических норм и правил для крупных ветряных электростанций», Американская ассоциация ветроэнергетики (AWEA). Конференция и выставка WINDPOWER 2011, Анахайм, Калифорния, США, 22-25 мая 2011 г.

[B21] Сана, А., «Проектирование системы заземления ветряных электростанций для обеспечения личной безопасности», Учебное пособие 01, Конференция и выставка IEEEPowerEngineeringSociety (PES) по передаче и распределению электроэнергии, Орландо, Флорида, США, 7–10 мая 2012 г.

[B22] Сана А., «Вопросы заземления фундамента ветряных турбин», Конференция и выставка IEEEPowerEngineeringSociety (PES) по передаче и распределению электроэнергии, Чикаго, США, 14–17 апреля 2014 г.

 **МКС 27.180 (IDT)**

**Ключевые слова**: коллекторная система, заземление, безопасность, ветроэнергетическая установка

|  |
| --- |
| **Разработчик:****РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии»****Заместитель** **Генерального директора А. Радаев****Начальник Центра** **стандартизации С. Карибжанова****Ведущий специалист А. Тулегенов** |
|  |