Изображение государственного Герба Республики Казахстан

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**Воздушные линии электропередачи с напряжением переменного тока,**

**превышающим 1 кВ.**

**Часть 1.**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**СТ РК** EN 50341-1 **\_\_\_\_\_\_**

*[(EN 50341-1:2012](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/618d1923-c8f0-4c7b-9a5a-ba47a4c37551/en-50341-1-2012) Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV - Part 1: General requirements - Common specifications. IDT)*

*Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения*

**Комитет технического регулирования и метрологии**

**Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан**

**(Госстандарт)**

**Нур-Султан**

**Предисловие**

**1 ПОДГОТОВЛЕН** Республиканским государственным предприятием на ПХВ «Казахстанский институт стандартизации и метрологии» Комитета технического регулирования и метрологииМинистерства 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 «\_\_» \_\_\_\_\_\_ 2022 года.

# 3 Настоящий стандарт идентичен Европейскому стандарту EN 50341-1:2012 Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV - Part 1: General requirements - Common specifications (Воздушные линии электропередачи с напряжением переменного тока, превышающим 1 кВ. Часть 1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ).

Европейский стандарт был одобрен Техническим комитетом CENELEC «Европейский комитет по стандартизации в электротехнике».

Перевод с английского языка (en)

«Официальные экземпляры стандартов иностранного государства, на основе которых подготовлен (разработан) настоящий стандарт, и на которые даны ссылки, имеются в Едином государственном фонде нормативных технических документов»

«Степень соответствия – идентичная (IDT)»

**4** В настоящем стандарте реализованы нормы законов Республики Казахстан: «О техническом регулировании» от 30 декабря 2020 года №396-VI ЗРК, «О стандартизации» от 5 октября 2018 года № 183-VІ ЗРК.

**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 соответствующая информация 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

0 Введение VI

1 Область применения 1

1.1 Общие положения 1

1.2 Область применения 1

1.3 Структура европейского стандарта EN 50341-1 2

2 Нормативные ссылки, определения и символы 3

[2.1 Нормативные ссылки](#bookmark14) 3

2.2 Определения 9

2.3 Символы 21

3 Основы проектирования 28

3.1 Введение 28

3.2 Требования к воздушной ЛЭП 29

3.3 Предельные состояния 33

3.5 Характерные значения 35

3.6 Расчетные значения 35

3.7 Метод частного коэффициента и расчетная формула 37

4 Воздействия на линии 39

4.1 Введение 39

4.2 Постоянные нагрузки 42

4.3 Ветровые нагрузки 42

4.4 Ветровые нагрузки на элементы воздушной ЛЭП 45

4.5 Ледовые нагрузки 56

4.6 Комбинированные ветровые и ледовые нагрузки 57

4.7 Влияние температуры 61

4.8 Защитные нагрузки 61

4.9 Безопасные нагрузки 62

4.10 Нагрузки от токов короткого замыкания 63

4.11 Другие специальные нагрузки. 63

4.12 Варианты нагрузок 63

4.13 Частные коэффициенты для воздействий 67

5 Электрические требования 69

5.1 Введение 69

5.2 Токи 70

5.3 Координация изоляции 71

5.4 Классификация напряжений и перенапряжений 71

5.5 Минимальные воздушные зазоры во избежание перекрытия 74

5.6 Варианты нагрузки для расчета зазоров 79

5.7 Координация положений проводов и электрических напряжений 81

5.8 Внутренние зазоры в пролете и на вершине опоры 82

5.9 Внешние зазоры 85

5.10 Эффект короны 95

5.11 Электрические и магнитные поля 96

6 Системы заземления 99

6.1 Введение 99

6.2 Рейтинги в отношении коррозии и механической прочности 100

6.3 Размеры с учетом термической прочности 100

6.4 Расчет с точки зрения безопасности человека 101

6.5 Проверка на месте и документирование систем заземления 105

7 Опоры 107

7.1 Особенности первоначального проектирования 107

7.2 Материалы 107

7.3 Решетчатые стальные опоры 108

7.4 Стальные столбы 112

7.5 Деревянные столбы 115

7.6 Бетонные столбы 117

7.7 Опоры с оттяжками 119

7.8 Другие конструкции 123

7.9 Защита от коррозии и отделка 123

7.10 Средства технического обслуживания 125

7.11 Нагрузочные испытания 125

7.12 Сборка и установка 125

8 Фундаменты 126

8.1 Введение 126

8.2 Основы геотехнического проектирования (EN 1997-1:2004 - Раздел 2) 128

8.3 Исследование грунта и геотехнические данные (EN 1997-1:2004 - Раздел 3) 128

8.4 Надзор за строительством, мониторинг и техническое обслуживание (EN 1997-1:2004 - Раздел 4) 129

8.5 Заполнение, осушение, улучшение и укрепление грунта (EN 1997-1:2004 - Раздел 5) 129

8.6 Взаимодействие между опорными фундаментами и грунтом 129

9 Провода и заземляющие проводники 130

9.1 Введение 130

9.2 Провода на алюминиевой основе. 130

9.3 Провода на стальной основе 132

9.4 Провода на основе меди 133

9.5 Провода и заземляющие проводники, содержащие оптоволоконные телекоммуникационные цепи 133

9.6 Общие требования 134

9.7 Протоколы испытаний и сертификаты 135

9.8 Выбор, поставка и монтаж проводов 135

10 Изоляторы. 136

10.1 Введение 136

10.2 Стандартные электрические требования 136

10.3 Требования RIV и напряжение погасания коронного разряда 136

10.4 Требования к характеристикам загрязнения 137

10.5 Требования к силовой дуге 138

10.6 Требования к акустическому шуму 138

10.7 Механические требования 138

10.8 Требования к долговечности 138

10.9 Выбор материала и спецификация 139

10.10 Характеристики и размеры изоляторов 139

10.11 Требования к типовым испытаниям 140

10.12 Требования к выборочным испытаниям 140

10.13 Требования к стандартным испытаниям 141

10.14 Резюме требований к испытаниям 141

10.15 Протоколы испытаний и сертификаты 141

10.16 Выбор, поставка и монтаж изоляторов 141

11 Оборудование 142

11.1 Введение 142

11.2 Электрические требования 142

11.3 Требования RIV и напряжение погасания коронного разряда 142

11.4 Магнитные характеристики 142

11.5 Требования к току короткого замыкания и силовой дуге 142

11.6 Механические требования 143

11.7 Требования к долговечности. 143

11.8 Выбор материала и спецификация 143

11.9 Характеристики и размеры арматуры 143

11.10 Требования к типовым испытаниям 144

11.11 Требования к выборочным испытаниям 144

11.12 Требования к стандартным испытаниям 144

11.13 Протоколы испытаний и сертификаты 144

11.14 Выбор, поставка и монтаж арматуры 145

12 Обеспечение качества, проверки и приемка 146

12.1 Обеспечение качества 146

12.2 Проверки и приемка 146

Приложение A (*справочное*) Координация прочности 147

Приложение B (*справочное*) Пересчет скоростей ветра и ледовых нагрузок 149

Приложение C (*справочное*) Примеры применения ветровых нагрузок - Специальные нагрузки 154

Приложение D *(справочное*) Статистические данные для распределения экстремумов Гамбеля 161

Приложение E (*обязательное*) Теоретический метод расчета минимальных воздушных зазоров 169

Приложение F (*справочное*) Эмпирический метод расчета зазоров между пролетами 184

Приложение G (*обязательное*) Методы расчета систем заземления 187

[Приложение H (*справочное*) Установка и измерения систем заземления](#bookmark419) 195

Приложение J (*обязательное*) Углы в решетчатых стальных опорах 204

Приложение K (*обязательное*) Стальные столбы 220

Приложение L (*справочное*) Требования к конструкции опор и фундаментов 227

Приложение M (*справочное*) Геотехническое и структурное проектирование фундаментов 230

Приложение N (*справочное*) Провода и воздушные заземляющие проводники 250

Приложение P (*справочное*) Испытания изоляторов и комплектов изоляторов 252

Приложение Q (*справочное*) Изоляторы 256

Приложение R (*справочное*) Оборудование 258

0 Введение

0.1 Подробная структура стандарта

Стандарт состоит из двух частей, пронумерованных Часть 1 и Часть 2.

0.2 Часть 1. Общие требования. Общие характеристики

Эта часть, также называемая Основной частью, включает положения, общие для всех стран. Эти положения были подготовлены рабочими группами и одобрены CLC/TC 11.

Основная часть доступна на английском, французском и немецком языках.

0.3 Часть 2: Национальные нормативные требования

В указателе перечислены существующие национальные нормативные требования (NNA), относящиеся к разным странам; NNA для страны являются обязательными в этой стране и справочными в других странах.

Национальные нормативные требования (NNA) отражают национальную практику. Как правило, они включают А-отклонения, особые национальные условия и национальные дополнения.

0.4 А-отклонения

А-отклонения требуются существующими национальными законами или правилами, которые не могут быть изменены во время подготовки стандарта.

Ссылка дается на Внутренние правила CENELEC, часть 2, определение 2.17.

0.5 Особые национальные условия (snc)

Особые национальные условия — это национальные особенности или практика, которые не могут быть изменены даже в течение длительного периода времени, например, из-за климатических условий, удельного сопротивления земли и т.д.

См. Внутренние правила CENELEC, часть 2, определение 2.15.

0.6 Национальные дополнения (NCPT)

Национальные дополнения отражают национальные практики, которые не являются ни А-отклонениями, ни особыми национальными условиями. В рамках CLC/TC 11 было согласовано, что NCPT следует постепенно адаптировать к Основной части, стремясь к обычной структуре стандарта EN, включающей только Основную часть, A-отклонения и специальные национальные условия.

0.7 Язык

NNA публикуются на английском языке и могут быть дополнительно опубликованы на национальном(-ых) языке(-ах) соответствующей страны.

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**Воздушные линии электропередачи с напряжением переменного тока,**

**превышающим 1 кВ.**

**ЧАСТЬ 1.**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Дата введения \_\_\_\_\_\_\_\_**

1 Область применения

1.1. Общие положения

Настоящий стандарт распространяется на новые воздушные линии электропередач с номинальным напряжением сети более 1 кВ переменного тока и с номинальной частотой ниже 100 Гц.

Степень применения этого стандарта каждой страной в отношении существующих воздушных линий электропередач зависит от требований национальных нормативных требований (NNA), применимых к этой стране.

Конкретное определение значения и протяженности «новой воздушной линии электропередач» должно быть определено каждым Национальным комитетом (NC) в рамках их собственных NNA. По крайней мере, это будет означать совершенно новую линию между двумя точками А и В.

1.2 Область применения

Настоящий стандарт также применяется к изолированным токопроводящим воздушным линиям и воздушным изолированным кабельным системам с номинальным напряжением от 1 кВ до 45 кВ переменного тока включительно и с номинальной частотой ниже 100 Гц. Указаны дополнительные требования и упрощения, применимые только для этого диапазона напряжений.

Проектирование и строительство воздушных линий с изолированными проводами, у которых внутренние и внешние зазоры могут быть меньше, чем указано в стандарте, не включаются для линий напряжением более 45 кВ. Могут быть применимы и другие требования стандарта, и при необходимости следует проконсультироваться с NNA.

Настоящий стандарт применим к оптическим заземляющим проводам (OPGW) и оптическим проводам (OPCON). Однако стандарт не применяется к телекоммуникационным системам, которые используются на воздушных линиях электропередачи, либо прикрепленных к проводу линии электропередачи/системе заземляющих проводников (например, с обмоткой и т. д.), либо в виде отдельных кабелей, поддерживаемых опорами передачи, например, полностью диэлектрические самонесущие кабели (ADSS) или для телекоммуникационного оборудования, установленного на отдельных конструкциях линий передачи. Когда такие случаи необходимы, требования могут быть указаны в NNA.

Настоящий стандарт не распространяется на:

• воздушные линии электропередач внутри закрытых электрических зон, как определено в EN 61936-1;

• контактные сети электрифицированных железных дорог, если это прямо не требуется другим стандартом.

***\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_***

1.3 Структура европейского стандарта EN 50341-1

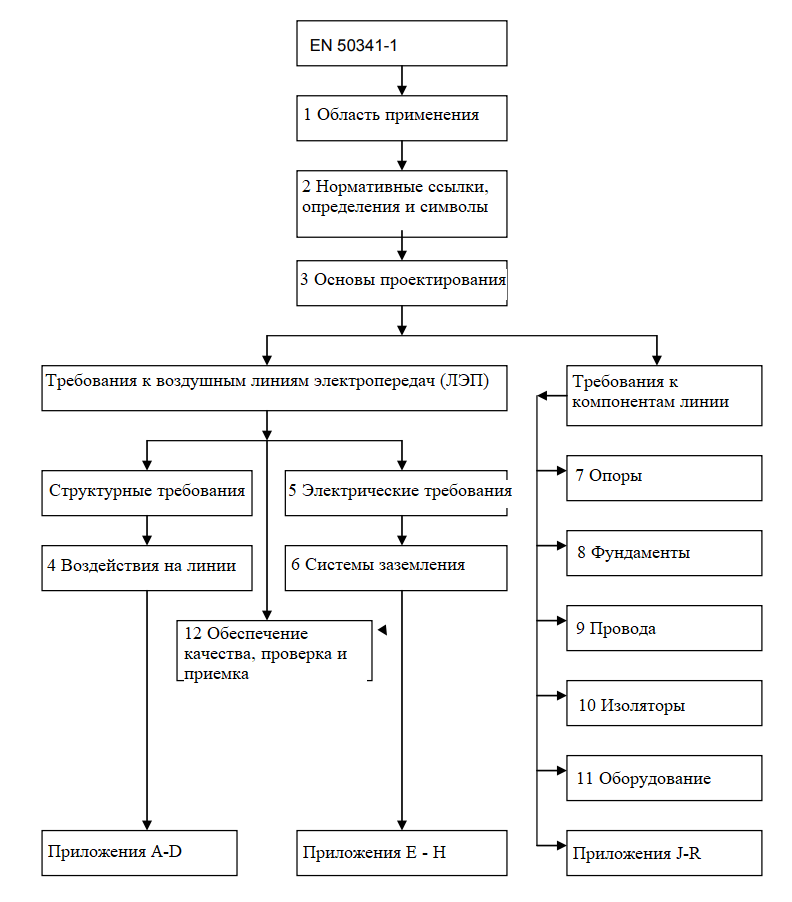
Нормативные ссылки, определения и символы с их значениями перечислены в разделе 2 ниже. В разделе 3 приведены основы проектирования в соответствии с настоящим стандартом.

Стандарт определяет в разделах 4-6 "Общие требования", которые должны быть выполнены для конструктивного и электрического проектирования воздушных линий, чтобы гарантировать, что линия соответствует своему назначению с должным учетом безопасности населения, строительства, эксплуатации, технического обслуживания и вопросов охраны окружающей среды.

В разделах с 7 по 11 настоящего стандарта рассматриваются структурные и электрические требования, которые должны соблюдаться при проектировании, монтаже и испытаниях компонентов воздушной линии, включая опоры, фундаменты, провода, изоляционные гирлянды и оборудование, как это определено соответствующими расчетными параметрами линии.

Наконец, в разделе 12 рассматриваются требования к обеспечению качества при проектировании, производстве и строительстве.

На блок-схеме 1.1 представлена структура европейского стандарта EN 50341-1, его разделы с 1 по 12 и приложения от A до R.

****

Блок-схема 1.1 — Структура европейского стандарта EN 50341-1

2 Нормативные ссылки, определения и символы

2.1 Нормативные ссылки

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

Еврокоды:

EN 1990:2002 Eurocode − Basis of structural design (Еврокод — Основы проектирования сооружений)

EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1: Actions on structures − Part 1-4: General actions − Wind actions *(*Еврокод 1: Воздействия на строительные конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Воздействия ветра)

EN 1991-1-6:2005 Eurocode 1 − Actions on structures Part 1-6: General actions − Actions during execution (Еврокод 1 — Воздействия на строительные конструкции. Часть 1-6. Общие воздействия. Воздействия при производстве строительных работ)

EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures − Part 1-1: General rules and rules for buildings (Еврокод 2: Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие нормы и правила для зданий)

EN 1993-1-1:2005 Eurocode 3: Design of steel structures − Part 1-1: General rules and rules for buildings (Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие нормы и правила для зданий)

EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3: Design of steel structures − Part 1-3: General rules − Supplementary rules for cold-formed members and sheeting (Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодногнутых элементов и листов)

EN 1993-1-5:2006 Eurocode 3: Design of steel structures − Part 1-5: Plated structural elements (Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-5: Пластинчатые элементы конструкции)

EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3: Design of steel structure − Part 1-8: Design of joints(Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8: Проектирование соединений)

EN 1993-1-11:2006 Eurocode 3 − Design of steel structures − Part 1-11: Design of structures with tension components (Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-11. Проектирование конструкций с элементами, работающими на растяжение)

EN 1993-3-1:2006 Eurocode 3 − Design of steel structures − Part 3-1: Towers, masts and chimneys − Towers and masts (Еврокод 3 − Проектирование стальных конструкций − Часть 3-1: Опоры, мачты и дымовые трубы − Опоры и мачты)

EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5: Design of timber structures − Part 1-1: General − Common rules and rules for buildings (Еврокод 5: Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие положения. Общие нормы и правила для зданий)

EN 1997-1:2004 Eurocode 7: Geotechnical design − Part 1: General rules (Еврокод 7: Геотехническое проектирование − Часть 1. Общие правила)

EN 1997-2:2007 Eurocode 7: Geotechnical design − Part 2: Ground investigation and testing(Еврокод 7: Геотехническое проектирование − Часть 2. Исследования и испытания грунта)

EN 1998-6:2005 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance − Part 6: Towers, masts and chimneys (Еврокод 8: Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 6: Опоры, мачты и дымовые трубы)

Другие европейские стандарты:

EN ISO 1461:2009 Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles − Specifications and test methods (Покрытия, нанесенные методом горячего цинкования на изделия из чугуна и стали − Технические требования и методы испытания (ISO 1461:2009)

EN ISO 2063 Thermal spraying − Metallic and other inorganic coatings − Zinc, aluminium and their alloys (Напыление термическое. Цинк, алюминий и их сплавы. (ISO 2063)

EN ISO 9001 Quality management systems − Requirements (Системы менеджмента качества. Требования) (ISO 9001)

EN ISO 14713 (все части) Zinc coatings − Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures (Покрытия цинковые. Руководство и рекомендации по защите от коррозии конструкций из чугуна и стали) (ISO 14713, все части)

EN 1090-1 Execution of steel structures and aluminium structures − Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components(Конструкции стальные и алюминиевые строительные. Часть 1. Требования к оценке соответствия конструкций при изготовлении)

EN 12385 (все части) Steel wire ropes — Safety (Канаты стальные. Безопасность)

EN 12843 Precast concrete products − Masts and poles(Изделия из сборного бетона. Мачты и столбы)

EN 14229 Structural timber − Wood poles for overhead lines(Деревянные конструкции. Деревянные столбы для воздушных ЛЭП)

EN 50182:2001 Conductors for overhead lines − Round wire concentric lay stranded conductors (Провода для воздушных ЛЭП. Концентрически скрученный из круглой проволоки многожильный провод)

EN 50183 Conductors for overhead lines − Aluminium-magnesium-silicon alloy wires (Провода для воздушных ЛЭП. Провода из алюминиево-магниево-кремниевых сплавов)

EN 50189 Conductors for overhead lines − Zinc coated steel wires(Провода для воздушных ЛЭП. Стальная оцинкованная проволока)

EN 50326 Conductors for overhead lines − Characteristics of greases(Провода для воздушных ЛЭП. Характеристики смазок)

EN 50397-1 Covered conductors for overhead lines and the related accessories for rated voltages above 1 kV a.c. and not exceeding 36 kV a.c. − Part 1: Covered conductors (Изолированные провода для воздушных ЛЭП и связанная арматура для номинальных напряжений свыше 1 кВ постоянного тока, но не превышающие 36 кВ. Часть 1. Изолированные провода)

EN 50522:2010 Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.(Заземление силовых установок свыше 1 кВ переменного тока)

EN 55016-1-1 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods − Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus − Measuring apparatus (Спецификация на аппаратуру и методы измерения радиопомех и помехоустойчивости. Часть 1-1. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерительная аппаратура)

EN 60038 CENELEC standard voltages (Стандартные напряжения CENELEC) (IEC 60038)

EN 60071-1 Insulation coordination − Part 1: Definitions, principles and rules (Координация изоляции. Часть 1. Определения, принципы и правила) (IEC 60071-1)

EN 60071-2:1997 Insulation co-ordination − Part 2: Application guide(Координация изоляции. Часть 2. Руководство по применению) (IEC 60071-2:1996)

EN 60305 Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 kV − Ceramic or glass insulator units for a.c. systems − Characteristics of insulator units of the cap and pin type(Изоляторы для воздушных ЛЭП с номинальным напряжением выше 1 кВ. Керамические или стеклянные изоляторы для систем переменного тока. Характеристики изоляторов колпачкового и штыревого типа) (IEC 60305)

EN 60372 Locking devices for ball and socket couplings of string insulator units − Dimensions and tests(Устройства запирающие для шаровых шарнирных соединений элементов гирлянд изоляторов. Размеры и испытания) (IEC 60372)

EN 60383-1 Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 kV − Part 1: Ceramic or glass insulator units for a.c. systems − Definitions, test methods and acceptance criteria (Изоляторы для воздушных ЛЭП с номинальным напряжением выше 1 кВ. Часть 1. Керамические или стеклянные изоляторы для систем переменного тока. Определения, методы испытаний и критерии приемки) (IEC 60383-1)

EN 60383-2 Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 kV − Part 2: Insulator strings and insulator sets for a.c. systems − Definitions, test methods and acceptance criteria (Изоляторы для воздушных ЛЭП с номинальным напряжением свыше 1 кВ. Часть 2. Гирлянды изоляторов и комплекты изоляторов для систем переменного тока. Определения, методы испытаний и критерии приемки) (IEC 60383-2)

EN 60433 Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 kV − Ceramic insulators for a.c. systems − Characteristics of insulator units of the long rod type (Изоляторы для воздушных ЛЭП с номинальным напряжением свыше 1 кВ. Керамические изоляторы для систем переменного тока. Характеристики блоков изоляторов длинностержневого типа) (IEC 60433)

EN 60437 Radio interference tests on high-voltage insulators (Испытания на радиопомехи высоковольтных изоляторов) (IEC 60437)

EN 60507 Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems(Испытания искусственного загрязнения высоковольтных изоляторов, которые будут использоваться в системах переменного тока) (IEC 60507)

EN 60652 Loading tests on overhead line structures (Нагрузочные испытания конструкций воздушных ЛЭП) (IEC 60652)

EN 60794-1-1 Optical fibre cables − Part 1-1: Generic specification − General(Оптические кабели. Часть 1-1. Общие технические требования. Общие положения) (IEC 60794-1-1)

EN 60794-1-2 Optical fibre cables − Part 1-2: Generic specification − Basic optical cable test procedures(Оптические кабели. Часть 1-2. Общие технические требования. Основные методы испытаний оптических кабелей) (IEC 60794-1-2)

EN 60794-4:2003 Optical fibre cables − Part 4: Sectional specification − Aerial optical cables along electrical power lines (Оптические кабели. Часть 4. Групповые технические условия. Воздушные оптические кабели, прокладываемые вдоль линий электропередачи) (IEC 60794-4)

EN 60794-4-10 Optical fibre cables − Part 4-10: Aerial optical cables along electrical power lines − Family specification for OPGW (Optical Ground Wires) (Оптические кабели. Часть 4-10. Воздушные оптические кабели, прокладываемые вдоль линий электропередачи. Групповые технические условия для OPGW (оптические заземляющие провода) (IEC 60794-4-10)

EN 60865-1 Short circuit currents − Calculation of effects − Part 1: Definitions and calculation methods (Токи короткого замыкания. Расчет эффектов. Часть 1. Определения и методы расчета) (IEC 60865-1)

EN 60889 Hard-drawn aluminium wire for overhead line conductors (Проволока алюминиевая твердотянутая для воздушных ЛЭП) (IEC 60889)

EN 60909-0 Short circuit currents in three-phase a.c. systems − Part 0: Calculation of currents(Токи короткого замыкания в системах трехфазного переменного тока. Часть 0. Расчет токов) (IEC 60909-0)

EN 61109 Insulators for overhead lines − Composite suspension and tension insulators for a.c. systems with a nominal voltage greater than 1 000V − Definitions, test methods and acceptance criteria (Изоляторы для воздушных ЛЭП. Композитные подвесные и натяжные изоляторы для систем переменного тока с номинальным напряжением свыше 1 000 В. Определения, методы испытаний и критерии приемки) (IEC 61109)

EN 61211 Insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1 000V − Impulse puncture testing in air(Изоляторы керамические или стеклянные для воздушных ЛЭП с номинальным напряжением свыше 1000 В − испытание на пробой в воздухе) (IEC 61211)

EN 61232 Aluminium-clad steel wires for electrical purposes(Стальная проволока с алюминиевым покрытием для электрических целей) (IEC 61232)

EN 61284 Overhead lines − Requirements and tests for fittings (Воздушные ЛЭП. Требования и испытания для арматуры) (IEC 61284)

EN 61325 Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 kV − Ceramic or glass insulator units for d.c. systems − Definitions, test methods and acceptance criteria (Изоляторы для воздушных ЛЭП с номинальным напряжением свыше 1 кВ. Керамические или стеклянные изоляторы для систем постоянного тока. Определения, методы испытаний и критерии приемки) (IEC 61325)

EN 61395 Overhead electrical conductors − Creep test procedures for stranded conductors (Провода электрические для воздушных линий электропередач. Методы испытаний скрученных проводов на ползучесть) (IEC 61395)

EN 61466-1 Composite string insulator units for overhead lines with a nominal voltage greater than 1 kV − Part 1: Standard strength classes and end fittings (Элементы гирлянд комбинированных изоляторов для воздушных линий электропередачи с номинальным напряжением свыше 1 кВ. Часть 1. Стандартные классы прочности и соответствующая им стандартная арматура концевой подвески) (IEC 61466-1)

EN 61466-2 Composite string insulator units for overhead lines with a nominal voltage greater than 1 kV − Part 2: Dimensional and electrical characteristics (Элементы гирлянд комбинированных изоляторов для воздушных линий электропередачи с номинальным напряжением свыше 1 кВ. Часть 2. Размерные и электрические характеристики) (IEC 61466-2)

EN 61467 Insulators for overhead lines − Insulator strings and sets for lines with a nominal voltage greater than 1 000 V − AC power arc tests (Изоляторы для воздушных ЛЭП − Гирлянды изоляторов и комплекты для воздушных ЛЭП с номинальным напряжением свыше 1000 В − испытания силовой дуги переменного тока) (IEC 61647)

EN 61472 Live working − Minimum approach distances for a.c. systems in the voltage range 72,5 kV to 800 kV − A method of calculation (Работа под напряжением. Минимальные расстояния приближения для систем переменного тока с номинальным напряжением от 72,5 кВ до 800 кВ. Метод расчета) (IEC 61472)

EN 61773 Overhead lines − Testing of foundations for structures (Воздушные ЛЭП. Испытание фундаментов конструкций) (IEC 61773)

EN 61854 Overhead lines − Requirements and tests for spacers (Воздушные ЛЭП. Требования и испытания прокладок) (IEC 61854)

EN 61897Overhead lines − Requirements and tests for Stockbridge type aeolian vibration dampers (Воздушные ЛЭП. Требования и испытания гасителей вибрации проводов под действием ветра) (IEC 61897)

EN 61936-1 Power installations exceeding 1 kV a.c. − Part 1: Common rules (Установки электрические напряжением свыше 1 кВ переменного тока. Часть 1. Общие правила) (IEC 61936-1)

EN 61952 Insulators for overhead lines − Composite line post insulators for A.C. systems with a nominal voltage greater than 1 000V − Definitions, test methods and acceptance criteria (Изоляторы для воздушных ЛЭП. Композитные линейные (опорные) изоляторы для систем переменного тока и номинального напряжения свыше 1000 В. Определения, методы испытаний и критерии приемки) (IEC 61952)

EN 62004 Thermal-resistant aluminium alloy wire for overhead line conductor (Проволока из термостойкого алюминиевого сплава для проводов воздушных ЛЭП) (IEC 62004)

EN 62219Overhead electrical conductors − Formed wire, concentric lay, stranded conductors (Провода для воздушных ЛЭП, скрученные из профилированных проволок концентрическими повивами) (IEC 62219)

HD 474 S1Dimensions of ball and socket couplings of string insulator units (Размеры шаровых шарнирных соединений элементов гирлянды изоляторов) (IEC 60120)

Правила ICAO, приложение 14 Volume 1 − Aerodrome Design and Operations Chapter 6 − Visual aids for denoting obstacles (Том 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов. Глава 6. Визуальные средства для обозначения препятствий)

IEC 60050-441 International Electrotechnical Vocabulary. Switchgear, controlgear and fuses (Международный электротехнический словарь. Аппаратура коммутационная, аппаратура управления и плавкие предохранители)

IEC 60050-466 International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 466: Overhead lines (Международный электротехнический словарь. Глава 466: Воздушные ЛЭП)

IEC 60050-471 International Electrotechnical Vocabulary − Part 471: Insulators (Международный электротехнический словарь. Часть 471. Изоляторы)

IEC 60050-601 International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity − General (Международный электротехнический словарь. Глава 601: Производство, передача и распределение электроэнергии. Общие положения)

IEC 60050-604 International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation (Международный электротехнический словарь. Глава 604: Производство, передача и распределение электроэнергии. Эксплуатация)

IEC 60287-3-1 Electric cables − Calculation of the current rating − Part 3-1: Sections on operating conditions − Reference operating conditions and selection of cable type (Электрические кабели. Расчет номинального тока. Часть 3-1. Секции по условиям эксплуатации − референтные условия эксплуатации и выбор типа кабеля)

IEC 60471 Dimensions of clevis and tongue couplings of string insulator units (Размеры вилочных и шпунтовых соединений блоков гирлянд изоляторов)

IEC/TS 60479-1:2005 Effects of current on human beings and livestock − Part 1: General aspects (Воздействие тока на людей и домашний скот. Часть 1. Общие положения)

IEC/TR 60575 Thermal-mechanical performance test and mechanical performance test on string insulator units (Испытание тепломеханических характеристик и испытание на механические характеристики на блоках гирлянд изоляторов)

IEC 60720 Characteristics of line post insulator (Характеристики линейно-опорных изоляторов)

IEC 60724 Short-circuit temperature limits of electric cables with rated voltages of 1 kV (Um = 1,2 kV) and 3 kV (Um = 3,6 kV) (Предельные температуры короткого замыкания электрических кабелей на номинальное напряжение 1 кВ (Um = 1,2 кВ) и 3 кВ (Um = 3,6 кВ)

IEC 60797 Residual strength of string insulator units of glass or ceramic material for overhead lines after mechanical damage of the dielectric (Остаточная прочность блоков гирлянд изоляторов из стекла или керамического материала для воздушных ЛЭП после механического повреждения диэлектрика)

IEC/TS 60815-1Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions − Part 1: Definitions, information and general principles (Выбор и определение размеров высоковольтных изоляторов, предназначенных для использования в условиях загрязнения. Часть 1. Определения, информация и общие принципы)

IEC/TS 60815-2Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions − Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems (Выбор и определение размеров высоковольтных изоляторов, предназначенных для использования в загрязненных условиях − Часть 2. Керамические и стеклянные изоляторы для систем переменного тока)

IEC/TS 60815-3 Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions − Part 3: Polymer insulators for a.c. systems (Выбор и определение размеров высоковольтных изоляторов, предназначенных для использования в условиях загрязнения — Часть 3. Полимерные изоляторы для систем переменного тока)

IEC 60826 Design criteria of overhead transmission lines (Критерии проектирования воздушных ЛЭП)

IEC/TR 61597Overhead electrical conductors − Calculation methods for stranded bare conductors (Воздушные электрические провода. Методы расчета многожильных неизолированных проводов)

IEC/TR 61774Overhead lines − Meteorological data for assessing climatic loads (Воздушные ЛЭП. Метеорологические данные для оценки климатических нагрузок)

ISO 12494Atmospheric icing of structures (Атмосферное обледенение конструкций)

CISPR/TR 18-2Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment − Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits (Характеристики радиопомех воздушных ЛЭП и высоковольтного оборудования, работающего под напряжением. Часть 2. Методы измерения и процедуры для определения лимитов)

CISPR/TR 18-3Radio interference characteristics of overhead power lines and high voltage equipment − Part 3: Code of practice for minimizing the generation of radio noise (Характеристики радиопомех воздушных ЛЭП и высоковольтного оборудования, работающего под напряжением. Часть 3. Свод практических правил по минимизации создания радиопомех)

2.2 Определения

Для целей настоящего Европейского стандарта применяются термины и определения, данные в Международном словаре (IEC 60050), главы 441, 466, 471, 601, 604, в Еврокодах (с EN 1990 по EN 1999), а также следующие.

2.2.1 Воздействие (action):

а) Сила (нагрузка), приложенная к (механической) системе (прямое воздействие);

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к записи: Воздействие может быть постоянным, переменным или случайным.

b) Вынужденная или ограниченная деформация или ускорение, вызванное, например, изменениями температуры, колебаниями влажности, неравномерной осадкой или землетрясениями (косвенное воздействие).

2.2.2 Случайное воздействие (accidental action): Действие, как правило, кратковременное, которое вряд ли будет иметь значительную величину в течение расчетного срока службы.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к записи: Во многих случаях можно ожидать, что случайное действие вызовет серьезные последствия, если не будут приняты специальные меры.

2.2.3 Противо-каскадная опора (anti-cascading tower): Натяжная или подвесная опора, специально разработанная с повышенной прочностью, чтобы избежать каскадных отказов, и установленная с заданной частотой опор, чтобы ограничить повреждение и обеспечить быстрое восстановление вышедшей из строя опоры и провода (-ов).

2.2.4 Шлейфовый проводник (bonding conductor):Проводник, обеспечивающий выравнивание потенциалов.

2.2.5 Значения поля (box values): Числовые значения, идентифицированные  «значения поля», даны как индикация.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к записи: Другие значения могут быть указаны NC в NNA.

2.2.6 Нормативное сопротивление (characteristic resistance): Значение механического сопротивления, рассчитанное с использованием характерных значений свойств материала и которое может быть получено из EN 1992-1-1, EN 1993-1-1 или EN 1995-1-1.

2.2.7 Характерное значение свойства материала (characteristic value of a material property): Значение свойства материала, которое с заданной вероятностью не будет достигнуто в гипотетической неограниченной серии испытаний и которое обычно соответствует определенной доле предполагаемого статистического распределения конкретного свойства материала.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к записи: В некоторых случаях в качестве характерного значения используется номинальное значение.

2.2.8 Характерное значение воздействия (characteristic value of an action): Главное репрезентативное значение воздействия, которое, поскольку это характерное значение может быть зафиксировано на статистической основе, выбирается таким образом, чтобы оно соответствовало заданной вероятности непревышения в неблагоприятную сторону в течение «контрольного периода» с учетом расчетного срока службы системы и продолжительности расчетной ситуации.

2.2.9 Зазор (clearance): Расстояние между двумя токопроводящими частями по нити, натянутой по кратчайшему пути между этими токопроводящими частями.

[ИСТОЧНИК: IEV 441-17-31]

2.2.10 Коэффициент вариации (coefficient of variation): Отношение стандартного отклонения к среднему значению.

2.2.11 Сочетание воздействий (combination of action) набор расчетных значений воздействий, используемых для проверки надежности конструкции для предельного состояния при расчетной нагрузке.

2.2.12 Коэффициент сочетания для воздействия (combination factor for an action): Коэффициент, используемый для определения значения комбинации воздействий.

2.2.13 Значение комбинации воздействий *(*combination value for an action): Значение, которое связано с использованием комбинации воздействий для учета приведенной вероятности одновременного появления наиболее неблагоприятных значений нескольких независимых воздействий, которая получается путем умножения характерного значения воздействия на коэффициент сочетания воздействий или, в особых обстоятельствах, путем прямого определения.

2.2.14 Компонент (component): Одна из различных основных частей системы воздушных ЛЭП, имеющая определенное назначение.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к записи: Типичными компонентами являются опоры, фундаменты, провода, гирлянды изоляторов и оборудование.

2.2.15 Композитный изолятор (composite insulator): Изолятор, состоящий не менее чем из двух изолирующих частей, а именно сердечника и корпуса, снабженного концевыми креплениями.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к записи: Композитные изоляторы могут состоять, например, из отдельных ребер, установленных на сердечнике, с промежуточной оболочкой или без нее, или, в качестве альтернативы, из корпуса, непосредственно отформованного или отлитого одной или несколькими частями на сердцевину.

2.2.16 Провод (воздушной ЛЭП) (conductor (of an overhead line): Провод или комбинация проводов, не изолированных друг от друга, пригодных для передачи электрического тока.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к записи: Одна или несколько алюминиевых, из алюминиевых сплавов, медных, оцинкованных или плакированных алюминием стальных проволок или их комбинаций, намотанных вместе, которые в совокупности выполняют функцию проведения электрического тока.

[ИСТОЧНИК: IEV 466-01-15]

2.2.16.1 Изолированный провод (covered conductor): Провод, окруженный оболочкой из изоляционного материала для защиты от случайного контакта между другими изолированными проводниками и с заземленными частями

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к записи: Будучи неэкранированными, изолированные провода недостаточно изолированы, чтобы быть защищенными от прикосновения.

2.2.16.2 Воздушная изолированная кабельная система (overhead insulated cable system): Система, в которой каждый проводник окружен оболочкой из изоляционного материала, которая полностью защищает от всех токов утечки между фазами или на заземленные части.

Примечание − В большинстве случаев, каждый фазный провод имеет экран жилы.

***Пример −*** Примеры такой воздушной изолированной кабельной системы включают:

* самонесущие изолированные провода (ABC);
* самонесущий и натянутый подземный кабель;
* "Универсальные" кабельные системы.

2.2.17 Корона (corona): Светящийся разряд из-за ионизации воздуха вокруг электрода, вызванный градиентом напряжения, превышающим определенное критическое значение.

Примечание − Электроды могут быть проводниками, аппаратными средствами, аксессуарами или изоляторами.

2.2.18 Ток на землю (current to earth): Ток течет на землю через сопротивление относительно земли.

2.2.19 Расчетное сопротивление (design resistance): Cтруктурное сопротивление, связывающее все структурные свойства с соответствующим расчетным значением свойств материала.

2.2.20 Расчетная ситуация (design situation): Набор физических условий, представляющих контрольный период, в течение которого проект продемонстрирует, что соответствующие предельные состояния не превышаются.

2.2.21 Расчетное значение свойства материала (design value of a material property): Значение, полученное путем деления характерного значения свойства материала на частный коэффициент для свойства материала или, в особых случаях, путем прямого определения

2.2.22 Расчетное значение воздействия (design value of an action): Значение, полученное путем умножения характерного значения воздействия на частный коэффициент для воздействия.

2.2.23 Расчетный срок службы (design working life): Предполагаемый период, в течение которого конструкция будет использоваться по назначению с ожидаемым техническим обслуживанием, но без необходимости капитального ремонта.

2.2.24 Динамическое воздействие (dynamic action): Воздействие, вызывающее значительное ускорение конструкции или элементов конструкции.

2.2.25 Земля (earth): Термин для земли как местоположения, а также для земли как проводящей массы, например, типы почвы, гумуса, глинистого песка, гравия и камня.

2.2.26 Заземляющий электрод (earth electrode): Провод, закопанный в землю и соединенный с землей токопроводящим образом, или провод, заделанный в бетон и контактирующий с землей через большую поверхность (например, заземляющий электрод фундамента)

2.2.27 Замыкание на землю (earth fault): Токопроводящее соединение, вызванное замыканием между фазным проводом главной цепи и землей или заземленной частью. Токопроводящее соединение также может происходить через дугу.

Примечание − Замыкания на землю двух или нескольких фазных проводов одной и той же электрической системы в разных местах обозначаются как двойные или множественные замыкания на землю.

2.2.28 Ток замыкания на землю (earth fault current):ток, протекающий от главной цепи к земле или к заземленным частям, если в месте замыкания имеется только одна точка замыкания на землю (место замыкания на землю).

2.2.29 Повышение потенциала земли (earth potential rise): Напряжение между системой заземления и контрольной землей.

2.2.30 Заземляющий стержень (earth rod): Заземляющий электрод, который обычно закапывается или вбивается вертикально на большую глубину и который, например, может состоять из трубы, круглого стержня или другого профильного материала.

2.2.31 Потенциал земной поверхности (earth surface potential): Напряжение между точкой на поверхности земли и контрольной землей.

2.2.32 Заземление (earthing): Все средства и меры для обеспечения надлежащего токопроводящего соединения с землей.

2.2.33 Заземляющий провод (earthing conductor): Провод, соединяющий ту часть установки, которая должна быть заземлена, с заземляющим электродом, если он проложен вне грунта (заземляющий проводник) или закопан в грунт.

2.2.34 Система заземления (earthing system): Локально ограниченная электрическая система, состоящая из токопроводящих заземляющих электродов или заземляющих проводов и шлейфовых проводников или металлических частей, действующих таким же образом, например, основания опоры, армирование, металлические оболочки кабелей.

2.2.35 Заземляющий проводник (earth wire):Провод, соединенный с землей на некоторых или всех опорах, который обычно, но не обязательно, подвешивается над линейными проводами для обеспечения определенной степени защиты от ударов молнии

[ИСТОЧНИК: IEV 466-10-25]

Примечание − Заземляющий проводник может также содержать металлическую проволоку для телекоммуникационных целей.

2.2.36 Эффективная напряженность поля (effective field strength): Квадратный корень из суммы квадратов трех среднеквадратичных (r.m.s.) взаимно перпендикулярных компонентов поля.

2.2.37 Эффект воздействия (effect of action): Влияние воздействий на элементы конструкции, например: внутренняя сила, момент, напряжение и деформация. Расчетное значение эффекта воздействия представляет собой суммарный эффект соответствующих расчетных значений воздействий.

2.2.38 Электрическое поле (electric field): Составляющая электромагнитного поля, которая характеризуется напряженностью электрического поля E вместе с плотностью электрического потока D.

[ИСТОЧНИК: IEV 121-11-67]

2.2.39 Элемент (element): Одна из различных частей компонента.

Примечание − Например, элементами стальной решетчатой опоры являются стальные уголки, пластины и болты.

2.2.40 Эквипотенциальное соединение (equipotential bonding): Токопроводящее соединение между токопроводящими частями, чтобы уменьшить разность потенциалов между этими частями.

2.2.41 Вероятность эксклюзионного предела переменной (exclusion limit probability of a variable): Значение переменной, взятое из ее функции распределения и соответствующее заданной вероятности непревышения.

2.2.42 Внешние зазоры (external clearances): Все зазоры, которые не являются «внутренними зазорами» и которые включают в себя расстояния до плоскости земли, дорог, зданий и сооружений (если они разрешены Национальным законом) и до объектов, которые могут находиться на любом из них.

2.2.43 Отказ (конструкции) (failure (structural): Состояние конструкции, назначение которой прекращено, т. е. при котором компонент вышел из строя в результате чрезмерной деформации, потери устойчивости, опрокидывания, обрушения, разрыва, искривления и т. д.

2.2.44 Фиксированное воздействие (fixed action): Воздействие, которое имеет фиксированное распределение по конструкции, так что величина и направление воздействия определяются однозначно для всей конструкции, если эта величина и направление определяются в одной точке конструкции.

2.2.45 Заземляющий электрод фундамента (foundation earth electrode): Провод, залитый бетоном и контактирующий с землей через большую поверхность.

2.2.46 Свободное воздействие (free action): Воздействие, которое может иметь любое пространственное распределение по конструкции в заданных пределах.

2.2.47 Часто посещаемая территория (frequently occupied area): Зона, в которой люди будут находиться так часто, что необходимо учитывать риск одновременного замыкания на землю (примеры: детские площадки, тротуары дорог общего пользования, близость к жилым домам и т.д.).

Примечание − Коммунальные службы должны определять эти зоны.

2.2.48 Деревянные столбы из клееной древесины (glu-lam wood poles): Аббревиатура для столбов из клееной древесины, термин, который относится к деревянным столбам, изготовленным из такой клееной древесины, в отличие от столбов из натурального дерева.

2.2.49 Самое высокое напряжение системы (highest system voltage): Наибольшее (среднеквадратичное) значение напряжения, которое возникает в любое время и в любой точке воздушной ЛЭП при нормальных условиях эксплуатации и на которое должна быть рассчитана воздушная ЛЭП.

2.2.50 Горизонтальный заземляющий электрод (horizontal earth electrode): Электрод, который обычно закапывается на небольшую глубину и который, например, может состоять из полосы, круглого стержня или многожильного провода и может выполняться как радиальный, кольцевой или сетчатый заземляющий электрод или как их комбинация.

2.2.51 Сопротивление относительно земли системы заземления (impedance to earth of an earthing system**)**: Сопротивление между системой заземления и контрольной землей.

2.2.52 Внутренний зазор (internal clearance): Зазор между фазными проводами и заземленными частями, такими как стальные элементы конструкции и заземляющие проводники, а также между фазными проводами

Примечание − Также учитываются зазоры до других цепей на той же опоре.

2.2.53 Предельное состояние (структурное) (limit state (structural): Состояние, выше которого конструкция больше не удовлетворяет проектным требованиям к характеристикам.

2.2.54 Расположение нагрузки (load arrangement): Определение положения, величины и направления свободного действия.

2.2.55 Вариант нагрузки (load case): Совместимые схемы нагрузки, наборы деформаций и несовершенств, рассматриваемые одновременно с определенными переменными и постоянными воздействиями для конкретной проверки.

2.2.56 Магнитное поле (magnetic field): Составляющая электромагнитного поля, которая характеризуется напряженностью магнитного поля H вместе с плотностью магнитного потока B.

[ИСТОЧНИК: IEV 121-11-69]

2.2.57 Плотность магнитного потока (magnetic flux density): Плотность магнитного потока, также известная как магнитная индукция, представляет собой силу, действующую на заряд, движущийся в поле, и измеряется в тесла (Тл).

Примечание − Один тесла равен 1 Вс/м 2 , или 1 веберу на квадратный метр (Вб/м2).

2.2.58 Обслуживание (maintenance): совокупность мероприятий, выполняемых в течение расчетного срока службы системы для поддержания ее назначения.

2.2.59 Номинальное напряжение системы (nominal system voltage): Напряжение, которым обозначается воздушная ЛЭП и к которому относятся определенные эксплуатационные характеристики.

2.2.60 Оптический провод (optical conductor)OPCON: Провод, содержащий оптические телекоммуникационные волокна.

2.2.61 Оптический заземляющий провод (optical groundwire) OPGW: Оптический провод, используемый исключительно в качестве заземляющего проводника.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к записи: Компонент провода может быть скрученным или трубчатым, либо их сочетанием.

2.2.62 Частный коэффициент для воздействия (partial factor for an action): Коэффициент в зависимости от выбранного уровня надежности с учетом возможности неблагоприятных отклонений от характерного значения воздействий, неточности моделирования и неопределенностей в оценке последствий воздействий.

2.2.63 Частный коэффициент для свойства материала (partial factor for a material property): Коэффициент, покрывающий неблагоприятные отклонения от характерного значения свойств материала, неточности в применяемых коэффициентах пересчета и неопределенности в геометрических свойствах и модели сопротивления.

2.2.64 Постоянное воздействие (permanent action): Действие, которое, вероятно, будет иметь место в данной расчетной ситуации и для которого изменение величины во времени незначительно по сравнению со средним значением, или для которого изменение всегда имеет одно и то же направление (монотонное) до тех пор, пока воздействие не достигнет определенного предельного значения.

2.2.65 Выравнивание потенциала (potential grading):Воздействие на потенциал земли, особенно на потенциал поверхности земли, с помощью заземляющих электродов.

2.2.66 Заземляющий электрод с выравниванием потенциала (potential grading earth electrode):провод, который из-за формы и расположения, в основном, используется для выравнивания потенциала, а не для установления определенного сопротивления относительно земли.

2.2.67 Проектная спецификация (Project Specification): Документ, предоставляемый заказчиком подрядчику и содержащий адекватную информацию обо всех требованиях к материалам, проектированию, изготовлению и монтажу конкретной системы или компонента линии, который может дополнять требования стандарта, но не должен ослабить свои технологические требования, которые не должны отменять минимальные требования, указанные в настоящем стандарте, и которые должны быть сведены к минимуму для каждого проекта, т.е. к действительно уникальным или специфическим деталям.

2.2.68 Цель (purpose):Функция системы (воздушной ЛЭП), т. е. передача электроэнергии между двумя ее концами или частью системы.

2.2.69 Квазистатическое воздействие (quasi-static action): Динамическое воздействие, которое может быть описано статическими моделями, в которые включены динамические эффекты.

2.2.70 Радиопомехи (radio interference): Влияние на прием требуемого радиосигнала из-за нежелательных помех в радиочастотном спектре. Радиопомехи в первую очередь беспокоят системы с амплитудной модуляцией (АМ-радио и телевизионные видеосигналы), поскольку другие формы модуляции, такие как частотная модуляция (FM), используемая для УКВ-радиовещания и телевизионных аудиосигналов, как правило, гораздо меньше подвержены влиянию помех, которые исходят от воздушных ЛЭП.

2.2.71 Приведенный коэффициент трехфазной линии (reduction factor of a three phase line): Отношение r тока замыкания на землю (или обратного тока на землю) к сумме токов нулевой последовательности в фазных проводах главной цепи.

2.2.72 Контрольная земля (удаленная земля) (reference earth (remote earth): Части земли вне зоны влияния заземляющего электрода или системы заземления, где между любыми двумя точками не возникают ощутимые напряжения из-за тока на землю.

2.2.73 Контрольный период (reference period): Период, учитывающий расчетный срок службы системы или одного из ее элементов и/или характерное значение воздействия.

2.2.74 Надежность (электрическая) (reliability (electrical): Способность системы выполнять свою функцию снабжения при заданных условиях в течение заданного интервала времени.

2.2.75 Надежность (структурная) (reliability (structural): Вероятность того, что система выполняет заданную цель при определенных условиях в течение контрольного периода и, таким образом, является мерой успеха системы в достижении своей цели.

2.2.76 Сопротивление (структурное) (resistance (structural): Механическое свойство компонента, поперечного сечения или элемента конструкции, например сопротивление изгибу, сопротивление продольному изгибу. Сопротивление — это способность выдерживать обрушение или любую другую форму разрушения конструкции, которая может поставить под угрозу безопасность людей или оказать пагубное влияние на функционирование системы.

Примечание – Может потребоваться рассмотрение устойчивости к следующим воздействиям: - потеря равновесия конструкции или любой ее части, рассматриваемой как твердое тело, - разрушение вследствие чрезмерной деформации, разрыва или потери устойчивости конструкции или любой ее части, включая опоры и фундаменты.

2.2.77 Сопротивление относительно земли заземляющего электрода (resistance to earth of an earth electrode): Электрическое сопротивление земли между заземляющим электродом и контрольной землей, которое на практике представляет собой чистое сопротивление.

2.2.78 Период повторяемости (return period): Средний интервал между последовательными повторениями климатического воздействия, по крайней мере, определенной величины.

Примечание – Обратное значение периода повторяемости дает вероятность превышения воздействия в течение одного года.

2.2.79 Безопасность (safety):Способность системы не приводить к травмам или гибели людей при ее строительстве, эксплуатации и техническом обслуживании.

2.2.80 Защита (security): Способность системы, которая должна быть защищена от серьезного разрушения (каскадный эффект), если отказ происходит в данном компоненте и который может быть вызван электрическими или структурными факторами.

2.2.81 Предельное состояние эксплуатационной пригодности (serviceability limit state): Состояние, за пределами которого установленные критерии обслуживания конструкции или элемента конструкции больше не выполняются.

2.2.82 Удельное сопротивление грунта (soil resistivity): Удельное электрическое сопротивление земли.

2.2.83 Искровое перекрытие (sparkover): Пробивной разряд.

2.2.84 Статическое воздействие (static action): Действие, не вызывающее значительного ускорения конструкции или ее элементов.

2.2.85 Шаговое напряжение (step voltage): Часть подъема потенциала земли, которую может воспринять человек при ширине шага 1 м, т. е. ток, протекающий по телу человека с ноги на ногу.

2.2.86 Прочность (strength): Механическое свойство материала, обычно выражаемое в единицах напряжения.

2.2.87 Структура (structure): Организованная комбинация соединенных элементов, предназначенная для обеспечения определенной степени жесткости.

2.2.88 Опора (support): Общий термин для различных типов конструкций, поддерживающих провода воздушной ЛЭП.

2.2.89 Опора, угол (support, angle): Подвесная или натяжная опора, используемая в угловой точке линии.

2.2.90 Секционная опора (support, section): Натяжная опора с линейным уголком или без него, служащая дополнительно жесткой точкой в линии.

2.2.91 Подвесная опора (support, suspension): Опора с комплектами подвесных изоляторов.

2.2.92 Промежуточная опора (support, tangent): Подвесная или натяжная опора, используемая на прямой линии.

2.2.93 Натяжная опора (support, tension): Опора с комплектами натяжных изоляторов.

2.2.94 Оконечная (анкерная) опора (support, terminal (dead-end): Натяжная опора, способная выдерживать все растягивающие нагрузки провода в одном направлении.

2.2.95 Система (механическая) (system (mechanical): Набор компонентов, соединенных вместе, чтобы сформировать воздушную ЛЭП.

2.2.96 Система (электрическая) (system (electrical): Все элементы оборудования, которые используются в комбинации для производства, передачи и распределения электроэнергии.

2.2.97 Система с изолированной нейтралью (system with isolated neutral): Система (электрическая), в которой нейтрали трансформаторов, генераторов и заземляющих трансформаторов намеренно не соединены с землей, за исключением высокоимпедансных соединений для целей сигнализации, измерения или защиты.

2.2.98 Система с низкоимпедансным заземлением нейтрали (system with low-impedance neutral earthing): Система (электрическая), в которой по крайней мере одна нейтраль трансформатора, заземляющего трансформатора или генератора заземлена напрямую или через сопротивление, рассчитанное таким образом, чтобы из-за замыкания на землю в любом месте величина тока замыкания приводила к надежному автоматическому отключению.

2.2.99 Система с низкоимпедансным заземлением нейтрали или фазы (system with low-impedance neutral or phase earthing): Система (электрическая) с изолированным нейтральным или резонансным заземлением, в которой в случае несамоустраняющегося замыкания на землю, нейтральный или фазный провод главной цепи заземляется напрямую или через низкоимпедансное сопротивление через несколько секунд после возникновения замыкания на землю.

2.2.100 Система с резонансным заземлением (system with resonant earthing): Система (электрическая), в которой хотя бы одна нейтраль трансформатора или заземляющего трансформатора заземлена через дугогасительную катушку, а суммарная индуктивность всех дугогасящих катушек по существу настроена на емкость системы по отношению к земле для рабочей частоты.

2.2.101 Телевизионные помехи (television interference): Частный случай радиопомех, влияющих на диапазоны частот, используемые для телевизионного вещания.

2.2.102 Временная линия (temporary line): Линия, устанавливаемая на короткий срок, не более одного года.

Примечание – Временные линии могут иметь функцию систем аварийного восстановления.

2.2.103 Напряжение прикосновения (touch voltage): часть нарастания потенциала земли поперек тела человека от рук до ног (принимается на расстоянии 1 м по горизонтали от токопроводящей части установки).

2.2.104 Переданный потенциал (transferred potential)**:** повышение потенциала системы заземления, вызванное током на землю, передаваемым через подключенный провод (например, металлическую оболочку кабеля, трубопровод, рельс) в области с низким или отсутствующим повышением потенциала относительно контрольной земли.

2.2.105 Конечное предельное состояние (ultimate limit state): Состояние, связанное с обрушением или другими формами разрушения конструкции, которые могут угрожать безопасности людей.

Примечание – Обычно соответствует максимальному сопротивлению несущей способности конструкции или ее элемента.

2.2.106 Недоступность (unavailability): Неспособность системы выполнять свое назначение, а также неготовность воздушной ЛЭП в результате разрушения конструкции или недостаточной электрической надежности, а также в результате отказа вследствие других непредвиденных событий, таких как оползни, воздействие объектов, саботаж, дефекты материалов и т. д..

2.2.107 Ненадежность (структурная) (unreliability (structural): Дополнение к (структурной) надежности или вероятности (структурного) отказа.

2.2.108 Переменное воздействие (variable action): Воздействие, которое вряд ли будет действовать в данной расчетной ситуации или для которого изменение величины во времени не является ни незначительным по отношению к среднему значению, ни монотонным.

2.2.109 Разница напряжений (voltage difference): Напряжение, выступающее в качестве источника напряжения в цепи прикосновения с ограниченным значением, гарантирующим безопасность человека при использовании дополнительных известных сопротивлений (например, в обуви или стоянии на поверхности изолирующего материала).

2.3 Символы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Символ** | **Значение** | **Ссылка** |
| *A* | Случайное воздействие | 3.4.2 |
| *AK* | Характерное значение случайного воздействия | 3.5.1.4 |
| *AK* | Характерное остаточное натяжение провода | 4.8.4 |
| *Ains* | Расчетная площадь комплекта изоляторов | 4.4.2 |
| *Am* | Полезная площадь элемента опоры | 4.4.3.3 |
| *Apol* | Расчетная площадь столба | 4.4.4 |
| *At* | Полезная площадь элементов поверхности панели решетчатой опоры | 4.4.3.2 |
| *Atc* | Полезная площадь элементов поверхности решетчатой траверсы | 4.4.3.2 |
| *Atn* | Полезная площадь элементов поверхности панели решетчатой опоры, n | 4.4.3.2 |
| *Ax* | Площадь любого компонента линии, спроецированная на плоскость, перпендикулярную направлению ветра. | 4.3.5 |
| *a* | Расстояние между двумя опорами на половине высоты конструкции | 4.4.4 |
| *asom* | Минимальный разрядный зазор между токоведущими и заземленными частями | 5.5.3 |
| *B2* | Фоновый фактор | 4.4.1.2 |
| *Вl* | Приведенный коэффициент скорости ветра, связанный с обледенением | 4.6.6 |
| *b1, b2* | Ширина панели решетчатой опоры | 4.4.3.2 |
| *Clc* | Коэффициент сопротивления среды для обледенелых проводов | 4.6.2 |
| *CT* | Коэффициент пересчета скорости ветра или ледовой нагрузки | 3.2.2 |
| *Cc* | Коэффициент сопротивления среды для проводов | 4.4.1.1 |
| *Cins* | Коэффициент аэродинамического сопротивления комплектов изоляторов | 4.4.2 |
| *Cm* | Коэффициент аэродинамического сопротивления элементов опоры | 4.4.3.3 |
| *Cn* | Длина хорды пролета n секции линии | 4.12.1 |
| *Cpol* | Коэффициент аэродинамического сопротивления для столбов | 4.4.4 |
| *Ctc* | Коэффициент сопротивления среды для решетчатых траверс при ветре, перпендикулярном поверхности траверсы | 4.4.3.2 |
| *Ctn* | Коэффициент сопротивления среды поверхности панели решетчатой опоры, n | 4.4.3.2 |
| *Cx* | Коэффициент сопротивления среды (или коэффициент силы) для любого компонента линии | 4.3.5 |
| *cdir* | Коэффициент направления ветра | 4.3.2 |
| *c0* | Коэффициент орографии | 4.3.2 |
| *cseason* | Сезонный коэффициент | 3.2.2 |
| *D* | Эквивалентный диаметр обледенелого провода | 4.6.4 |
| *Del* | Минимальный воздушный зазор, необходимый для предотвращения пробоя, разряд между фазными проводами и объектами с потенциалом земли во время быстрого или медленного фронта перенапряжения | 5.5.1 |
| *Dpp* | Минимальный воздушный зазор, необходимый для предотвращения пробоя, разряд между фазными проводами при быстром фронте или медленном фронте перенапряжения | 5.5.1 |
| *D50Hz\_p\_e* | Минимальный воздушный зазор, необходимый для предотвращения пробоя, разряд при напряжении промышленной частоты между фазным проводником и объектами с потенциалом земли | 5.5.1 |
| *D50Hz\_p\_p* | Минимальный воздушный зазор, необходимый для предотвращения пробоя, разряд при напряжении промышленной частоты между фазными проводниками | 5.5.1 |
| *d* | Диаметр провода | 4.4.1.1 |
| *d* | Расстояние воздушного зазора, необходимое для получения требуемого выдерживаемого напряжения | 5.3 |
| *d* | Расстояние от вершины столба | 7.6.2.2 |
| *dm* | Среднее значение средних диаметров двух отдельных столбов | 4.4.4 |
| *E* | Напряженность электрического поля | 2.2.38 |
| *Ed* | Суммарное расчетное значение эффекта воздействий | 3.7.2 |
| *F* | Воздействие (сила или вынужденная деформация) | 3.4.1 |
| *FK* | Характерное значение воздействия | 3.5.1.1 |
| *FR,d* | Расчетная нагрузка для предельного состояния по несущей способности | 7.3.8 |
| *Fd* | Расчетное значение воздействия | 3.6.2 |
| *Ftest,R* | Минимальная испытательная нагрузка | 7.3.8 |
| *G* | Постоянное воздействие | 3.4.2 |
| *GK* | Характерное значение постоянного воздействия | 3.5.1.2 |
| *Gc* | Структурный коэффициент для проводов или коэффициент пролета | 4.4.1.1 |
| *Gins* | Структурный коэффициент для комплектов изоляторов | 4.4.2 |
| *Gm* | Коэффициент прочности элементов опоры | 4.4.3.3 |
| *Gpol* | Структурный коэффициент для столбов | 4.4.4 |
| *Gt* | Структурный коэффициент для решетчатых опор | 4.4.3.2 |
| *Gtc* | Структурный коэффициент для решетчатых траверс | 4.4.3.2 |
| *Gx* | Структурный коэффициент для любого компонента линии | 4.3.5 |
| *H* | Расчетная высота для определения плотности воздуха | 4.3.3 |
| *H* | Напряженность магнитного поля | 2.2.56 |
| *H* | Общая длина бетонного столба | 7.6.5 |
| *H*t | Общая высота решетчатой опоры | 4.4. 3.2 |
| *h* | Базовая высота над землей | 4.3.2 |
| *I* | Ледовая нагрузка на длину провода | 4.5.2 |
| It | Ледовая нагрузка на длину провода с периодом повторяемости, Тл | 3.2.2 |
| *I*v | Интенсивность турбулентности | 4.3.4 |
| *I3* | Номинальная (или вероятная) ледовая нагрузка на длину провода с периодом повторяемости 3 года | 4.6.1 |
| *I*50 | Экстремальная (или маловероятная) ледовая нагрузка на длину провода с эталонным периодом повторяемости 50 лет | 3.2.2 |
| *K*g | Коэффициент зазора | 5.5.2 |
| *k*a | Атмосферный фактор | 5.4.3 |
| *k*p | Коэффициент амплитуды | 4.4. 1.2 |
| *kr* | Фактор рельефа местности | 4.3.2 |
| *L* | Масштаб турбулентности | 4.4.1.2 |
| *L* | Длина полок опоры | 7.7.4.3 |
| Lr | Расчетный пролет | 4.12.1 |
| *L*m | Среднее значение длины двух смежных пролетов | 4.4.1.2 |
| *L*n | Длина пролета, n | 4.4.1.1 |
| Lwn | Длина веса пролета, n | 4.5.2 |
| *n* | Количество переменных | 3.7.3.1 |
| *Q* | Переменное воздействие | 3.4.2 |
| Qi | Вертикальная ледовая нагрузка на опору от каждого расщепленного провода | 4.5.2 |
| Qk | Характерное значение переменного воздействия | 3.5.1.3 |
| Qp | Строительная и эксплуатационная нагрузка | 4.9.1 |
| *QWIc* | Сила ветра на обледенелом проводе | 4.6.5 |
| *QWK* | Характерное значение воздействия ветра | 4.6.1 |
| *Qwt* | Сила ветра с периодом повторяемости T и средней скоростью ветра за 10 минут для определения минимальных воздушных зазоров | 4.3.5 |
| *QWc* | Сила ветра на проводе | 4.4.1.1 |
| *QWins* | Сила ветра на комплексе изоляторов | 4.4.2 |
| *QWm* | Сила ветра на элементе опоры | 4.4.3.3 |
| *QWpol* | Сила ветра на столбе | 4.4.4 |
| *QWt* | Сила ветра на панели решетчатой опоры | 4.4.3.2 |
| *QWtc* | Сила ветра на решетчатой траверсе | 4.4.3.2 |
| *Qwx* | Сила ветра на любом компоненте линии | 4.3.5 |
| *QW3* | Номинальная ветровая нагрузка при средней скорости ветра за 10 минут для определения минимальных воздушных зазоров с периодом повторяемости 3 года | 4.3.5 |
| *QW50* | Экстремальная ветровая нагрузка со средней скоростью ветра за 10 минут для определения минимальных воздушных зазоров с эталонным периодом повторяемости 50 лет. | 4.3.5 |
| *Qn* | Переменное воздействие, n | 3.7.3.1 |
| *QnK* | Характерное значение переменного воздействия, n | 3.7.3.2 |
| *Q1* | Доминирующее переменное воздействие | 3.7.3.1 |
| q*ih* | Среднее давление ветра, связанное с обледенением на базовой высоте, h над землей | 4.6.3 |
| q*ip* | Пиковое давление ветра при обледенении на базовой высоте, h над землей | 4.6.3 |
| q*h* | Среднее давление ветра на базовой высоте, h над землей | 4.3.3 |
| q*p* | Пиковое давление ветра на базовой высоте, h над землей | 4.3.4 |
| R*a* | Дополнительное электрическое сопротивление | 6.4.2 |
| Rb | Скорость обратного перекрытия | 5.4.5 |
| R*d* | Структурное расчетное сопротивление | 3.7.2 |
| R*sf* | Скорость перекрытия при сбое экранирования | 5.4.5 |
| R2 | Резонансный коэффициент отклика | 4.4.1.2 |
| Re | Число Рейнольдса | 4.4.1.3 |
| r | Приведенный коэффициент трехфазной линии | 2.2.72 |
| Т | Период повторяемости климатического воздействия | 3.2.2 |
| T*n* | Период повторяемости переменного воздействия, n | 3.7.3.1 |
| T*o* | Начальное горизонтальное натяжение в проводе | 4.8.4 |
| T*i* | Период повторяемости для доминирующего переменного воздействия | 3.7.3.1 |
| Т’ | Абсолютная температура на расчетной высоте, H | 4.3.3 |
| t*F* | Длительность тока повреждения  Разность напряжений, выступающая в качестве источника напряжения в цепи | 6.4.2 |
| *UD* | прикосновения с ограниченным значением, гарантирующим безопасность человека при использовании дополнительных известных сопротивлений (например, в обуви или стоянии на поверхности изолирующего материала) | 6.4.2 |
| *Ue* | Повышение потенциала земли | 6.4.3 |
| *Ut* | Напряжение прикосновения | 6.4.3 |
| *Utp* | Допустимое напряжение прикосновения, т.е. напряжение вдоль тела человека | 6.4.3 |
| Ucw | Координация выдерживаемого напряжения | 5.3 |
| Um | Самое высокое напряжение для оборудования | 5.4.2 |
| Un | Номинальное напряжение системы | 5.3 |
| Urp | Репрезентативное перенапряжение | 5.3 |
| Urw | Требуемое выдерживаемое напряжение | 5.3 |
| U**s** | Максимальное напряжение системы | 5.4.2 |
| *VIH* | Высокая вероятность скорости ветра, связанная с обледенением | 4.6.1 |
| VIL | Низкая вероятность скорости ветра, связанная с обледенением | 4.6.1 |
| *V*ih | Средняя скорость ветра, связанная с обледенением на базовой высоте, h над землей | 4.6.3 |
| Vt | Скорость ветра с периодом повторяемости, Т | 3.2.2 |
| *V*b,o | Базовая скорость ветра | 4.3.1 |
| *V*h | Средняя скорость ветра на базовой высоте, h над землей | 4.3.2 |
| *V*3 | Номинальная скорость ветра с периодом повторяемости 3 года | 4.3.5 |
| *V*50 | Экстремальная скорость ветра с эталонным периодом повторяемости 50 лет | 3.2.2 |
| Xk | Характерное значение свойства материала | 3.6.3 |
| *X*d | Расчетное значение свойства материала | 3.6.3 |
| *X*nK | Характерное значение свойства материала, n | 3.7.4 |
| *X*nd | Расчетное значение свойства материала, n | 3.7.4 |
| *z*o | Коэффициент шероховатости | 4.3.2 |
| *α* | Приведенный коэффициент для ледовых нагрузок | 4.12.2 |
| *β* | Приведенный коэффициент для натяжения провода | 4.8.4 |
| *γ* | Частный коэффициент | 4.13 |
| *γ*А | Частный коэффициент для случайного воздействия | 3.6.2 |
| *γ*F | Частный коэффициент для воздействия | 3.6.2 |
| *γG* | Частный коэффициент для постоянного воздействия | 3.6.2 |
| *γ*I | Частный коэффициент воздействия льда | 4.6. 6.1 |
| *γM* | Частный коэффициент для свойства материала | 3.6.3 |
| *γ*P | Частный коэффициент для строительных и эксплуатационных нагрузок | 4.13 |
| *γ*Pt | Частный коэффициент воздействия на силу предварительного напряжения | 7.6.5 |
| *γQ* | Частный коэффициент для переменного воздействия | 3.6.2 |
| *γ*Q1 | Частный коэффициент для доминирующего переменного воздействия | 3.7.3.2 |
| *γ*W | Частный коэффициент для воздействия ветра | 4.6.6.2 |
| *θ* | Угол изменения направления линии | 4.4.1.1 |
| *v* | Кинематическая вязкость воздуха | 4.4.1.3 |
| *ρ* | Плотность воздуха | 4.3.3 |
| *ρE* | Удельное сопротивление грунта вблизи поверхности | 6.4.2 |
| *ρi* | Плотность льда | 4.6.2 |
| *ρ’* | Плотность воздуха, соответствующая абсолютной температуре T и расчетной высоте H | 4.3.3 |
| *Φ* | Угол между направлением ветра и продольной осью траверсы | 4.4.1.1 |
| Φm | Угол между направлением ветра и плоскостью нормальной оси элемента m | 4.4.3.3 |
| χ | Коэффициент сплошности панели опоры | 4.4.3.2 |
| ψ | Коэффициент сочетания для воздействия | 4.13 |
| ψi | Коэффициент сочетания для воздействия льда | 4.6. 6.2 |
| ψQ | Коэффициент сочетания для переменного воздействия | 3.6.4 |
| ψQn | Коэффициент сочетания для переменного воздействия, n | 3.7.3.2 |
| ψW | Коэффициент сочетания для воздействия ветра | 4.6.6.1 |

3 Основы проектирования

3.1 Введение

Этот раздел стандарта обеспечивает основу и общие принципы структурного, геотехнического и механического проектирования воздушных ЛЭП.

Раздел следует читать вместе с Еврокодами 1, 2, 3, 5, 7 и 8. Положения настоящего стандарта заменяют собой соответствующие положения указанных Еврокодов.

Общие принципы проектирования конструкций основаны на концепции предельного состояния, используемой в сочетании с методом частных коэффициентов.

В подразделе 3.2 дается обзор общих требований к воздушным ЛЭП, включая основные требования, касающиеся надежности, защиты и безопасности. Уровни надежности по воздействиям ветра и льда соответствуют заданному теоретическому периоду повторяемости климатических воздействий.

В подразделе 3.3 говорится о различии между аварийным предельным состоянием и предельным состоянием эксплуатационной пригодности.

Подраздел 3.4 различает воздействия в зависимости от того, являются ли они постоянными, переменными или случайными. Воздействие определяется либо как нагрузка, либо как деформация.

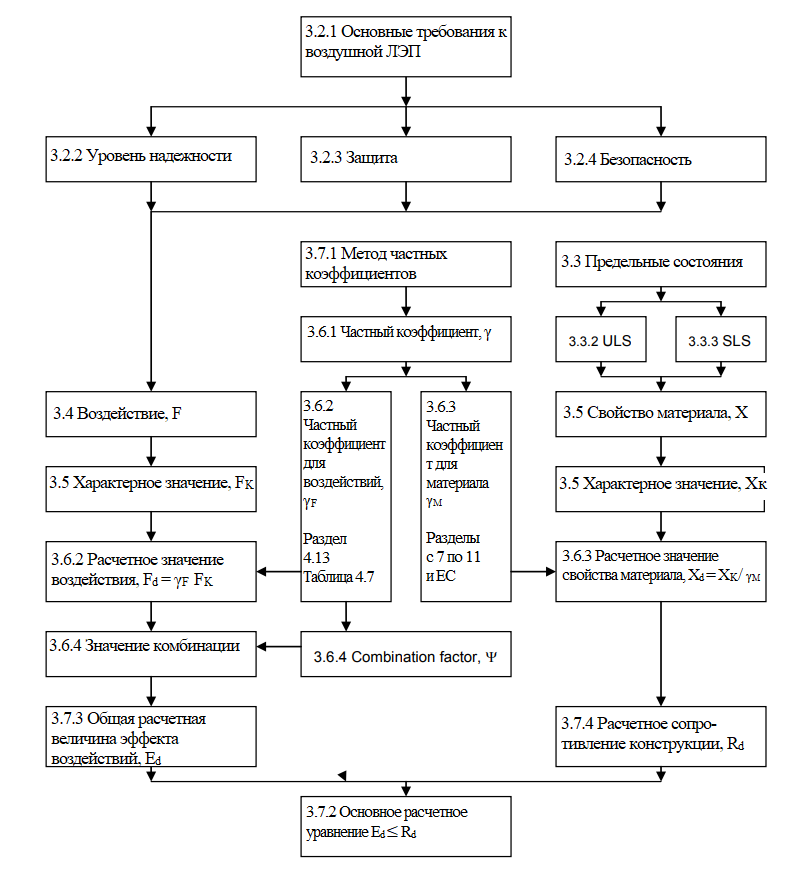
Подраздел 3.5 вводит понятие характерного значения для воздействия и для свойства материала.

В подразделе 3.6 показано, как расчетное значение воздействия и свойства материала может быть получено путем использования характерного значения в сочетании с частным коэффициентом.

Наконец, в подразделе 3.7 приводится базовая расчетная формула, соответствующая методу частных коэффициентов. Приведены общее расчетное значение эффекта воздействий, происходящих одновременно, а также соответствующее расчетное сопротивление конструкции.

Эти подразделы действительны для неизолированных воздушных ЛЭП напряжением свыше 1 кВ переменного тока. Они также распространяются на:

* изолированные провода воздушных ЛЭП;
* воздушные изолированные кабельные системы напряжением свыше 1 кВ переменного тока до 45 кВ переменного тока включительно. Блок-схема 3.1 обобщает структуру этого раздела 3.



Блок-схема 3.1 — Структура раздела 3 на Основах проектирования

3.2 Требования к воздушной ЛЭП

3.2.1 Основные требования

Воздушная ЛЭП должна быть спроектирована и построена таким образом, чтобы в течение ее предполагаемого срока службы:

* она должна выполнять свою задачу при определенном наборе условий, с приемлемым уровнем надежности и экономичным способом. Это относится к аспектам требований к надежности;
* она должна быть спроектирована таким образом, чтобы избежать прогрессирующего разрушения (каскадного эффекта) в случае отказа определенного компонента. Это относится к аспектам защитных требований;
* она должна быть спроектирована таким образом, чтобы избежать травм или гибели людей во время ее строительства и технического обслуживания. Это относится к аспектам требований безопасности.

Воздушная ЛЭП также должна быть спроектирована, построена и обслуживаться таким образом, чтобы должным образом учитывались безопасность населения, долговечность, надежность, ремонтопригодность, экологические соображения и внешний вид.

Вышеуказанные требования должны быть выполнены за счет надлежащего проектирования и детализации, выбора подходящих материалов и определения процедур контроля проектирования, изготовления и строительства, относящихся к конкретному проекту.

Выбранные проектные сценарии, представленные различными вариантами нагрузки, должны быть достаточно жесткими и разнообразными, чтобы охватить все условия, которые можно обоснованно предвидеть во время строительства и расчетного срока службы воздушной ЛЭП.

3.2.2 Требования надежности

Уровень надежности, необходимый для воздушных ЛЭП, включая все ее компоненты и элементы, достигается путем проектирования в соответствии с настоящим стандартом и Еврокодами 1, 2, 3, 5, 7 и 8, а также соответствующими мерами обеспечения качества.

Как правило, можно рассматривать три различных уровня надежности для воздушных ЛЭП, как указано в таблице 3.1, каждый из которых соответствует заданному теоретическому периоду повторяемости T климатических воздействий.

Таблица 3.1 — Уровни надежности

|  |  |
| --- | --- |
| Уровень надежности | Теоретический период повторяемости *T* климатических воздействий [год] |
| 1 (ссылка) | 50 |
| 2 | 150 |
| 3 | 500 |

Опоры воздушных ЛЭП должны быть классифицированы как конструкции класса 1 в соответствии с EN 1990 по вопросам безопасности. Эти три уровня надежности, используемые для вопросов непрерывности обслуживания, должны рассматриваться как три подкласса класса 1 в соответствии с EN 1990.

Отклонения от этих уровней могут быть сделаны в соответствии со специфическими требованиями для рассматриваемого проекта. Однако выбранный уровень должен как минимум соответствовать уровню надежности 1, за исключением временных конструкций и временно устанавливаемых элементов линии.

Абсолютную надежность воздушной ЛЭП обычно трудно определить. Таким образом, уровень надежности 1 можно рассматривать как эталонный уровень надежности, тогда как более высокие уровни надежности следует понимать как относительные к эталонному уровню.

Из-за меньшей высоты воздушных ЛЭП более низкого напряжения, прилагаемые нагрузки на эти сооружения будут различаться из-за неровностей грунта, высоты линии и факторов аварийного воздействия (падающих деревьев). Эти коэффициенты следует варьировать в зависимости от топографии, однако минимальный уровень надежности линий должен быть не менее 1.

Примечание 1 − Связь между уровнями надежности, приведенными в таблице 3.1, и частными коэффициентами для воздействий, приведенными в 4.13, таблице 4.7, также поясненными в В.2 для скоростей ветра и в В.3 - для ледовых нагрузок.

Примечание 2 − Для временных трубопроводов, период повторяемости климатических воздействий может быть уменьшен из-за воздействия уменьшенного расчетного срока службы, как указано в следующей таблице, которая является выдержкой из EN 1991-1-6:

Таблица 3.2 — Период повторяемости для временных линий

|  |  |
| --- | --- |
| Продолжительность | Периоды повторяемости (лет) |
| ≤ 3 дней | 2 |
| ≤ 3 месяцев (но > 3 дней) | 5 |
| ≤ 1 года (но > 3 месяцев) | 10 |

Для линий, установленных менее чем на 3 месяца, также можно учитывать сезонные или текущие климатические условия: предположения о нагрузке, основанные на статистических метеорологических данных, могут быть определены в NNA. Например:

- сезонный коэффициент *cseason*, как определено в Национальном приложении EN 1991-1-4, может использоваться для снижения ветровой нагрузки;

- для сезонов, когда не происходит обледенения, ледовую нагрузку можно не учитывать. Этот период года должен быть определен в NNA, если это применимо.

Если известна экстремальная скорость ветра для эталонного 50-летнего периода повторяемости, *V50*, экстремальная скорость ветра для теоретического периода повторяемости *T* лет, *VT*, может быть определена с использованием коэффициента пересчета *CT*, разработанного в Приложении B.2 и Таблице В.1. Для меньших периодов повторяемости, используется термин номинальная скорость ветра.

Аналогичным образом, если известна экстремальная ледовая нагрузка на длину проводника за эталонный 50-летний период повторяемости, *I50*, то экстремальная ледовая нагрузка на длину проводника за теоретический период повторяемости *T* лет, *IT*, может быть определена с использованием коэффициента пересчета *CT*, как указано в Приложении B.3 и Таблице B.2. Для меньших периодов повторяемости, используется термин номинальная ледовая нагрузка.

Уровни надежности для воздействий ветра и льда приведены в NNA.

Важно отметить, что повышение уровня надежности не является единственным способом повышения бесперебойности работы воздушной ЛЭП. Эталонный уровень надежности обычно рассматривается как обеспечивающий приемлемый уровень надежности в отношении непрерывности обслуживания и безопасности, но на самом деле проектировщик должен также учитывать следующие два аспекта:

Безопасность населения: эталонный период повторяемости в 50 лет дает высокий уровень надежности. Вероятность отказа приемлема с точки зрения общественной безопасности, поскольку совокупная вероятность причинения вреда здоровью человека очень мала. Кроме того, поскольку компоненты разрабатываются как полные системы, а не по отдельности, и поскольку они обычно разрабатываются до того, как будут известны конкретные параметры реальной линии (например, длина пролета), коэффициент использования оказывает положительное влияние на реальную надежность линии.

Непрерывность обслуживания: можно повысить надежность за счет увеличения периода повторяемости, но это не единственное решение. Также возможно увеличить срок службы за счет резервирования, строительства других воздушных ЛЭП или увеличения количества линий, исходящих от подстанций, тем самым улучшая конструкцию за счет координации прочности, ограничения повреждений, установки противо-каскадных опор и составления плана аварийного восстановления для очень быстрого устранения повреждений.

Общие затраты определяются не только вероятностью отказа, но в основном возможными последствиями отказа, включая неконтролируемое распространение отказа, которое может выходить далеко за пределы первоначального отказа. Такие последствия могут быть значительно уменьшены за счет следующих экономически эффективных мер, таких как: координация прочности, проектирование опор для сопротивления скручивающим и продольным защитным нагрузкам, устройства контроля нагрузки, методы борьбы с обледенением, противо-каскадные опоры и строительство других воздушных ЛЭП и т.д. (т.е. про-активные решения); а также аварийно-восстановительные сооружения, обучение линейных мастеров и т. д. (т.е. реактивные решения).

3.2.3 Защитные требования

Защитные требования соответствуют специальным нагрузкам и/или мерам, направленным на предотвращение неконтролируемых прогрессирующих (или каскадных) отказов.

Если линия выходит из строя из-за дефектов материала, непредвиденных событий (например, столкновения с объектом, оползня и т. д.) или необычного климатического воздействия, важно, чтобы неисправность локализовалась внутри или очень близко к тому участку линии, где происходят перегрузки, превышающие уровень прочности компонентов линии.

Для предотвращения каскадных отказов, некоторые моделируемые воздействия и условия нагрузки подробно описаны в п. 4.8.

Более высокий уровень защиты может быть оправдан для некоторых воздушных ЛЭП либо из-за их важности в сети, либо из-за того, что они подвергаются сильным климатическим нагрузкам. В таких случаях, могут применяться дополнительные меры для повышения защиты в зависимости от опыта и типа проектируемой линии. Вставка секционных опор через определенные интервалы может применяться для ограничения прогрессирующего обрушения.

3.2.4 Требования безопасности

Требования безопасности предназначены для обеспечения того, чтобы строительные и ремонтные работы не представляли опасности для людей. Требования безопасности в этом стандарте состоят из специальных нагрузок, как определено в 4.9, для которых должны быть рассчитаны компоненты линии (в основном опоры).

3.2.5 Координация прочности

Рассмотрение воздушной ЛЭП в качестве системы, требует согласования прочности ее отдельных компонентов. В этом стандарте специфические требования к координации прочности указаны в NNA.

ПРИМЕЧАНИЕ: Координация прочности на практике обычно достигается путем сопоставления частных коэффициентов и/или случаев нагружения.

Приложение А содержит подробную информацию о концепции координации прочности на основе IEC 60826.

3.2.6 Дополнительные соображения

При рассмотрении воздушной ЛЭП как элемента окружающей среды, необходимо учитывать экологическую и правовую ситуацию, существующую в конкретном регионе или стране.

Безопасность людей и защита дикой природы и домашнего скота (например, птиц, крупного рогатого скота и т.д.) должны быть должным образом приняты во внимание. Конкретные требования могут быть указаны в NNA.

3.2.7 Расчетный срок службы

Расчетный срок службы – это предполагаемый срок эксплуатации воздушной ЛЭП по назначению с проведением планового технического обслуживания, но без необходимости капитального ремонта.

Расчетный срок службы воздушных ЛЭП обычно принимается равным 50 годам, если иное не установлено Проектной спецификацией.

ПРИМЕЧАНИЕ: Период эксплуатации обычно находится в диапазоне от 30 до 80 лет.

3.2.8 Долговечность

Долговечность опоры или ее части должна быть такой, чтобы она оставалась пригодной для использования в течение расчетного срока службы, при условии, что она обслуживается в соответствии с условиями окружающей среды, в которой она находится.

Окружающие, атмосферные и климатические условия должны быть оценены на этапе проектирования, чтобы оценить их значимость по отношению к долговечности и обеспечения возможности принятия соответствующих мер для защиты материалов.

3.2.9 Обеспечение качества

Для обеспечения воздушной линии, соответствующей требованиям и допущениям, сделанным при проектировании, должны быть приняты соответствующие меры обеспечения качества во время проектирования и строительства.

ПРИМЕЧАНИЕ: Обеспечение качества описано в EN ISO 9001.

3.3 Предельные состояния

3.3.1 Общие положения

Предельные состояния — это состояния, за пределами которых воздушная ЛЭП больше не удовлетворяет проектным требованиям.

Как правило, проводится различие между аварийным предельным состоянием и предельным состоянием эксплуатационной пригодности.

3.3.2 Аварийные предельные состояния

Аварийные предельные состояния связаны с обрушением или другими подобными формами разрушения конструкции из-за чрезмерной деформации, потери устойчивости, опрокидывания, разрыва, коробления и т. д.

Состояние серьезного повреждения до обрушения конструкции можно для простоты трактовать так же, как и предельное состояние.

Аварийные предельные состояния относятся к выбранным условиям нагрузки, определяемым требованиями надежности, защиты и безопасности, которые могут повлиять на сопротивление компонентов воздушных ЛЭП, таких как опоры, фундаменты, провода, гирлянды изоляторов и оборудование.

3.3.3 Предельные состояния эксплуатационной пригодности

Предельные состояния эксплуатационной пригодности соответствуют определенным условиям, за пределами которых указанные требования к обслуживанию воздушной ЛЭП больше не выполняются.

Предельные состояния эксплуатационной пригодности, которые могут потребовать рассмотрения, включают:

* недопустимая частота и продолжительность электрических перекрытий, возникающих либо на опоре, либо из-за близости проводов в середине пролета;
* чрезмерные деформации и смещения опор, которые могут повлиять на внешний вид или эффективность использования опор или привести к нарушению пределов электрически безопасного зазора;
* уровни вибрации, которые могут привести к повреждению проводов, опор или оборудования или ограничить их функциональную эффективность;
* повреждение отделки поверхности или растрескивание поверхности бетона, которые могут неблагоприятно повлиять на долговечность или функционирование опор, проводов, изоляторов и линейной арматуры.

Для рекомендаций по предельным состояниям эксплуатационной пригодности и критериям эффективности следует ссылаться на NNA и Проектную спецификацию.

3.4 Воздействия

3.4.1 Основные классификации

Воздействие, *F*, это:

* прямое воздействие, т.е. сила или нагрузка, приложенная к элементам воздушной ЛЭП, таким как опоры, фундаменты, провода, гирлянды изоляторов и оборудование;
* косвенное воздействие, т.е. вынужденная или ограниченная деформация, вызванная, например, изменениями температуры, колебаниями грунтовых вод или неравномерной осадкой, если применимо.

Воздействия классифицируются:

* по их изменению во времени (см. 3.4.2);
* по своей природе и/или реакции конструкции (см. 3.4.3).

3.4.2 Классификация воздействий по их изменению во времени

1) постоянное воздействие, (*G*), т.е. собственный вес опор, включая фундаменты, арматуру и стационарное оборудование.

Собственный вес проводов и влияние применимого натяжения провода при стандартной температуре, см. раздел 4, а также неравномерная осадка опор считаются постоянными воздействиями.

2) переменные воздействия, (*Q*), т.е. ветровые нагрузки, ледовые нагрузки или другие приложенные нагрузки.

Ветровые и ледовые нагрузки, а также применимые температуры являются климатическими условиями, которые можно оценить:

- применяя концепцию надежности;

- или на детерминированной основе.

Эффекты натяжения проводов из-за ветровых и ледовых нагрузок и отклонений температуры от стандартной температуры являются переменными воздействиями.

На вертикальную реакцию от собственного веса проводов на опоре (иными словами, на весовой пролет) влияют отклонения от исходного состояния натяжения провода из-за "ползучести" провода и колебаний температуры. Как уже упоминалось, это отклонение от исходного состояния является переменным воздействием. Там, где это критично для конструкции, и особенно при отсутствии других климатических условий, следует учитывать частный коэффициент массы провода (или весовой пролет) из-за неопределенности такого изменения (будь то неблагоприятное или благоприятное).

Прикладываемые нагрузки, возникающие при натяжении проводов, лазании по конструкциям и т.д., оцениваются на детерминированной основе и относятся к безопасности строительного персонала.

3) случайные воздействия (*А*), т. е. нагрузки, вызванные разрушением защитной оболочки, сход лавин и т. д., которые относятся к защите всей линии.

3.4.3 Классификация воздействий по их характеру и/или реакции конструкции

1) статические воздействия, не вызывающие значительного ускорения компонентов или элементов;

2) динамические воздействия, вызывающие значительное ускорение компонентов или элементов.

Обычно достаточно учитывать эквивалентный статический эффект квазистатических воздействий, таких как ветровые нагрузки, при расчете опор воздушных ЛЭП (включая фундаменты). Особое внимание следует уделить необычайно высоким и/или тонким опорам.

3.5 Характерные значения

3.5.1 Характерное значение воздействия

3.5.1.1 Воздействие (F)

Для воздействия *F*, характерное значение *FK* является основным репрезентативным значением F, используемым для проверок предельного состояния.

3.5.1.2 Постоянное воздействие (*G*)

Характерное значение постоянного воздействия *G* при проектировании воздушных ЛЭП обычно можно определить как одно значение *GK*, так как изменчивость *G* очень мала.

3.5.1.3 Переменное воздействие (*Q*)

Для переменного воздействия *Q*, характерное значение *QK* соответствует следующему:

* либо верхнее значение с предполагаемой вероятностью того, что оно не будет превышено (например, ветровые и ледовые нагрузки), либо в случае, например, температуры, нижнее значение с предполагаемой вероятностью того, что оно не будет превышено, в течение контрольного периода в один год.. В этом стандарте предполагается значение вероятности 0,02 в год (т. е. период повторяемости 50 лет);
* или номинальное значение, используемое для детерминированных воздействий.

3.5.1.4 Случайное воздействие (*А*)

Для случайного воздействия *А*, репрезентативным значением обычно является характерное значение *АК*, соответствующее заданному значению.

3.5.2 Нормативное значение свойства материала

Свойство материала *χ* представлено характерным значением *χK*, которое соответствует тому значению свойства материала, которое с заданной вероятностью не будет достигнуто в гипотетической неограниченной серии испытаний. Как правило, для конкретного свойства материала оно соответствует определенному пределу исключения предполагаемого статистического распределения этого свойства материала, используемого в системе.

Значение свойства материала обычно определяется стандартными испытаниями, проводимыми в определенных условиях. Коэффициент пересчета должен применяться там, где необходимо преобразовать результаты испытаний в значения, которые можно считать отражающими поведение материала в воздушной ЛЭП.

В некоторых случаях в качестве характерного значения используется номинальное значение.

3.6 Расчетные значения

3.6.1 Общие положения

Расчетные значения обычно получают путем использования характерных значений в сочетании с частными коэффициентами *Y*, как определено в настоящем стандарте и Еврокодах 2, 3, 5, 7 и 8.

В некоторых случаях может оказаться уместным прямое определение расчетных значений. Эти значения следует выбирать с осторожностью, и они должны соответствовать, по крайней мере, тому же уровню надежности для различных предельных состояний, который подразумевается в частных коэффициентах в настоящем стандарте.

3.6.2 Расчетное значение воздействия

Расчетное значение воздействия, *Fd*, выражается в общих чертах как

Частный коэффициент воздействия γF зависит от выбранного уровня надежности и учитывает возможность неблагоприятных отклонений воздействий, неточности моделирования нагрузки и неопределенностей в оценке последствий воздействий.

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Расчетные значения различных воздействий G, Q и A, классифицированных в 3.4.2, рассчитываются как *γg Gk , γQ QK и γa Ak*соответственно.

ПРИМЕЧАНИЕ 2: Частные коэффициенты для воздействий обычно основаны на теоретических соображениях, опыте и калибровке путем ретроспективных расчетов существующих конструкций. Национальные значения, установленные Национальными комитетами по мере необходимости, появляются в NNA или Проектной спецификации.

Выбор уровня надежности приводит к выбору рекомендуемых значений частного коэффициента, приведенных в 4.13, таблица 4.7. Эти частные коэффициенты должны применяться к нагрузкам, определенным в разделе 4, от климатических воздействий на основе эталонного 50-летнего периода повторяемости.

При расчете влияния воздействия на натяжение проводов, частные коэффициенты применяются к характерным значениям воздействия, т. е. непосредственно к воздействию ветра и/или льда, действующему на провод. Вычисленное значение натяжения провода является тогда окончательным расчетным значением.

Однако для детерминированных расчетов, включающих условия защитной и безопасной нагрузки, частный коэффициент может, тем не менее, применяться к влиянию характерных значений воздействий, т. е. к натяжению провода, как конкретно указано в разделе 4, касающемся воздействий.

3.6.3 Расчетное значение свойства материала

Расчетное значение свойства материала, *Xd*, обычно определяется как

Частный коэффициент для свойства материала, *γM*, охватывает неблагоприятные отклонения от характерного значения свойства материала, *XK*, неточности в применяемых коэффициентах пересчета и неопределенности в геометрических свойствах и модели сопротивления. В настоящем стандарте указаны частные коэффициенты для компонентов линии. Частные коэффициенты, указанные в Еврокодах 2, 3, 5, 7 и 8, обычно применяются, если они специально не изменены в настоящем стандарте или не определены иным образом в NNA или Проектной спецификации.

Частные коэффициенты для свойства материала также могут зависеть от согласования прочности, предусмотренной для линии.

3.6.4 Значение комбинации переменного воздействия

Значения комбинации ψ связаны с использованием комбинаций воздействий, чтобы учесть пониженную вероятность одновременного возникновения наиболее неблагоприятных значений нескольких независимых воздействий.

Значение комбинации переменного воздействия, *Q*:

* обычно представляется как произведение коэффициента сочетания и характерного значения *ψQ QK*;
* или непосредственно воздействием с сокращенным периодом повторяемости, *Q(T)*;
* или может быть прямо указано в разделе 4.

Значение комбинации (*ψQ QK*) считается расчетным значением. Когда возникновение воздействий коррелирует друг с другом, это отражается в коэффициенте сочетания. Рекомендуемые значения коэффициента сочетания приведены в 4.13, табл. 4.7.

Примечание – В настоящем стандарте коэффициент сочетания для переменного воздействия, *\*F Q*, в основном выводится на основе сокращенного периода повторяемости и, следовательно, включает частный коэффициент, используемый в формате Еврокода, а также любые другие приведенные коэффициенты.

3.7 Метод частного коэффициента и расчетная формула

3.7.1 Метод частных коэффициентов

Расчеты должны выполняться с использованием соответствующих расчетных моделей, включающих соответствующие переменные. Модели должны подходить для прогнозирования поведения конструкции и рассматриваемых предельных состояний.

Расчетные модели обычно должны быть основаны на общепринятой инженерной теории и практике, проверенной экспериментально, если это необходимо.

В методе частного коэффициента должно быть проверено, что во всех соответствующих расчетных ситуациях предельные состояния не достигаются, когда в расчетных моделях используются расчетные значения воздействий, свойства материала и геометрические данные. В частности, должно быть проверено, что:

* последствия расчетных воздействий не превышают расчетного сопротивления воздушной ЛЭП по предельному состоянию;
* результаты расчетных воздействий соответствуют требованиям к характеристикам воздушной ЛЭП по предельному состоянию эксплуатационной пригодности.

Можно использовать упрощенные проверки, основанные на концепции предельного состояния, при рассмотрении только предельных состояний и комбинаций нагрузок, которые, как известно из опыта, влияют на конструкцию.

3.7.2 Основная расчетная формула

При рассмотрении предельного состояния разрушения или чрезмерной деформации компонента, элемента или соединения необходимо убедиться, что

*Ed ≤ Rd*

где *Ed* — суммарное расчетное значение влияния воздействий, таких как внутренняя сила или момент, или репрезентативный вектор нескольких внутренних сил или моментов, см. 3.7.3;

*Rd* — соответствующее расчетное сопротивление конструкции, см. 3.7.4.

3.7.3 Суммарное расчетное значение эффекта комбинированных воздействий

3.7.3.1 Общие положения

Постоянные воздействия, *G*, значения переменных воздействий, *Q1, Q2, Q3*и т.д., которые возникают одновременно, и случайные воздействия, *А* соответственно, комбинируются в соответствии с рассматриваемой расчетной ситуацией.

Для каждого случая критической нагрузки, общее расчетное значение эффекта комбинированных воздействий *Ed* должно определяться по формулам (3.1) и (3.3), приведенным ниже.

Альтернативные формулы (3.2) и (3.4) применяются, когда переменные воздействия *Qn* определяются напрямую. В формуле (3.2) доминирующее переменное воздействие Q1 с периодом повторяемости *T1*, соответствующим выбранному уровню надежности (например, 150 лет), комбинируется с переменными воздействиями *Qn (n>1)*, которые имеют сокращенные периоды повторяемости *Tn* (например 3 года). В формуле (3.4) случайные воздействия *А* комбинируются с переменными воздействиями *Qn (n>1)*, которые имею место быть, и все они имеют сокращенные периоды повторяемости *Tn*.

В соответствующих случаях должны учитываться вызванные деформации.

3.7.3.2 Расчетные ситуации, связанные с постоянными и переменными воздействиями

Суммарное расчетное значение эффекта постоянных и переменных воздействий выражается в символьных формах:

(3.1)

(3.2)

где

*γQ1 Q1K* – расчетное значение доминирующего переменного воздействия, т. е. обычно либо ветер, либо лед;

*ψQn QnK* – значение комбинации других переменных воздействий с сокращенными периодами повторяемости, *Tn (n>1)*.

3.7.3.3 Расчетные ситуации, связанные с постоянными, переменными и случайными воздействиями

Суммарное расчетное значение эффекта постоянных, переменных и случайных воздействий выражается в символьных формах:

(3.3)

(3.4)

где

*γA AK* – расчетное значение случайного воздействия;

*ψQn QnK* – значение комбинации переменных воздействий с сокращенными периодами повторяемости, *Tn (n>1)*.

3.7.4 Расчетное сопротивление конструкции

Расчетное сопротивление конструкции *Rd*, связывающее все свойства конструкции с соответствующими расчетными значениями *Xnd*, выглядит следующим образом:

или, альтернативно, как определено в каждом случае, соответствующими характерными значениями, *XnK*:

4 Воздействия на линии

4.1. Введение

Цель настоящего раздела — дать рекомендации по расчету всех видов нагрузок на воздушные ЛЭП и их элементы.

К ним относятся климатические нагрузки, такие как ветровые, ледовые и комбинированные ветровые и ледовые нагрузки на провода, комплекты изоляторов, решетчатые опоры и столбы.

Каждый Национальный комитет несет ответственность за предоставление климатических данных в своих NNA, что может быть связано с требованиями раздела 4.

Если NNA, относящиеся к Разделу 4, не предоставляют достаточных климатических данных, Проектная спецификация должна включать такие данные из доступных источников для определения надежного технического решения.

В принципе, существует три подхода к оценке климатических данных для определения числовых значений воздействий.

Подход 1: первый подход основан на использовании европейских или национальных стандартов, которые предоставляют справочные данные, такие как базовая скорость ветра, приведенные в Национальном приложении EN 1991-1-4 и непосредственно используемые с разделом 4.

Подход 2: второй подход основан на использовании достаточных статистических экспериментальных данных благодаря полевым наблюдениям. Затем эти данные могут быть преобразованы в справочные данные для использования в соответствии с разделом 4. Для получения достоверных данных необходимо учитывать особенности региона или участка. Ссылка на Приложение B или стандарты, такие как IEC 60826, может быть полезна для необходимого преобразования экстремальной скорости ветра или экстремальной ледовой нагрузки, связанной с эталонным 50-летним периодом повторяемости, в другую скорость ветра или ледовую нагрузку, связанную с другим периодом повторяемости T.

Подход 3: третий подход основан на использовании данных, проверенных на основе долгой и успешной истории проектирования воздушных линий, которые можно найти в национальных правилах, которые существуют в некоторых странах примерно с 1900 года. Этими данными могут быть базовая скорость ветра, пиковое давление ветра, базовая ледовая нагрузка и т. д., но такие данные должны обеспечивать, по крайней мере, уровень надежности, соответствующий уровню 1, как указано в разделе 3 (эталонный период повторяемости 50 лет). При необходимости, частные коэффициенты, приведенные в 4.13, могут быть изменены в NNA для получения желаемого уровня надежности при использовании таких эмпирических данных. В качестве контрпроверки со значениями воздействия, полученными из данных подхода 3, может быть выполнено сравнение со значениями воздействия, полученными из данных подхода 1 или подхода 2.

Подраздел 4.2 касается постоянных нагрузок.

В подразделе 4.3 показано, как ветровые нагрузки, действующие на любой компонент воздушной ЛЭП (4.3.5), могут быть определены путем расчета соответственно основной скорости ветра (4.3.1), средней скорости ветра (4.3.2), среднего давления ветра (4.3. 3) и пикового давления ветра (4.3.4).

Подраздел 4.4 посвящен ветровым нагрузкам на элементы воздушной ЛЭП, соответственно на провода (4.4.1), комплекты изоляторов (4.4.2), решетчатые опоры (4.4.3) и столбы (4.4.4).

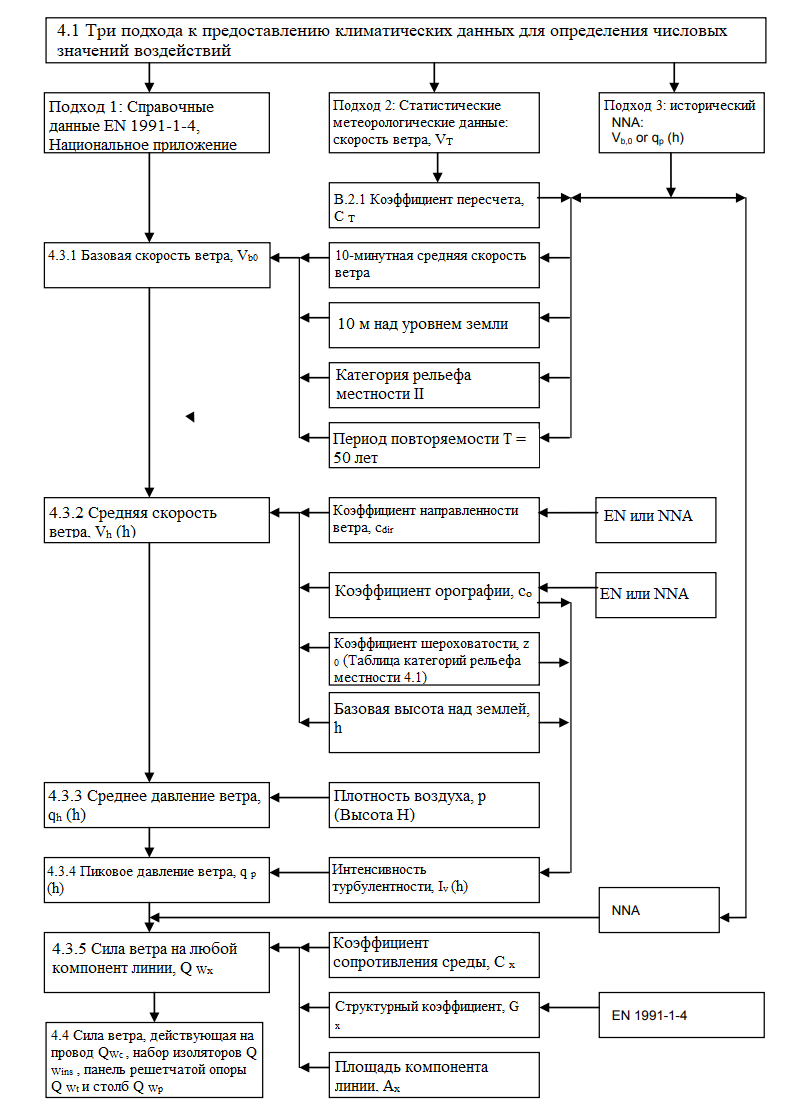
Подразделы 4.5 и 4.6 содержат правила определения ледовых нагрузок и комбинированных ветровых и ледовых нагрузок на провода воздушной ЛЭП.

Подразделы с 4.7 по 4.11 относятся соответственно к температурным воздействиям на нагрузки (4.7), защитные нагрузки (4.8), безопасные нагрузки (4.9), нагрузки, вызванные токами короткого замыкания (4.10) и другими специальными нагрузками (4.11).

Наконец, в подразделах 4.12 и 4.13 приведены случаи стандартной нагрузки, а также частные коэффициенты и коэффициенты сочетания для воздействий в предельном состоянии по несущей способности.

Примеры применения ветровых нагрузок (4.3 и 4.4) приведены в приложении С.1.

Блок-схема 4.1 обобщает структуру подраздела 4.3 по ветровым нагрузкам.

****

Блок-схема 4.1 — Структура 4.3 по ветровым нагрузкам

4.2 Постоянные нагрузки

Собственный вес опор, комплектов изоляторов и другого стационарного оборудования, а также проводов, идущим из соседних пролетов, действуют как постоянные нагрузки. Предупреждающие шары-маркеры и аналогичные элементы следует рассматривать как постоянные статические нагрузки.

4.3 Ветровые нагрузки

4.3.1 Область применения и основная скорость ветра

Подраздел 4.3 содержит правила определения расчетных ветровых нагрузок, действующих на любой элемент воздушной ЛЭП, на основе метеорологических данных.

Эти правила охватывают базовые высоты над землей (см. 4.4) вплоть до тех, которые указаны в NNA. Если в NNA не оговорено никаких требований, обычно допустимо значение 60 м.

Правила взяты из моделей EN 1991-1-4 (EUROCODE 1 Воздействия на конструкции - общие воздействия, воздействия ветра) и определяют базовую скорость ветра (Vb,0) как среднюю скорость ветра за 10 минут, независимо от направления ветра и времени года, на высоте 10 м над уровнем земли на открытой местности с низкой растительностью, такой как трава и изолированные препятствия, и с интервалом, по крайней мере, в 20 раз превышающим высоту препятствий.

Примечание 1 – Эта местность соответствует категории рельефа местности II в таблице 4.1.

Эта основная скорость ветра, *Vb,0*, является характерным значением, имеющим годовую вероятность превышения 0,02, что эквивалентно среднему периоду повторения 50 лет и может быть подробно описано в Национальном приложении EN 1991-1-4.

В NNA могут быть указаны различные значения скорости ветра, но в этих случаях они должны соответствовать приведенному выше основному определению скорости ветра.

Колебание скорости ветра из-за порывов учитывается при расчете ветровой нагрузки по настоящему стандарту через интенсивность турбулентности (см. 4.3.4).

Правила, приведенные в 4.3 и 4.4, неприменимы для локализованных ветров высокой силы, таких как торнадо или нисходящие потоки.

Примечание 2 – Информация о таких ветрах содержится в Технической брошюре CIGRE № 350 «Как воздушные ЛЭП реагируют на локальные сильные ветры — основное понимание».

Если в Национальных приложениях EN 1991-1-4 уже указаны значения пикового давления ветра в зависимости от высоты над землей, эти значения следует использовать непосредственно в качестве пикового давления ветра qp для проектирования воздушных ЛЭП без применения разделов с 4.3.2 по 4.3.4. В этих случаях должна быть сделана ссылка на NNA, где должны быть указаны такие значения.

4.3.2 Средняя скорость **ветра**

Средняя скорость ветра *Vh (h)* зависит от:

* основная скорость ветра (*Vb0*), определенная в 4.3.1;
* коэффициент направленности ветра (*cdir* );
* базовая высота над землей (*h*) исследуемого компонента линии (см. 4.4);
* коэффициент шероховатости (*z0*);
* коэффициент орографии (*co*).

Значение коэффициента направления ветра *cdir* для различных направлений ветра может быть указано в NNA. Значения можно найти в Национальном приложении EN 1991-1-4. Рекомендуемое значение 1,0.

Базовая высота h над землей, которую необходимо учитывать, зависит от компонента линии, к которому приложена ветровая нагрузка. Выбор этой базовой высоты над землей приведен для каждого компонента в 4.4, но минимальное значение, которое следует учитывать, составляет 10 м.

Коэффициент шероховатости, *z0,* и фактор рельефа местности, *kr,* который непосредственно связан с коэффициентом шероховатости, характеризуют неровность местности, которая изменяет среднюю скорость ветра, *Vh (h)*, и интенсивность турбулентности, *Iv (h)*.

Значения *z0* и *kr* можно найти в таблице 4.1 ниже в соответствии с EN 1991-1-4.

Таблица 4.1 — Категории рельефа местности, коэффициент шероховатости, *z0* и фактор рельефа местности, *kr*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Категория рельефа местности | *z0 [m]* | *kr* |
| 0 Море или прибрежная зона, выходящая в открытое море | 0,003 | 0,155 |
| I Озера или плоские и горизонтальные участки с незначительной растительностью и без препятствий | 0,01 | 0,169 |
| II Участок с низкой растительностью, такой как трава, и отдельными препятствиями (деревьями, зданиями), интервал между которыми не менее чем в 20 раз превышает высоту препятствий. | 0,05 | 0,189 |
| III Район с обычным растительным покровом или зданиями или с изолированными  препятствиями, интервал между которыми не превышает 20-кратной высоты препятствия (например, деревни, пригороды, непрерывно-производительный лес) | 0,3 | 0,214 |
| IV Район, в котором не менее 15 % поверхности занято зданиями, средняя высота которых превышает 15 м. | 1 | 0,233 |
| Примечание – Категории рельефа местности проиллюстрированы в EN 1991-1-4:2005, A.1. | | |

В NNA могут быть указаны разные категории рельефа местности с разным коэффициентом шероховатости *z0*. Фактор рельефа местности kr можно определить для различных коэффициентов шероховатости *z0*, используя выражение:

*kr = 0,189 (z0 / 0,05)0,0*7

Влиянием топографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны невелик. В этом случае, рекомендуемое значение коэффициента орографии *co* равно 1.

Средние уклоны менее 5 % следует рассматривать как небольшие.

В тех случаях, когда топография (например, холмы, скалы и т. д.) увеличивает скорость ветра более чем на 5 %, последствия следует учитывать с использованием коэффициента орографии *co*. Рельеф местности с наветренной стороны можно рассматривать на расстоянии до 10-кратной базовой высоты над землей *h* компонента. Процедура, которую следует использовать для определения *со*, может быть указана в NNA. Процедура приведена в EN 1991-1-4:2005, Приложение А.3.

Средняя скорость ветра, *Vh (h)*, в м/с на базовой высоте над землей, *h* определяется по выражению:

Для элементов, связанных с сооружениями с номинальным напряжением от 1 кВ переменного тока до 45 кВ переменного тока включительно и максимальной высотой 20 м, допускается постоянное значение средней скорости ветра, рассчитанное на высоте 10 м над землей, как указано выше. Конкретные правила должны быть указаны в NNAs.

4.3.3 Среднее давление ветра

Среднее давление ветра, *qh (h)*, в Н/м 2 на базовой высоте над землей h определяется с помощью:

*ρ* — плотность воздуха в кг/м 3, которая зависит от высоты над уровнем моря, температуры и барометрического давления, ожидаемых в регионе во время ураганов. р равно 1,225 кг/м3 при 15°С и атмосферном давлении 1013 гПа. Для других значений температуры и атмосферного давления, указанных в NNA, можно рассчитать плотность воздуха или использовать относительные значения из таблицы 4.2.

Примечание – В EN 1991-1-4 указано консервативное значение плотности воздуха: p = 1,25 кг/м 3.

Таблица 4.2 — Относительное значение плотности воздуха *ρ* в зависимости от высоты Н и температуры *Т'*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура Т' | Высота Н | | | |
| °С | 0 м | 600 м | 1 200 м | 1 800 м |
| - 30 | 1,18 | 1,10 | 1,02 | 0,95 |
| - 20 | 1,13 | 1,05 | 0,97 | 0,91 |
| - 5 | 1,08 | 1,00 | 0,93 | 0,87 |
| 5 | 1,04 | 0,96 | 0,90 | 0,84 |
| 15 | 1,00 | 0,93 | 0,86 | 0,80 |
| 30 | 0,96 | 0,89 | 0,83 | 0,77 |
| Примечание – Значения в этой таблице получены из  где  ρ’ - плотность воздуха, соответствующая абсолютной температуре *T'* на высоте *H*,  H - расчетная высота в м для определения плотности воздуха,  T’ — абсолютная температура в градусах Кельвина на высоте, *H*. | | | | |

Некоторые страны, благодаря долгому опыту и тщательным исследованиям, пришли к выводу, что определенные значения среднего давления ветра являются репрезентативными для их ветреного климата (подход 3). В этих случаях следует сделать ссылку на NNA, где указаны такие значения.

4.3.4 Интенсивность турбулентности и пиковое давление ветра

Интенсивность турбулентности *Iv (h)* на базовой высоте над землей *h* определяется как стандартное отклонение турбулентности ветра, деленное на среднюю скорость ветра.

Правило для определения *Iv (h)* дано в выражении:

Коэффициент шероховатости *z0* и коэффициент орографии c 0 определяются в 4.3.2.

Максимальное давление ветра *qp (h)* на базовой высоте над землей h, учитывающее интенсивность турбулентности *Iv (h)*, выражается выражением:

Некоторые страны, благодаря долгому опыту и тщательным исследованиям, пришли к выводу, что определенные значения пикового давления ветра являются репрезентативными для их ветреного климата (подход 3). В этих случаях следует сделать ссылку на NNA, где указаны такие значения.

4.3.5 Ветровые нагрузки на любой компонент воздушной ЛЭП

Значение силы ветра, *QWx*, обусловленная ветром, дующим горизонтально на базовой высоте над землей, *h*, перпендикулярной любой составляющей линии, определяется по формуле:

где

*qp (h)* — максимальное давление ветра, указанное в 4.3.4;

*h* — базовая высота над землей, используемая для рассматриваемого компонента структурной линии;

*Gx* — структурный коэффициент для рассматриваемого элемента структурной линии, рассчитанный по методу, приведенному в EN 1991-1-4;

Примечание 1 – В EN 1991-1-4 обозначение *Gx — cs cd*.

*Cx* — коэффициент сопротивления (или коэффициент силы), зависящий от формы рассматриваемого компонента линии;

*Ax* — это площадь рассматриваемого компонента линии, спроецированная на плоскость, перпендикулярную направлению ветра.

Все эти параметры определяются для каждого компонента линии в следующих подразделах.

Альтернативный метод (подход 3). Альтернативный метод, основанный на другом выражении пикового давления ветра, может быть указан в NNA. В этом случае, структурные коэффициенты, указанные в 4.4, не применяются.

Примечание 2 – Полный пример, помогающий проектировщикам ясно понять, как оценивать ветровые нагрузки, приведен в С.1.

Приведенное выше выражение для силы ветра действительно для эталонного периода повторяемости в 50 лет. Для определения минимальных воздушных зазоров в разделе 5, необходимо учитывать ветровые нагрузки на провода и изоляторы при средней скорости ветра за 10 минут (см. 4.3.1).

Выражение для экстремальной ветровой нагрузки с эталонным периодом повторяемости 50 лет для минимальных зазоров, *QW50*, может быть получено путем умножения силы ветра *QWx* на отношение среднего давления ветра, *qh(h)*, и пикового давления ветра, *qp(h)*. Принимая консервативное значение *Gx = 1*, мы получаем:

Аналогично, выражение для номинальной ветровой нагрузки с периодом повторяемости 3 года для минимальных зазоров, *QW3*, может быть получено путем умножения силы ветра, *QWx*, на отношение среднего давления ветра, *qh*, и пикового давления ветра, *qp* и с отношением квадратов скоростей ветра, *V3* и *V50* с периодом повторяемости 3 и 50 лет (см. *C2T* в Приложении B.2). Принимая консервативное значение *Gx=1*, получаем:

4.4 Ветровые нагрузки на элементы воздушной ЛЭП

4.4.1 Ветровые нагрузки на провода

4.4.1.1 Общие положения

Давление ветра на провода вызывает нагрузки, поперечные направлению линии, а также повышенное натяжение в проводах.

Суммарная ветровая нагрузка на пучок фазных проводов определяется как сумма нагрузок на отдельные расщепленные провода без учета возможного экранирующего воздействия на подветренные провода.

В общем виде, ветровая нагрузка на опору от каждого расщепленного провода из двух соседних пролетов определяется следующим образом (см. рис. 4.1.а):

- в направлении траверсы:

- перпендикулярно траверсе:

где

*qp (h)* — максимальное давление ветра, указанное в 4.3.4;

*h* — базовая высота, используемая для провода;

*Gc* — структурный коэффициент провода (также называемый коэффициентом пролета);

*Cc* — коэффициент сопротивления (или коэффициент силы) провода;

*d* - диаметр провода;

*L1, L2* — длины двух соседних пролетов;

*Φ* — угол между направлением ветра и продольной осью траверсы, определенный на рисунке 4.1.а;

*θ1, θ2 — (θ1 + θ2) / 2 = θ* — угол изменения направления линии, определенный на рис. 4.1.а.

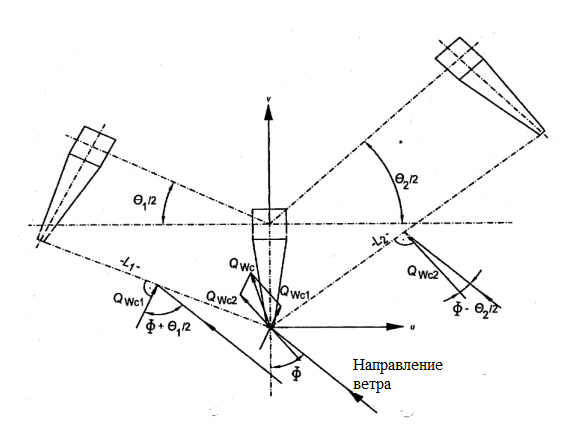
****

Рисунок 4.1.а — Ветровые нагрузки на провода — общий случай

В случае промежуточной опоры, угол θ = θ1 = θ2 равен нулю. Следовательно,

и

При рассмотрении направления ветра по биссектрисе отклонения линии, результирующая сила ветра на угловую опору от двух соседних пролетов равна (см. рис. 4.1.b):

и

Если *L1* = *L2*, то

Формула предполагает одинаковый диаметр *d* проводов в соседних пролетах. В противном случае, формулы должны быть изменены соответствующим образом.

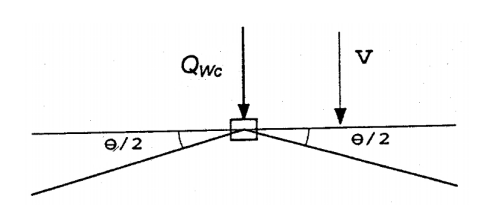


Рисунок 4.1.b — Ветровые нагрузки на провода — направление ветра по биссектрисе отклонения линии

Базовая высота над землей, *h,* которая должна учитываться при расчете ветровой нагрузки на провода, должна определяться в соответствии с методами, которые должны быть указаны в NNA.

Можно использовать один из девяти следующих методов, полученных из менее консервативного предложения 1 и наиболее консервативного предложения 9 в таблице 4.3.

Таблица 4.3 — Определение базовой высоты над землей, h проводов — 9 методов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Базовая высота над землей h провода или заземляющего проводника | Индивидуальная высота,  hi | Средневзвешенная высота,  hw | Средняя арифметическая высота, hа |
| расположенный в | *h = hi* |  |  |
| центр тяжести (1) | 1 | 2 | 3 |
| точка крепления к комплекту изоляторов | 4 | 5 | 6 |
| место крепления комплекта изоляторов к опоре | 7 | 8 | 9 |
| (1) расположенный в нижней трети провисающей стрелы провода или заземляющего проводника в вертикальной плоскости | | | |

где

*hi* − базовая высота над землей центра тяжести провода или соответствующей точки крепления провода на уровне высоты i;

*hw* − средневзвешенная высота всех проводов;

*hа* − средняя арифметическая высота всех проводов;

*di* − диаметр провода на уровне высоты *i*;

*ni* – количество проводов одного диаметра *di* на уровне высоты *i*;

В примере, приведенном в Приложении С.1.2, используется метод 8 из таблицы 4.3.

При расчете механического натяжения в секции будет учитываться влияние ветровой нагрузки на провод, при этом следует использовать постоянные значения базовой высоты провода и длины пролета. Эти значения должны быть указаны в NNA.

При расчете натяжения провода может учитываться снижение влияния ветрового давления за счет длины секции, если условия рельефа местности и высота провода над землей остаются неизменными. В таком случае, может применяться структурный коэффициент (коэффициент пролета), основанный на длине секции линии.

4.4.1.2 Структурный коэффициент

Структурный коэффициент *Gc* определяется выражением:

где

*kp* – пиковый фактор, определяемый как отношение максимального значения флуктуирующей части отклика к его стандартному отклонению. Его рекомендуемое значение равно 3, но в NNA может быть указано другое значение;

*Iv (h)* — интенсивность турбулентности, указанная в 4.3.4;

*B2* – фоновый фактор, учитывающий отсутствие полной корреляции давления на пролет;

*R2* — коэффициент резонансной реакции, учитывающий турбулентность в резонансе с режимом вибрации. Рекомендуемое значение *R2* равно 0, поскольку резонансом в направлении ветра для линейного провода можно пренебречь. Другое значение может быть указано в значение.

Значение *В2* должно быть определено из выражения Приложения С к EN 1991-1-4:2005:

где

*Lm* – среднее значение длин двух соседних пролетов: *Lm = (L1 + L2 )/2*;

*L(h)* - масштаб турбулентности (средний размер порыва в м) на базовой высоте *h* провода, определяемая по выражению Приложения B стандарта EN 1991-1-4:2005:

с

*z0* коэффициентом шероховатости, определенном в 4.3.2.

Структурный коэффициент *Gc* для провода приведен для рекомендуемых значений, указанных в этом подразделе, для различных базовых высот и различных длин пролета в таблице 4.4 а, b, с, d и е (одна таблица для каждой категории рельефа местности, как определено в 4.3. 2). Структурный коэффициент *Gc* для пролетов менее 100 м принимается равным 100 м.

Таблица 4.4.а — Значения GC для категории рельефа местности 0

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Базовая высота h для провода [м] | | | | | | | | | | |
| z0 [m] | L**m**[m] | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | > 60 |
| 0,003 | 100 | 0,78 | 0,80 | 0,81 | 0,82 | 0,83 | 0,83 | 0,84 | 0,84 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| 200 | 0,73 | 0,75 | 0,76 | 0,77 | 0,78 | 0,79 | 0,79 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,81 |
| 300 | 0,70 | 0,72 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,76 | 0,76 | 0,77 | 0,77 | 0,78 | 0,78 |
| 400 | 0,68 | 0,70 | 0,71 | 0,72 | 0,73 | 0,74 | 0,74 | 0,75 | 0,75 | 0,76 | 0,76 |
| 500 | 0,67 | 0,69 | 0,70 | 0,71 | 0,72 | 0,72 | 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,74 | 0,75 |

*Окончание таблицы 4.4.а*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Базовая высота h для провода [м] | | | | | | | | | | |
| z0 [m] | L**m**[m] | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | > 60 |
|  | 600 | 0,66 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,71 | 0,71 | 0,72 | 0,72 | 0,73 | 0,73 | 0,73 |
|  | 700 | 0,65 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,70 | 0,71 | 0,71 | 0,72 | 0,72 | 0,72 |
| 800 | 0,64 | 0,66 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,70 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,72 |

Таблица 4.4.b — Значения *GC* для категории рельефа местности I

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Базовая высота h для провода [м] | | | | | | | | | | |
| z0 [m] | L**m**[m] | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | > 60 |
| 0,01 | 100 | 0,75 | 0,77 | 0,79 | 0,80 | 0,81 | 0,81 | 0,82 | 0,82 | 0,83 | 0,83 | 0,84 |
| 200 | 0,69 | 0,72 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,76 | 0,77 | 0,77 | 0,78 | 0,78 | 0,79 |
| 300 | 0,66 | 0,69 | 0,70 | 0,71 | 0,72 | 0,73 | 0,74 | 0,74 | 0,75 | 0,75 | 0,76 |
| 400 | 0,64 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,71 | 0,72 | 0,72 | 0,73 | 0,73 | 0,74 |
| 500 | 0,63 | 0,65 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,69 | 0,70 | 0,71 | 0,71 | 0,72 | 0,72 |
| 600 | 0,62 | 0,64 | 0,66 | 0,67 | 0,68 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,71 |
| 700 | 0,61 | 0,63 | 0,65 | 0,66 | 0,67 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,69 | 0,70 | 0,70 |
| 800 | 0,60 | 0,63 | 0,64 | 0,65 | 0,66 | 0,67 | 0,67 | 0,68 | 0,68 | 0,69 | 0,69 |

Таблица 4.4.c — Значения *GC* для категории рельефа местности II

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Базовая высота h для провода [м] | | | | | | | | | | |
| z0 [m] | L**m**[m] | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | > 60 |
| 0,05 | 100 | 0,70 | 0,73 | 0,74 | 0,76 | 0,77 | 0,78 | 0,79 | 0,79 | 0,80 | 0,80 | 0,81 |
| 200 | 0,63 | 0,66 | 0,68 | 0,70 | 0,71 | 0,72 | 0,73 | 0,74 | 0,74 | 0,75 | 0,75 |
| 300 | 0,60 | 0,63 | 0,65 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,70 | 0,71 | 0,72 | 0,72 |
| 400 | 0,58 | 0,61 | 0,63 | 0,64 | 0,66 | 0,66 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,69 | 0,70 |
| 500 | 0,57 | 0,59 | 0,61 | 0,63 | 0,64 | 0,65 | 0,66 | 0,66 | 0,67 | 0,68 | 0,68 |
| 600 | 0,56 | 0,58 | 0,60 | 0,61 | 0,63 | 0,64 | 0,64 | 0,65 | 0,66 | 0,66 | 0,67 |
| 700 | 0,55 | 0,57 | 0,59 | 0,61 | 0,62 | 0,63 | 0,63 | 0,64 | 0,65 | 0,65 | 0,66 |
| 800 | 0,54 | 0,57 | 0,58 | 0,60 | 0,61 | 0,62 | 0,63 | 0,63 | 0,64 | 0,64 | 0,65 |

Таблица 4.4.d — Значения *GC* для категории рельефа местности III

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Базовая высота h для провода [м] | | | | | | | | | | |
| z0 [m] | Lm[m] | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | > 60 |
| 0,3 | 100 | 0,62 | 0,66 | 0,68 | 0,70 | 0,72 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,76 | 0,77 | 0,77 |
| 200 | 0,55 | 0,59 | 0,61 | 0,63 | 0,65 | 0,66 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,71 |
| 300 | 0,51 | 0,55 | 0,58 | 0,60 | 0,61 | 0,63 | 0,64 | 0,65 | 0,66 | 0,66 | 0,67 |
| 400 | 0,49 | 0,53 | 0,55 | 0,57 | 0,59 | 0,60 | 0,61 | 0,62 | 0,63 | 0,64 | 0,65 |
| 500 | 0,47 | 0,51 | 0,54 | 0,55 | 0,57 | 0,58 | 0,59 | 0,60 | 0,61 | 0,62 | 0,63 |
| 600 | 0,46 | 0,50 | 0,52 | 0,54 | 0,56 | 0,57 | 0,58 | 0,59 | 0,60 | 0,61 | 0,61 |
| 700 | 0,45 | 0,49 | 0,51 | 0,53 | 0,55 | 0,56 | 0,57 | 0,58 | 0,59 | 0,59 | 0,60 |
| 800 | 0,45 | 0,48 | 0,50 | 0,52 | 0,54 | 0,55 | 0,56 | 0,57 | 0,58 | 0,58 | 0,59 |

Таблица 4.4.e — Значения *GC* для категории рельефа местности IV

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Базовая высота h для провода [м] | | | | | | | | | | |
| z0 [m] | Lm [m] | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | > 60 |
| 1,0 | 100 | 0,54 | 0,59 | 0,63 | 0,65 | 0,67 | 0,69 | 0,70 | 0,71 | 0,72 | 0,73 | 0,74 |
| 200 | 0,47 | 0,52 | 0,55 | 0,58 | 0,60 | 0,61 | 0,63 | 0,64 | 0,65 | 0,66 | 0,67 |
| 300 | 0,43 | 0,48 | 0,51 | 0,54 | 0,56 | 0,57 | 0,59 | 0,60 | 0,61 | 0,62 | 0,63 |
| 400 | 0,41 | 0,45 | 0,49 | 0,51 | 0,53 | 0,55 | 0,56 | 0,57 | 0,58 | 0,59 | 0,60 |
| 500 | 0,39 | 0,44 | 0,47 | 0,49 | 0,51 | 0,53 | 0,54 | 0,55 | 0,56 | 0,57 | 0,58 |
| 600 | 0,38 | 0,42 | 0,45 | 0,48 | 0,50 | 0,51 | 0,52 | 0,54 | 0,55 | 0,56 | 0,56 |
| 700 | 0,37 | 0,41 | 0,44 | 0,47 | 0,48 | 0,50 | 0,51 | 0,52 | 0,53 | 0,54 | 0,55 |
| 800 | 0,36 | 0,41 | 0,43 | 0,46 | 0,47 | 0,49 | 0,50 | 0,51 | 0,52 | 0,53 | 0,54 |

4.4.1.3 Коэффициент сопротивления среды

Коэффициент сопротивления среды *CC* для провода можно определить одним из следующих способов:

* Метод 1: коэффициент сопротивления среды равен 1 для обычно рассматриваемых многожильных проводов и скорости ветра,
* Метод 2: коэффициент сопротивления среды выводится из испытаний в аэродинамической трубе,
* Метод 3: коэффициент сопротивления среды оценивается в соответствии со следующим методом EN 1993-3-1:

Число Рейнольдса *Re ≤* 6 104 *CC* = 1,2

Число Рейнольдса *Re* ≥ 10 5 *СС* = 0,9

Для промежуточных значений *Re*, значение *CC* должно быть получено путем линейной интерполяции.

Примечание – Число Рейнольдса *Re* определяется выражением:

с

как определено в EN 1991-1-4

и где

*d* − диаметр провода;

− кинематическая вязкость воздуха (рекомендуемое значение: = 15·10 -6 м2/с);

*ρ* − определено в 4.3.3;

*qp* − определено в 4.3.4.

Используемый метод должен быть указан в NNA.

4.4.2 Ветровые нагрузки на комплекты изоляторов

Ветровые нагрузки, воздействующие на комплекты изоляторов, являются результатом сил ветра, действующих на провода, а также давления ветра на сами изоляторы.

Ветровыми нагрузками из-за давления ветра на сами комплекты изоляторов можно пренебречь при проектировании опор, но, тем не менее, в NNA может указываться, что это следует учитывать.

В этом случае, сила ветра, действующая по направлению ветра в каждой точке крепления к опоре, определяется выражением:

где

*qp(h)* − максимальное давление ветра, указанное в 4.3.4;

*h* − базовая высота над землей, используемая для комплекта изоляторов, которая представляет собой высоту точки крепления к опоре. В NNA может быть указана другая базовая высота;

− является структурным коэффициентом для комплекта изоляторов. Рекомендуемое значение равно 1, но в NNA может быть указано другое значение;

− коэффициент сопротивления среды комплекта изоляторов. Рекомендуемое значение 1,2, но в NNA может быть указано другое значение;

− это площадь комплекта изоляторов, спроецированная горизонтально на вертикальную плоскость, параллельную оси струны.

4.4.3 Ветровые нагрузки на решетчатые опоры

4.4.3.1 Общие положения

Ветровые нагрузки на решетчатые опоры возникают в результате сил, передаваемых от проводов и изоляторов, а также давления ветра непосредственно на саму опору.

Ветровую нагрузку на саму опору можно определить одним из следующих способов:

* Метод 1: опора делится на секции. Коэффициент сопротивления среды связан с рамами секций опоры с учетом укрывающего действия наветренных рам на подветренные рамы.
* Метод 2: рассматривается каждый отдельный элемент опоры. Коэффициент сопротивления среды связан с элементами опоры без учета эффекта укрытия. Этот метод рекомендуется для опор неправильной геометрии, особенно для траверс.

Используемый метод должен быть указан в NNA.

Базовая высота h над землей, которую следует учитывать при расчете ветровой нагрузки на решетчатые опоры, должна определяться в соответствии с методами, которые должны быть указаны в NNA.

Можно использовать один из следующих методов:

* Опора считается вертикальной структурой, такой как здания, как определено в EN 1991-1-4, и уникальная базовая высота для каждой секции опоры или каждого элемента опоры соответствует проценту от общей высоты опоры. Рекомендуемое значение — 60%, но в NNA может быть указано другое значение.
* Базовая высота каждой секции опоры или каждого элемента опоры представляет собой высоту над землей геометрического центра секции опоры или рассматриваемого элемента опоры.

Примечание – Для опор с треугольным поперечным сечением и/или для опор с круглыми элементами, альтернативные методы определения ветровой нагрузки можно найти в EN 1993-3-1.

4.4.3.2 Метод 1

Для решетчатых опор прямоугольного сечения, сила ветра действует в центре тяжести каждой секции опоры. Составляющая силы Qwt, действующая в направлении ветра, определяется следующим выражением. Составляющей силы, поперечной направлению ветра, можно пренебречь:

где

− максимальное давление ветра, указанное в 4.3.4;

*h* − базовая высота над землей, которую необходимо учитывать для рассматриваемой секции решетчатой опоры;

– структурный коэффициент для решетчатой опоры. Рекомендуемое значение равно 1, но в NNA может быть указано другое значение;

можно рассчитать следующим образом, если не требуется рекомендуемое консервативное значение 1:

с:

– общая высота опоры;

− определено в 4.4.1.2.

Эти формулы основаны на EN 1991-1-4:2005, Приложение C и дают значения Gt менее 0,9.

*Ct1, Ct2* – коэффициент сопротивления среды поверхности панели решетчатой опоры 1 (соответственно поверхности 2) рассматриваемого сечения при ветре, перпендикулярном этой панели;

*At1, At2* – полезная площадь элементов поверхности панели решетчатой опоры 1 (соответственно поверхности 2) рассматриваемого сечения;

− угол между направлением ветра и продольной осью решетчатой траверсы.

Рисунок 4.2 иллюстрирует определения поверхности панели решетчатой опоры, эффективной площади, угла направления ветра и коэффициента сплошности, χ.

Для решетчатых траверс, силу ветра можно оценить следующим образом:

где

− максимальное давление ветра, указанное в 4.3.4;

*h −* базовая высота над землей, которую следует учитывать для решетчатой траверсы;

− структурный коэффициент для решетчатых траверс. Рекомендуемое значение равно 1, но в NNA может быть указано другое значение;

*Ctc* – коэффициент сопротивления среды поверхности решетчатой траверсы при ветре, перпендикулярном продольной оси траверсы;

– эффективная площадь элементов поверхности решетчатой траверсы, подвергающихся ветровому воздействию;

− угол между направлением ветра и продольной осью решетчатой траверсы.

Рисунок 4.2 иллюстрирует определения поверхности панели решетчатой траверсы, эффективной площади, угла направления ветра и коэффициента сплошности, χ.

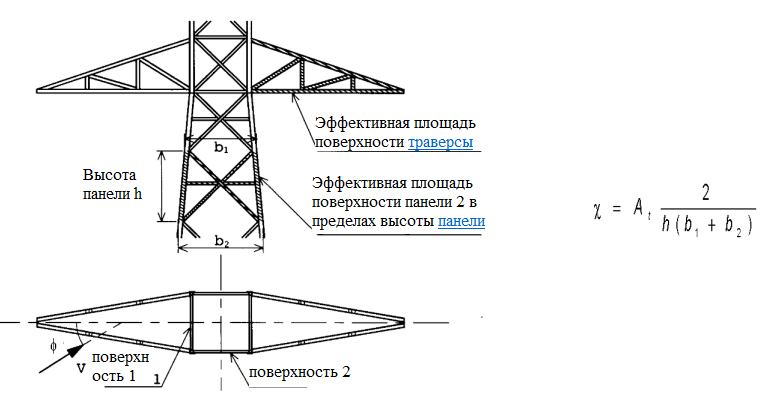
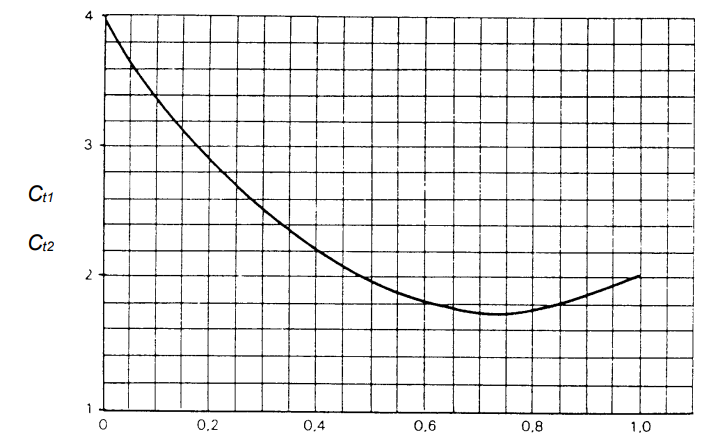
****

Рисунок 4.2 — Определения поверхности панели опоры, траверсы и коэффициента сплошности, χ

Коэффициент сопротивления среды *Ct1* (соответственно *Ct2* и *Ctc*) определяется в соответствии с коэффициентом сплошности, %, указанным на рисунке 4.2, и определяется следующим выражением из EN 1993-3-1:

*Ct1* (соответственно *Ct2* и *Ctc* ) = 3,96 (1 - 1,5 χ + χ2)

Значения коэффициента сопротивления среды приведены на рисунке 4.3.



χ Коэффициент сплошности

Рисунок 4.3 — Коэффициент сопротивления среды прямоугольной опоры, состоящей из плоских ребер

**4.4.3.3 Метод 2**

Для каждого элемента опоры, сила ветра перпендикулярна оси элемента и находится в плоскости, образованной этой осью и направлением скорости ветра.

Сила ветра определяется выражением:

где

− максимальное давление ветра, указанное в 4.3.4;

*h* − базовая высота над землей, которую следует учитывать для каждого отдельного элемента опоры;

− структурный коэффициент для каждого элемента опоры. Рекомендуемое консервативное значение равно 1, но в NNA может быть указано другое значение;

можно рассчитать следующим образом, если не требуется рекомендуемое консервативное значение, равное 1:

с:

Ht – общая высота опоры;

L(h) − определено в 4.4.1.2.

Эти формулы основаны на EN 1991-1-4:2005, Приложение C и дают значения менее 0,9.

− коэффициент сопротивления среды для каждого элемента опоры. Рекомендуемое консервативное значение для углового элемента составляет 1,6, но в NNA может быть указано другое значение; 1,6 — консервативное значение, особенно для верхней части опоры, где нельзя пренебрегать укрывающим действием наветренных рам (траверс) на подветренные рамы;

– полезная площадь рассматриваемого элемента опоры, равная произведению ее длины на ширину;

− угол между направлением ветра и плоскостью нормали к оси рассматриваемого элемента опоры.

В NNA могут быть указаны различные выражения для ветровой нагрузки на элементы опоры.

4.4.4 Ветровые нагрузки на столбы

Ветровые нагрузки на столбы (стальные, бетонные, деревянные и т. д.) возникают в результате воздействия ветра на провода и изоляторы, а также от давления ветра на сам столб.

Базовая высота, которую следует учитывать при оценке ветровых нагрузок на столбах, может быть определена одним из двух следующих методов:

* Метод 1: столб разделен на секции, и базовой высотой каждой секции является высота над землей геометрического центра рассматриваемой секции;
* Метод 2: столб считается вертикальной конструкцией, а базовая высота представляет собой процент от общей высоты столба. Рекомендуемое значение составляет 60%, но в NNA может быть указано другое значение.

Используемый метод должен быть указан в NNA.

Сила ветра, действующая на сам столб, перпендикулярный направлению ветра, может быть определена выражением:

где

− максимальное давление ветра, указанное в 4.3.4;

*h* − базовая высота опоры над землей;

– структурный коэффициент для столба. Рекомендуемое значение равно 1, но в NNA может быть указано другое значение;

− коэффициент сопротивления среды для столба;

− это проекция площади столба или секции столба на вертикальной плоскости, перпендикулярной направлению ветра.

Ниже приведены репрезентативные коэффициенты сопротивления среды , основанные на EN 1991-1-4 и учитывающие коэффициент конечного эффекта (*Ψλ*), равный 0,9, для гибкости (*λ*), равной 60.

* стальные, бетонные, композитные или клееные деревянные опоры с:

поперечным сечение с острой кромкой 1,8

шестиугольным (шестигранным) сечением 1,4

восьмиугольным или десятиугольным (восьми- или десятигранным) поперечным сечением 1,2

двенадцатиугольным (двенадцатигранным) сечением 1,0

шестиугольным (шестнадцатигранным) сечением 0,7

круглым сечением 0,7

* деревянные столбы (естественно выращенная древесина) круглого сечения 0,9
* двойные и А-образные деревянные столбы круглого сечения (естественно выращенная древесина) в плоскости столба, та часть столба, которая открыта ветру 0,9

в плоскости столба, подветренный столб сооружения

для *a < 2 dm* 0

для *2 dm ≤ a ≤ 6 dm* 0,35

для *a > 6 dm* 0,7

перпендикулярно плоскости столба при *а < 2 dm* 0,9

где

*а* − расстояние между двумя столбами на половине высоты конструкции;

*dm −* среднее значение средних диаметров двух отдельных столбов.

В NNA могут быть указаны другие значения.

Для большей точности, особенно для столбов прямоугольного профиля, следует ссылаться на EN 1991-1-4.

4.5 Ледовые нагрузки

4.5.1 Общие положения

В этом подразделе приведены правила определения ледовых нагрузок Ql на провода. Насколько применимо, их также можно использовать для проволочных оттяжек и т. д.

В зависимости от процесса образования, выделяют два основных типа атмосферного льда:

* лед в виде осадков, который может быть мокрым снегом или наледью;
* внутри-облачный лед, который может быть в виде мягкой или твердой изморози.

Примечание 1 − Подробные описания метеорологических условий, касающихся ледовых нагрузок, приведены в IEC 61774 и ISO 12494.

В областях, где могут встречаться оба типа, часто бывает трудно различить их. Это особенно характерно для горных районов, где наиболее серьезные явления обледенения часто являются комбинацией двух типов. Для двух упомянутых выше основных типов, статистические методы, описанные в этом пункте, могут использоваться независимо друг от друга.

При определении расчетных значений ледовых воздействий, при необходимости следует также учитывать влияние рельефа местности. Невозможно предоставить простые и общие правила для влияния рельефа местности, но руководство по влиянию местной топографии на два основных типа атмосферного обледенения, а также влияние на высоту над землей можно найти в IEC или упомянутых выше стандартах ISO.

При наличии различных климатических и атмосферных условий вдоль воздушной ЛЭП, она должна быть разделена на зоны.

В большинстве стран, статистические данные об обледенении часто бывают очень скудными. Поэтому ледовые нагрузки часто приходится определять непосредственно на основе опыта или долгосрочных применений с положительными результатами.

В приложении В приведены рекомендации по статистической оценке данных о ледовой нагрузке для определения экстремальной ледовой нагрузки.

IEC 61774 и ISO 12494 содержат рекомендации по сбору статистических данных об обледенении. Может оказаться целесообразным использовать классификацию льда (IC) по ISO 12494 для определения характерных значений ледовых нагрузок.

Что касается мокрого снега, толщину обледенения на проводах и заземляющих проводниках можно считать одинаковой, если опыт эксплуатации не свидетельствует об ином.

Ледовые нагрузки на другие компоненты могут быть получены из нагрузок на провода, но в настоящем стандарте они специально не рассматриваются.

Примечание 2 − ISO 12494 дает рекомендации по оценке этих нагрузок.

4.5.2 Ледовые нагрузки на провода

Ледовые нагрузки на провода вызывают вертикальные нагрузки, а также повышенное натяжение в проводах. От двух соседних пролетов, вертикальная ледовая нагрузка на опору от каждого расщепленного провода равна:

где

*I* − ледовая нагрузка на длину провода (*N/m*);

*Lw1 и Lw2* − весовые пролеты двух смежных пролетов.

Весовые длины двух соседних пролетов, *Lw1 и Lw2*, зависят от провеса обледеневшего провода и расстояния по горизонтали и вертикали между точками их крепления.

4.6 Комбинированные ветровые и ледовые нагрузки

4.6.1 Комбинированные вероятности

В настоящем стандарте рассматриваются только комбинированные ветровые и ледовые нагрузки на провода. Ветровые нагрузки на покрытые льдом опоры и изоляторы можно рассматривать аналогичным образом при использовании соответствующих коэффициентов сопротивления среды.

Примечание − ISO 12494 дает рекомендации по оценке этих нагрузок.

Влияние ветровой нагрузки на обледенелый провод определяется тремя переменными:

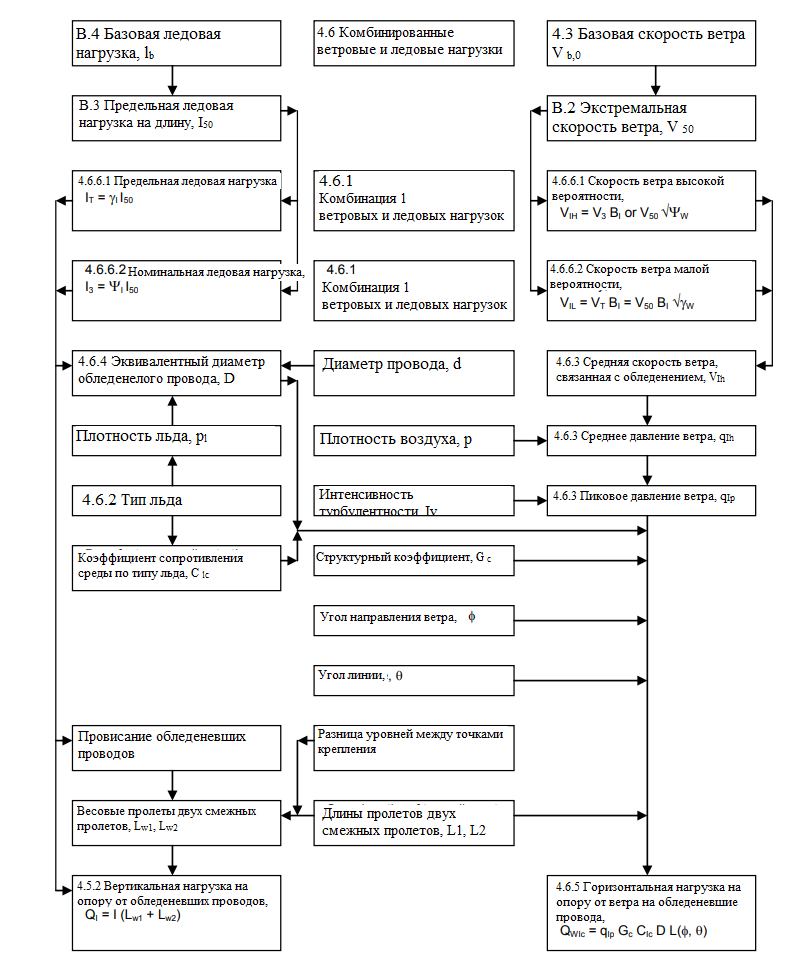
* скорость ветра в течение периода времени, когда провод покрыт льдом;
* вес слоя льда;
* форма слоя льда, т.е. эквивалентный диаметр и соответствующий коэффициент сопротивления среды.

В настоящем стандарте для определения этого эффекта используется упрощенный метод с учетом двух основных комбинаций:

* экстремальная (или маловероятная) ледовая нагрузка *IT* в сочетании с высокой вероятностью скорости ветра *VIH* (описано в 6.6.6.1);
* номинальная (или высоковероятная) ледовая нагрузка *I3* в сочетании с маловероятной скоростью ветра *VIL* (описано в 6.6.6.2).
* Комбинации нагрузок и коэффициенты сочетаний приведены в NNA, которые могут включать более низкие скорости ветра в соответствии с опытом каждой страны. В отношении линий, превышающих номинальное напряжение сети переменного тока 1 кВ до 45 кВ переменного тока включительно, должны быть рассмотрены все сценарии комбинированных ветровых и ледовых нагрузок, если иное не указано в NNA.

Скорость ветра в зависимости от различных комбинаций возникает в каждом случае одновременно с вертикальной нагрузкой от фактической ледовой нагрузки.

Блок-схема 4.2 обобщает структуру подраздела 4.6 по комбинированным ветровым и ледовым нагрузкам.



Блок-схема 4.2 — Структура подраздела 4.6 по комбинированным ветровым и ледовым нагрузкам

4.6.2 Коэффициенты сопротивления среды и плотность льда

В таблице 4.5 приведены ориентировочные значения плотности различных типов льда, соответствующие диапазону значений коэффициента сопротивления среды. В качестве альтернативы, значения могут быть определены в NNA.

Прмечание − Значения таблицы 4.5 хорошо коррелируют с упрощенными методами расчета, предложенными настоящим стандартом. При необходимости, ISO 12494 дает рекомендации по определению более точных значений.

Таблица 4.5 — Коэффициенты сопротивления среды *CIc* и плотность льда *ρi* (кг/м3) для различных типов льда

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип льда | Мокрый снег | Наледь | Мягкая изморозь | Твердая изморозь |
| *Cic* | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,1 |
| *ρi* | 500 | 900 | 300 | 700 |

4.6.3 Среднее давление ветра и пиковое давление ветра

Среднее давление ветра *qIh(h)* (в Н/м2), связанное с обледенением, рассчитывается по 4.3.3:

где *ρ* – плотность воздуха в кг/м3 (см. 4.3.3);

*VIh(h)* − средняя скорость ветра на базовой высоте h над землей в соответствии с фактическим сочетанием, указанным в 4.6.1.

Пиковое давление ветра *qIp(h)* на высоте *h* над землей рассчитывается по 4.3.4:

где *qIh (h)* – среднее давление ветра (см. выше);

*Iv(h)* — интенсивность турбулентности (см. 4.3.4).

4.6.4 Эквивалентный диаметр *D* провода, покрытого льдом

Даже если форма ледяных отложений довольно неправильная, в настоящем стандарте принимается эквивалентная цилиндрическая форма с диаметром *D*:

где *d* – диаметр провода (м);

*I* − ледовая нагрузка на длину провода (N/m) в соответствии с фактической комбинацией, указанной в 4.6.1;

*ρI* – плотность льда в зависимости от типа обледенения (кг/м3) и коэффициента сопротивления среды (см. табл. 4.5).

4.6.5 Ветровые нагрузки на опоры для проводов, покрытых льдом

Сила ветра на обледенелых проводах аналогична указанной в 4.4.1 и выражается:

- в направлении траверсы:

- перпендикулярно траверсе:

где *qip(h)* − максимальное давление ветра, указанное в 4.6.3;

*h* − базовая высота, используемая для провода;

*Gc* − структурный коэффициент для провода (см. 4.4.1.2);

*Cic* − коэффициент сопротивления среды для обледенелых провода, указанный в 4.6.2;

*D* − эквивалентный диаметр обледенелого провода, указанный в 4.6.4;

*L1, L2* − длины двух соседних пролетов;θ

*Φ* − угол между направлением ветра и продольной осью траверсы, определенной на рисунке 4.1.а;

θ1, θ2 − (θ1+θ2)/2=θ − угол изменения направления линии, определенный на рис. 4.1.а.

Примечание − Для сочетаний нагрузки с номинальной скоростью ветра, значения, используемые для Gc, являются консервативными.

При расчете натяжения провода можно учитывать уменьшение влияния давления ветра за счет длины секции, если условия рельефа местности и высота провода над землей остаются неизменными; в таком случае может применяться коэффициент пролета, основанный на длине секции линии.

4.6.6 Сочетание скоростей ветра и ледовых нагрузок

4.6.6.1 Экстремальная ледовая нагрузка *IT* в сочетании со скоростью ветра высокой вероятности *VIH*

Экстремальная (или маловероятная) ледовая нагрузка *IT* с теоретическим периодом повторяемости *T* лет определена в B.3 или определяется как:

где

*γI* – частный коэффициент для ледовых нагрузок.

Связанная с обледенением скорость ветра высокой вероятности *VIH* равна *V3* с теоретическим периодом повторяемости *T*=3 года, как указано в B.2, и далее умножается на приведенный коэффициент *BI*:

или определяется как:

где *ΨW* − коэффициент сочетания для ветровых нагрузок.

*ΨW* включает влияние приведенного коэффициента *BI*. Приведенный коэффициент *BI* зависит от типа льда. Для мокрого снега *BI* равен 0,7, а для внутриоблачного обледенения равен 0,85. Соответственно, репрезентативное значение коэффициента сочетания воздействия ветра *ΨW*, равное 0,4, было введено в Таблицу 4.7.

4.6.6.2 Номинальная ледовая нагрузка *I3* в сочетании со скоростью ветра малой вероятности *VIL*

Номинальная (или высоковероятная) ледовая нагрузка *I3* с теоретическим периодом повторяемости 3 года определена в В.3 или определяется как:

где

*ΨI* — коэффициент сочетания для ледовых нагрузок.

В связи с обледенением, скорость ветра малой вероятности *VIL* определяется как экстремальная скорость ветра *VT* с повторяемостью *T* лет, приведенная в В.2, и далее умножается на приведенный коэффициент *BI* , приведенный в 4.6.6.1. выше, или находится как:

где

*γw* — частный коэффициент ветровой нагрузки.

Примечание 1 − Значения коэффициентов сочетания хорошо коррелируют с упрощенными методами расчета, предложенными настоящим стандартом.

Примечание 2 − ISO 12494 дает рекомендации по альтернативному методу с приведенным коэффициентом *k*, применяемому к ветровой нагрузке.

Примечание 3 − Дальнейшее упрощение может быть сделано странами, которые имеют опыт того, что одна или две из вышеупомянутых комбинаций никогда не являются критическими. В некоторых странах также может быть необходимо исследовать возможность скорости ветра высокой вероятности *VIH* и номинальной ледовой нагрузки *I3* в сочетании с экстремальными значениями коэффициента сопротивления среды и низкой плотностью льда.

Подход к проектированию, который использует трехлетнюю повторяемость нагрузки для одного метеорологического параметра, связанного с другим экстремальным параметром, предполагает, что явления льда и ветра происходят независимо друг от друга. Если имеющиеся статистические данные показывают иное в данном регионе, следует использовать модифицированные коэффициенты сочетания, основанные на статистике, даже если они ниже указанных.

4.7 Влияние температуры

Для воздушных ЛЭП, превышающих номинальное системное напряжение 45 кВ переменного тока, в целом могут применяться температурные эффекты в пяти различных расчетных ситуациях, как описано ниже. Они будут зависеть от других климатических воздействий, которые могут присутствовать:

а) минимальная температура, которую следует учитывать при отсутствии других климатических воздействий, если это уместно;

b) нормальная стандартная температура окружающей среды, принятая для условий экстремальной скорости ветра;

c) номинальная скорость ветра в сочетании с минимальными температурными условиями, которые необходимо учитывать, если это применимо;

d) температура, которую следует принимать при обледенении. Для обоих основных типов обледенения (обледенения из-за осадков и облачного обледенения) может использоваться температура 0°С, если не указано иное. Более низкую температуру следует учитывать в регионах, где после снегопада температура часто значительно падает;

e) температура, используемая для комбинации ветра и льда.

Ожидается, что более низкие минимальные температуры будут применяться для более длительных периодов повторяемости, *T*, указанных в таблице 3.1.

Соответствующие температуры и связанные с ними расчетные ситуации приведены в NNA.

4.8 Защитные нагрузки

4.8.1 Общие положения

Защитные нагрузки в этом стандарте указаны для минимальных требований к сопротивлению кручению и продольному сопротивлению опор путем определения нагрузок, удерживающих разрушение. Рассматриваемые нагрузки представляют собой соответственно односторонний сброс статического напряжения в проводе и обычные неуравновешенные перегрузки.

Национальные требования и правила расчета могут быть определены в NNA или Проектной спецификации.

В линиях с номинальным напряжением сети переменного тока 45 кВ и ниже учитывать защитные нагрузки не требуется, если это не указано в NNA или Проектной спецификации.

Примечание − Укрепление оттяжками проводов и заземляющих проводников (компактная линия) может быть учтено при расчете воздействия защитных нагрузок.

4.8.2 Скручивающие нагрузки

В любой точке заземляющего проводника или фазы должна быть приложена соответствующая остаточная статическая нагрузка, если таковая имеется, возникающая в результате ослабления натяжения фазного провода или расщепленного провода, или заземляющего проводника в смежном пролете. Снятие натяжения в нескольких расщепленных проводах или проводах может быть рассмотрено в одном и том же варианте нагрузки (для всех проводов) для более жестких условий.

Нагрузки и натяжения проводов могут быть рассчитаны при нормальной стандартной температуре окружающей среды без какой-либо ветровой или ледовой нагрузки и являются применимыми расчетными значениями. Это также относится ко всем незакрепленным заземляющим проводникам или фазным проводам. Более суровые климатические условия могут быть указаны в NNA или Проектной спецификации.

4.8.3 Продольные нагрузки

Продольные нагрузки должны прилагаться одновременно во всех точках крепления.

Нагрузки на опору должны быть равны неуравновешенным нагрузкам - производимым натяжением проводов во всех пролетах в одну сторону от опоры - при учете во всех пролетах в другую сторону фиктивной перегрузки, равной собственному весу проводов (при необходимости, с учетом коэффициента). В качестве альтернативы, нагрузки могут быть определены как одностороннее ослабление натяжения в проводах.

Нагрузки и натяжения проводов рассчитываются при нормальной стандартной температуре окружающей среды без какой-либо ветровой нагрузки и являются окончательными расчетными значениями. Более суровые климатические условия могут быть указаны в NNA или Проектной спецификации.

Примечание − Нагрузка, передаваемая на опору от провода, будет зависеть от степени свободы в месте крепления провода. Для проводов, поддерживаемых комплектами подвесных изоляторов стандартной длины, дифференциальные нагрузки обычно будут небольшими из-за качания струны.

4.8.4 Механические условия применения

Защитные нагрузки, полученные в соответствии с 4.8.2 и 4.8.3, для подвесных опор могут быть рассчитаны с учетом релаксации нагрузки, возникающей в результате любого раскачивания комплектов изоляторов, а также упругого отклонения или поворота опоры. Расчет обычно может выполняться для расчетного пролета секции линии.

Значения защитной нагрузки (вытекающие из 4.8.2 и 4.8.3) также могут быть ограничены устройствами, предназначенными для этой цели (например, скользящими зажимами).

В качестве альтернативы, защитная нагрузка может быть определена как часть натяжения провода следующим образом:

АК = β То

где

AK – характерное остаточное натяжение провода;

β − приведенный коэффициент натяжения провода;

T0 – начальное горизонтальное натяжение в проводе.

Могут быть выбраны различные p-факторы для охвата различных соответствующих условий в 4.8.2 и 4.8.3. К характерному остаточному натяжению провода может быть применен частный коэффициент.

4.9 Безопасные нагрузки

4.9.1 Строительные и эксплуатационные нагрузки

Опоры должны выдерживать все строительные и эксплуатационные нагрузки *QP*, которые могут быть возложены на них с достаточным запасом безопасности, принимая во внимание рабочие процессы, временные оттяжки, грузоподъемные устройства и т.д. Перенапряжение опоры должно быть предотвращено путем указания допустимых процедур и/или грузоподъемности.

Национальные требования могут быть определены в NNA.

4.9.2 Нагрузки, связанные с весом электромонтеров

Характерная монтажная и эксплуатационная нагрузка на траверсы должна быть не менее 1,0 кН, действующая вместе с постоянными нагрузками и, при необходимости, другими приложенными нагрузками. В случае решетчатых стальных конструкций, эти нагрузки должны действовать в отдельном наиболее неблагоприятном узле нижних поясов одной поверхности траверсы, а во всех остальных случаях - по оси траверс в месте крепления проводов.

Там, где установлены мостки или рабочие площадки, они должны быть рассчитаны на максимальные нагрузки. Требования могут быть указаны в NNA или в Проектной спецификации.

Для всех элементов, на которые можно подняться и которые наклонены под углом менее 30° к горизонтали, должна быть принята характерная нагрузка 1,0 кН, действующая вертикально в центре элемента без каких-либо других нагрузок. Дополнительные требования или меры предосторожности должны быть добавлены в случае предварительной сборки на земле.

Ступени (любого типа) должны быть рассчитаны на концентрированную характерную нагрузку 1,0 кН, действующую вертикально в конструктивно неблагоприятном положении.

4.10 Нагрузки от токов короткого замыкания

Следует учитывать воздействие сил, действующих на эти воздушные ЛЭП, являющиеся частью системы передачи с очень высокими характеристиками короткого замыкания. Информация по этому вопросу приведена в Приложении C.2.2. Национальные требования к нагрузкам, возникающим из-за токов короткого замыкания, должны быть определены в NNA или Проектной спецификации, если это необходимо.

4.11 Другие специальные нагрузки

4.11.1 Лавины, сползание снега

При прокладке воздушных ЛЭП в горных районах или через них, где они могут подвергаться сходу лавин или сползанию снега, следует учитывать возможные дополнительные нагрузки, которые могут воздействовать на опоры, фундаменты и/или провода. Некоторая информация по этому вопросу приведена в Приложении C.2.3. Национальные требования должны быть определены в NNA или Проектной спецификации, если это необходимо.

4.11.2 Землетрясения

При строительстве воздушных ЛЭП в сейсмически активных районах, необходимо учитывать нагрузки на линиях, возникающие в результате землетрясений и/или сейсмических толчков. Некоторая информация по этому вопросу приведена в Приложении C.2.4. Национальные требования должны быть определены в NNA или Проектной спецификации, если это необходимо.

4.12 Варианты нагрузок

4.12.1 Общие положения

Для воздушных ЛЭП, превышающих номинальное напряжение сети переменного тока 45 кВ, должны применяться следующие подразделы. Для воздушных ЛЭП, превышающих номинальное системное напряжение переменного тока 1 кВ до 45 кВ переменного тока включительно, в NNA должны быть указаны специальные правила.

При проектировании проводов, оборудования и опор, включая фундаменты в предельном состоянии по несущей способности, следует учитывать вариант нагрузки, обеспечивающий максимальное воздействие нагрузки на каждый отдельный элемент.

В тех случаях, когда внешняя составляющая нагрузки уменьшает напряжение в конкретном элементе или поперечном сечении, следует рассматривать особый вариант нагрузки, при котором составляющая нагрузки, вызывающая уменьшение, должна быть установлена на минимальное вероятное значение, в то время как другие составляющие нагрузки остаются неизменными.

Пример упомянутого выше эффекта возникает в портале опоры горизонтальной конфигурации. Ледяная нагрузка на средний провод вызывает уменьшение напряжения в середине портала, и следует рассматривать вариант нагрузки с минимальной ледовой нагрузкой в центре.

Другим примером является опора с оттяжками, в которой эксцентриситет на концах мачт с шарнирными соединениями вводится для уменьшения эффекта изгиба из-за ветровой нагрузки на мачту. Следует учитывать условия загрузки с минимальной ветровой нагрузкой на мачту.

Натяжение провода должно определяться в соответствии с нагрузками, действующими на провод в определенном варианте нагрузки. Должны учитываться составляющие натяжения провода в точках крепления опоры, в том числе влияние вертикальных и горизонтальных углов. Если первоначально цепи на многоцепной опоре или расщепленные провода пучков будут установлены лишь частично, это условие следует учитывать при проектировании.

Примечание − Натяжение провода обычно можно рассчитать, используя концепцию линейного пролета, при условии, что провод подвешен на комплектах изоляторов, допускающих необходимые отклонения в продольном направлении линии. Для достаточно ровных местностей, расчетный пролет *LR* определяется выражением:

где

*Ln* − горизонтальная длина отдельного пролета n секции линии.

Для линий, где отметки концов пролетов неодинаковы, расчетный пролет *LR* правильнее определять по выражению:

где

*Cn* – длина хорды отдельного пролета n секции линии.

Нагрузки на опоры должны быть правильно подобраны с учетом заданных грузоподъемностей и целевого назначения. Как правило, различают подвесные и натяжные опоры. Также может применяться комбинация этих типов опор, например опора соединения.

Требования в NNA могут относиться к вышеупомянутым типам опор, если применимо. Кроме того, могут потребоваться специальные опоры, например опоры высокого пересечения, для которых должны быть определены особые требования в Проектной спецификации.

4.12.2 Стандартные варианты нагрузок

Для контроля адекватной надежности и функционирования в условиях эксплуатации воздушной ЛЭП, в NNA должны быть определены варианты нагрузок, в том числе стандартные варианты нагрузок, указанные в таблице 4.6, и приведенные ниже опции.

Таблица 4.6 — Стандартные варианты нагрузок (нормативные)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант нагрузки | Нагрузка согласно подразделу | Условия | Примечание |
| 1а | 4.4 | Ветровые нагрузки | См. (a) |

*Окончание Таблицы 4.6*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант нагрузки | Нагрузка согласно подразделу | Условия | Примечание |
| 2a  2b  2c  2d | 4.5 | Равномерные ледовые нагрузки на всех пролетах Равномерные ледовые нагрузки, поперечный изгиб Неуравновешенные ледовые нагрузки, продольный изгиб. Неуравновешенные ледовые нагрузки, изгибное кручение | Если применимо, см. (b) См. (c)  Если применимо, см. (d) |
| 3 | 4.6 | Комбинированные ветровые и ледовые нагрузки | См. (е) |
| 4 | 4.7 | Минимальная температура с/без ветровой нагрузки | Если применимо |
| 5a  5b | 4.8.2  4.8.3 | Защитные нагрузки, скручивающие нагрузки Защитные нагрузки, продольные нагрузки | Могут применяться приведенные частные коэффициенты материала, как указано в разделах 7 и 8. |
| 6a  6b | 4.9.1  4.9.2 | Безопасные нагрузки, строительные и эксплуатационные нагрузки Безопасные нагрузки, нагрузки, связанные с весом электромонтеров |  |

Во всех вариантах нагрузок, должна быть включена вертикальная составляющая постоянных воздействий, как указано в 4.2. Если постоянные воздействия уменьшают влияние других воздействий, таких как подъем на фундамент, должно применяться минимальное значение постоянного воздействия, например, минимально допустимое отношение веса к ветровому пролету.

Если применимо и указано в Проектной спецификации, должны быть исследованы загружения, включающие нагрузки короткого замыкания или другие специальные нагрузки в соответствии с 4.10 и 4.11 соответственно.

Пункты (a) – (e) применяются, как указано в Таблице 4.6:

a) Следует учитывать направление ветра, перпендикулярное линии, и все другие углы, которые могут иметь решающее значение для конструкции.

Ветровая нагрузка на все пролеты в одном направлении от опоры, приводящая к продольным нагрузкам, может учитываться при расчете соответствующих опор, если это условие не учитывается должным образом другими определенными случаями нагрузки. (опционально)

b) В случае нагрузки *2b*, следует исследовать приведенную ледовую нагрузку, равную экстремальной ледовой нагрузке, умноженной на приведенный коэффициент а, на всех проводах на всех траверсах только с одной стороны опоры. Этот вариант нагрузки показан на рисунке 4.4. Если это условие нагрузки можно игнорировать, *α* определяется как 1. (опционально)

с) В случае нагрузки 2*с*, экстремальная ледовая нагрузка на все провода только в одном направлении от всех траверс опоры должна быть умножена на приведенный коэффициент *α* 1, а в другом направлении — на приведенный коэффициент *α2*. Этот вариант нагрузки показан на рисунке 4.5. (опционально)

d) В случае нагрузки 2*d*, экстремальная ледовая нагрузка на все провода на всех траверсах только с одной стороны опоры и только в одном направлении линии должна быть умножена на приведенный коэффициент *α3*. Для всех остальных проводов, характерную ледовую нагрузку следует умножить на приведенный коэффициент *α4*, чтобы обеспечить максимальное кручение.

Этот вариант нагрузки показан на рисунке 4.6. В противном случае, количество несбалансированных проводов может быть указано в NNA. Если это условие нагрузки может быть проигнорировано или иным образом учитывается в NNA с помощью других определенных вариантов нагрузки, *α* 3 и *α* 4 определяются как 1 (опционально).

e) Там, где этого требуют условия площадки, при проектировании соответствующих опор можно учитывать комбинированные неуравновешенные ветровые и ледовые нагрузки, при условии, что это условие не учитывается должным образом другими определенными вариантами нагрузки. Ледовая нагрузка и/или ветровая нагрузка должны прикладываться ко всем проводам только в одном направлении со всех траверс опоры, что приводит к возникновению продольных нагрузок (опционально).

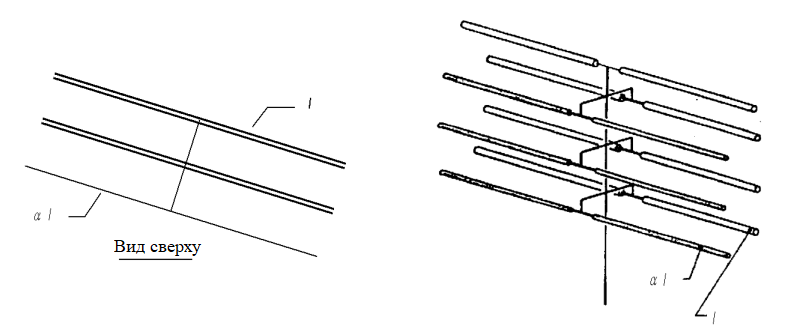
NNA должны указывать, должны ли применяться опциональные варианты нагрузок.

Неравномерная ледовая нагрузка обычно применяется до 3-х последовательных пролетов. Однако в NNA могут потребоваться приведенные ледовые нагрузки на всех пролетах с одной стороны опоры.

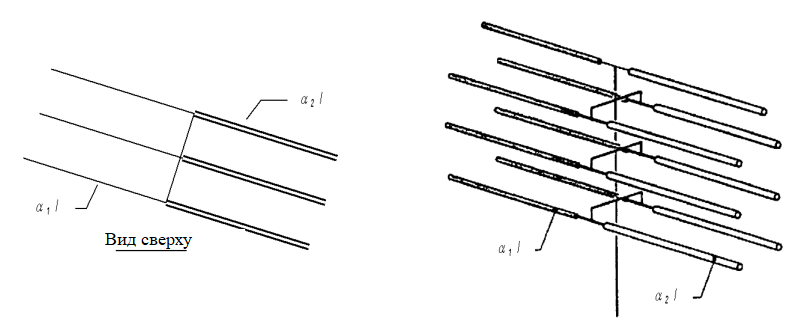
Если это не указано в NNA, упомянутые вышеприведенные коэффициенты, применяемые к ледовой нагрузке на длину провода (I), могут приниматься следующим образом:

α = 0,5; α1 = 0,3; α 2 = 0,7; α 3 = 0,3; α 4 = 0,7

При оценке продольных нагрузок на траверсы опоры натяжения, проектировщику дополнительно необходимо знать о приложенной неуравновешенной нагрузке, которая может проявляться, когда смежные эквивалентные пролеты значительно различаются. См. также 9.6.4 настоящего стандарта относительно расчетов "провисание-натяжение".



**Рисунок 4.4** — **Поперечный изгиб**

****

**Рисунок 4.5** — **Продольный изгиб**

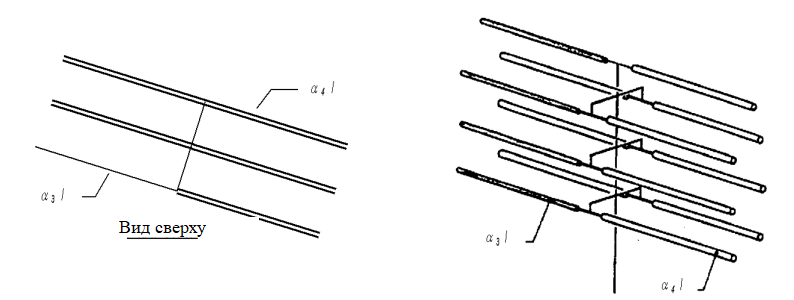
****

Рисунок 4.6 — Изгибное кручение

4.13 Частные коэффициенты для воздействий

Рекомендуемые значения частных коэффициентов *γ* и коэффициентов сочетания, *Ψ* для воздействий, определенных соответственно в 3.6.2 и 3.6.4, приведены в таблице 4.7.

Модифицированные факторы могут появляться в NNA. Что касается частных коэффициентов нагрузки по обеспечению безопасности для воздушных ЛЭП переменного тока, превышающих 1 кВ до 45 кВ переменного тока включительно, они применимы только в том случае, если они указаны в NNA.

Таблица 4.7 — Частные коэффициенты y и коэффициенты сочетания *Ψ* для воздействий в предельном состоянии по несущей способности

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Воздействие | Символ | Уровень надежности | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Переменные воздействия (климатические нагрузки): Экстремальная ветровая нагрузка Номинальная ветровая нагрузка Экстремальная ледовая нагрузка Номинальная ледовая нагрузка | *w*  Ψw  *1*  *Ψ1* | 1,0  0,4  1,0  0,35 | 1,2  0,4  1,25  0,35 | 1,4  0,4  1,5  0,35 |
| Постоянные воздействия:  Собственный вес | *γG* | 1,0 | | |
| Защитные нагрузки (случайные воздействия): Скручивающие нагрузки из-за натяжения провода  Продольные нагрузки из-за натяжения провода | *γA1*  *γA2* | 1,0  1,0 | | |
| Безопасные нагрузки  Строительные и эксплуатационные нагрузки а | *γP* | 1,5 | | |
| Частные коэффициенты воздействий, упомянутые выше, следует рассматривать в сочетании с частными коэффициентами свойств материалов, которые определены в других разделах настоящего стандарта. | | | | |
| а Значение комбинации воздействия ветра и льда можно принять за фактические нагрузки, которые могут возникнуть во время строительства и обслуживания. Часто, влиянием ветра и льда можно пренебречь. | | | | |

5 Электрические требования

5.1. Введение

Цель этого раздела − дать рекомендации по расчету электрических зазоров между фазами, а также между фазами и землей, чтобы выдерживать электрические нагрузки на воздушных ЛЭП. Выбор уровня выдерживаемой изоляции для достижения определенных рабочих характеристик линии рассматривается в разделе 10.

Внутренние зазоры должны гарантировать, что вероятность перекрытия в верхней части опоры и в середине пролета поддерживается на приемлемо низком уровне. Внешние зазоры для пересечения или смежных объектов должны гарантировать безопасность населения.

Внутренние и внешние зазоры должны быть скоординированы таким образом, чтобы перекрытия происходили в пределах воздушной ЛЭП, а не на людей или объекты вблизи линии.

Для достижения проектных целей, требуемые воздушные зазоры должны быть получены из электрических характеристик системы передачи путем различения промышленной частоты и импульсных перенапряжений. Метеорологические данные о скорости ветра и весе или толщине льда используются для определения положения комплектов проводников и изоляторов.

В этом разделе показано, как можно определить минимальные воздушные зазоры на отдельных и последовательных этапах. Ссылка делается на:

* теоретический метод, описанный в 5.5.2 и детализированный в Приложении E с общими формулами и примерами применения;
* эмпирический европейский метод, представленный в 5.5.3.

Численные значения минимальных воздушных зазоров, приведенные в таблицах 5.3–5.6 в этом разделе 5, применяются только к стандартным исходным условиям, касающимся конфигурации зазоров и высот. Приложение E позволяет корректировать эти значения для различных условий.

Подраздел 5.2 касается нормальных токов и токов короткого замыкания.

В подразделе 5.3 представлены принципы координации изоляции.

В подразделе 5.4 определяются электрические напряжения системы, такие как промышленная частота и импульсные перенапряжения.

Подраздел 5.5 касается минимальных воздушных зазоров между фазами, а также между фазами и землей, чтобы выдерживать электрические нагрузки.

В подразделе 5.6 рассматриваются варианты нагрузки для расчета электрических зазоров.

В подразделе 5.7 обобщается, как можно комбинировать случаи ветровой нагрузки и электрические напряжения.

Подраздел 5.8 включает таблицы 5.8 и 5.9 для определения внутренних зазоров в верхней части опоры и в середине пролета. (Приложение F дает эмпирический метод расчета зазоров между пролетами.)

Подраздел 5.9 включает таблицы с 5.10 по 5.15 для определения внешних зазоров, обеспечивающих безопасность населения.

Наконец, подразделы 5.10 и 5.11 касаются эффектов короны, электрических и магнитных полей.

Эти подразделы действительны для всех самонесущих конструкций и конструкций с оттяжками воздушных ЛЭП и всех конфигураций линий (вертикальных, горизонтальных, треугольных). Зазоры относятся к линиям, в которых используются неизолированные провода, изолированные провода или воздушные изолированные кабели.

Блок-схема 5.1 обобщает структуру раздела 5.

Безопасные расстояния во время работы под напряжением в настоящем стандарте не учитываются. Зазоры для работы под напряжением рассматриваются и рекомендуются IEC TC 78 и CENELEC TC 78.

Руководство по проектированию не предоставляется по следующим вопросам:

* дифференциальные провисания, вызванные дифференциальной ледовой нагрузкой;
* сброс льда;
* "пляска" проводов.

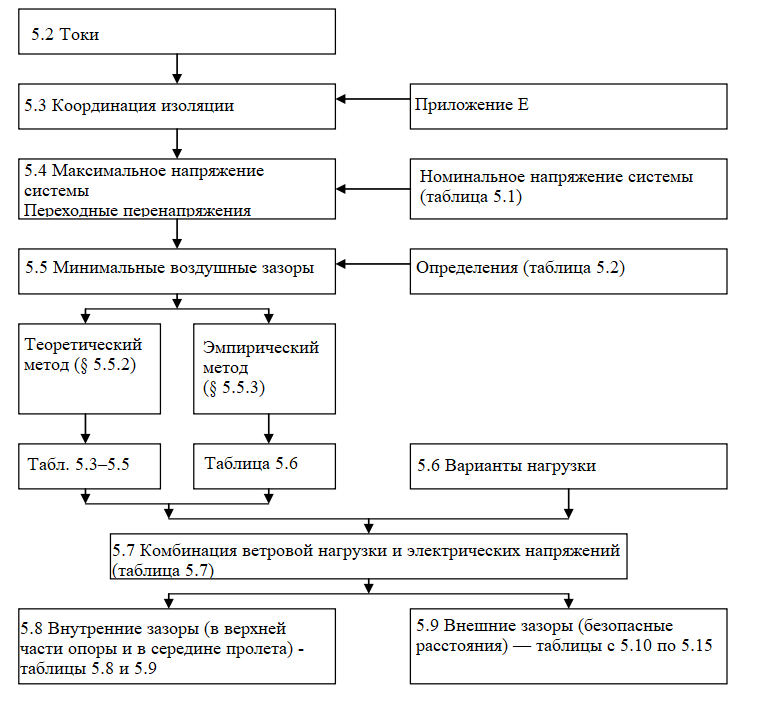


Рисунок 5.1 — Структура раздела 5 по электрическим требованиям

5.2 Токи

5.2.1 Нормальный ток

Нормальный ток зависит от величины передаваемой мощности и от рабочего напряжения. Поперечное сечение фазных проводов должно быть выбрано таким образом, чтобы максимальная расчетная температура проводящего материала не превышалась при определенных условиях, которые должны быть определены в NNA или Проектной спецификации.

5.2.2 Ток короткого замыкания

Воздушная ЛЭП должна быть спроектирована и возведена таким образом, чтобы без повреждений выдерживать механические и тепловые воздействия токов короткого замыкания, как указано в Проектной спецификации.

Ток короткого замыкания может быть:

* трехфазный;
* межфазный;
* однофазный на землю;
* двухфазный на землю.

Типовые значения продолжительности короткого замыкания для расчетных целей составляют:

* заземление и фазные провода 0,5 с;
* аксессуары 1,0 с.

Однако важно учитывать фактическую продолжительность, которая зависит от времени срабатывания системы защиты воздушной ЛЭП. Поэтому иногда продолжительность может быть больше или меньше, чем приведенные выше типичные значения.

Методы расчета токов короткого замыкания в трехфазных системах переменного тока приведены в EN 60909-0, а методы расчета эффектов тока короткого замыкания приведены в EN 60865-1. В качестве альтернативы, методы расчета могут быть указаны в NNA или Проектной спецификации.

5.3 Координация изоляции

Принципы и правила координации изоляции описаны в EN 60071-1 и EN 60071-2. Процедура координации изоляции включает выбор набора стандартных выдерживаемых напряжений, характеризующих изоляцию. В случае воздушной ЛЭП, процедура состоит из следующих шагов, как указано в расчетных формулах Приложения E.3:

* определение репрезентативных напряжений и перенапряжений *Urp* (описано в E.2.2);
* определение координационных выдерживаемых напряжений *Ucw* (описано в E.2.3);
* определение требуемых выдерживаемых напряжений для воздушного зазора *UК* (описано в Е.2.4);
* определение соответствующего просвета воздушного зазора *d* (описано в E.2.5); Приложение Е не применяют для линий с номинальным напряжением сети *Un* до 45 кВ переменного тока включительно.

5.4 Классификация напряжений и перенапряжений

5.4.1 Общие положения

Электрическая система обычно характеризуется номинальным напряжением сети. Системное напряжение представляет собой среднеквадратичное значение междуфазного напряжения промышленной частоты электрической системы.

Напряжения и перенапряжения, воздействующие на изоляцию в процессе эксплуатации, классифицируются следующим образом:

* напряжения промышленной частоты (приведены в 5.4.2);
* временные перенапряжения (приведены в 5.4.3);
* переходные перенапряжения или импульсные напряжения. Напряжения промышленной частоты непрерывны, в то время как перенапряжения носят временный или переходный характер.

Переходные перенапряжения классифицируются следующим образом:

* перенапряжения с медленным фронтом (см. 5.4.4);
* перенапряжения с быстрым фронтом (см. 5.4.5).

5.4.2 Репрезентативные напряжения промышленной частоты

Репрезентативное длительное напряжение промышленной частоты считается постоянным и равным наибольшему напряжению системы (*Us*), наибольшему значению рабочего напряжения, которое возникает при нормальных условиях эксплуатации в любое время и в любой точке системы. [IEV 601-01-23] (фазное напряжение).

Наибольшее напряжение для оборудования (*Um*) используется для уровня изоляции изоляторов и другого оборудования, подключенного к воздушной ЛЭП. Среди прочего, оно определяет уровень напряжения, при котором тестируются компоненты линии. Обратите внимание, что максимальное напряжение для оборудования не меньше, чем максимальное напряжение системы.

В таблице 5.1 приведены номинальные напряжения системы *Un*, соответствующие максимальные напряжения системы Us и максимальные напряжения для оборудования *Um*.

Таблица 5.1 — Номинальные напряжения системы и соответствующие максимальные напряжения системы, а также максимальные напряжения для оборудования в соответствии с EN 60038

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номинальное напряжение системы  Un  (кВ) | Максимальное системное напряжение  Us  (кВ) | Максимальное напряжение для оборудования (минимальное значение)  Um (кВ) |
| 3 | 3,6 | 3,6 |
| 6 | 7,2 | 7,2 |
| 10 | 12 | 12 |
| 15 | 17,5 | 17,5 |
| 20 | 24 | 24 |
| 22 | 24 | 24 |
| 30 | 36 | 36 |
| 35 | 40,5 | 40,5 |
| 45 | 52 | 52 |
| 66 | 72,5 | 72,5 |
| 69 | 72,5 | 72,5 |
| 90 | 100 | 100 |
| 110 | 123 | 123 |
| 115 | 123 | 123 |
| 132 | 145 | 145 |
| 138 | 145 | 145 |
| 150 | 170 | 170 |
| 154 | 170 | 170 |
| 220 | 245 | 245 |
| 230 | 245 | 245 |
| 300 или 362 или 420 | | 300 или 362 или 420 |
| 420 или 525 или 550 | | 420 или 525 или 550 |

*Окончание таблицы 5.1*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номинальное напряжение системы  Un  (кВ) | Максимальное системное напряжение  Us  (кВ) | Максимальное напряжение для оборудования (минимальное значение)  Um (кВ) |
| 765 или 800 | | 765 или 800 |
| 1100 или 1200 | | 1100 или 1200 |
| ПРИМЕЧАНИЕ: Номинальные напряжения системы свыше 230 кВ определяются национальными стандартами. | | |

5.4.3 Репрезентативные временные перенапряжения

Временные перенапряжения представляют собой колебательные перенапряжения промышленной частоты в данном месте относительно большой продолжительности, незатухающие или слабо затухающие [IEV 604-03-12]. Обычно они возникают из-за неисправностей, коммутационных операций (т. е. сброса нагрузки), условий резонанса, нелинейностей (феррорезонанс) или их комбинации. Репрезентативное временное перенапряжение представляет собой напряжение в течение одной минуты на частоте сети, но обычно не учитывается при определении электрических зазоров в линии.

5.4.4 Репрезентативные перенапряжения с медленным фронтом

Перенапряжения с медленным фронтом могут быть вызваны неисправностями, коммутационными операциями или удаленными прямыми ударами молнии в воздушные ЛЭП. Перенапряжения с медленным фронтом, важные для воздушных ЛЭП, - это перенапряжения замыкания на землю, перенапряжения включения и повторного включения. Репрезентативное нагрузка напряжением характеризуется:

* стандартная форма волны коммутационного импульса (250/2 500 мкс),
* репрезентативная амплитуда, которая может быть либо предполагаемым максимальным перенапряжением, либо выводиться из вероятностного распределения амплитуд перенапряжения.

5.4.5 Репрезентативные перенапряжения быстрого фронта

Перенапряжения быстрого фронта, важные для воздушных ЛЭП, представляют собой в основном грозовые перенапряжения из-за прямых ударов в фазные провода или обратных перекрытий или, в более низком диапазоне напряжения сети (< 245 кВ), напряжения, индуцированные ударами молнии на землю вблизи линии.

Репрезентативное перенапряжение характеризуется стандартной формой волны грозового импульса (1,2/50 мкс). Репрезентативная амплитуда задается либо как предполагаемый максимум, либо как вероятностное распределение пиковых значений. Для целей определения воздушных зазоров репрезентативным перенапряжением, которое следует учитывать, является такое перенапряжение, которое может распространяться за пределы нескольких опор от точки удара молнии.

Характеристику молниезащиты воздушных линий можно описать скоростью перекрытия при отказе защиты, *Rsf*, и скоростью обратного перекрытия, *Rb*. Она устанавливается по эксплуатационным соображениям и зависит от прочности изоляции линии и следующих параметров:

* плотность вспышки молнии на земле;
* высота воздушной ЛЭП;
* конфигурация провода;
* защита заземляющим проводом(-ами);
* заземление опоры;
* установка разрядников на воздушной ЛЭП.

Приемлемые уровни скорости перекрытия при отказе защиты и скорости обратного перекрытия могут быть определены в Проектной спецификации.

Примечание − Руководство по расчету скорости перекрытия при отказе защиты (*Rsf*) и скорости обратного перекрытия (*Rb*) приведено в Технической брошюре CIGRE № 63 «Руководство по процедурам оценки молниезащиты ЛЭП»: в разделе 4 рассматриваются *Rsf* и раздел 6 с *Rb*.

5.5 Минимальные воздушные зазоры во избежание перекрытия

5.5.1 Общие положения

В настоящем стандарте рассматриваются четыре типа минимальных воздушных зазоров. Они сведены в Таблицу 5.2.

Таблица 5.2 — Минимальные воздушные зазоры

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Минимальные воздушные зазоры | | |
|  | Минимальный воздушный зазор, необходимый для предотвращения разрушительного разряда между | |
|  | фазными проводами и объектами с потенциалом земли | фазные провода |
| во время быстрых или медленных перенапряжений | *Del* | *Dpp* |
| при напряжении промышленной частоты | *D50Hz\_p\_e* | *D50Hz\_p\_p* |

*Del* может быть:

* внутренний зазор при рассмотрении зазоров между проводом и конструкцией опоры или заземляющим проводом, или
* внешний зазор при рассмотрении зазоров между проводом и препятствием.

*Dpp, D50Hz\_p\_e*и *D50Hz\_p\_p*− это только внутренние зазоры. Тем не менее, зазор *Dpp*также может быть внешним, если учитываются зазоры до других ЛЭП или телекоммуникационных линий (см. 5.9.6).

Для получения *Del* и *Dpp*, рекомендуется использовать один из следующих методов:

* Теоретический метод, описанный в 5.5.2 и детализированный в Приложении E;
* Эмпирический метод, основанный на европейском опыте, описанный в 5.5.3. Приложение E не применяется для линий с номинальным напряжением системы до 45 кВ переменного тока включительно.

5.5.2 Применение теоретического метода в приложении E

В приложении E приведен теоретический метод определения для каждого типа переходного перенапряжения (быстрого фронта и медленного фронта) и для напряжения промышленной частоты минимального воздушного зазора, необходимого для обеспечения требуемого выдерживаемого напряжения для определенных конфигураций воздушного зазора и заданного диапазона высоты. Временные перенапряжения не учитываются.

При применении теоретического метода, можно использовать либо таблицы 5.3, 5.4 или 5.5 для стандартных исходных условий (для конфигураций зазоров и высоты), либо общие формулы в таблице Е.5 Приложения Е для условий, выходящих за рамки стандартных условий.

Численные приложения формул таблицы Е.5 приложения Е приведены соответственно в таблице 5.3 и таблице 5.4 для общего случая расстояний между проводником и землей, Del с коэффициентом зазора, *Kg* = 1,3, и расстояний между фазными проводами, *Dpp* с коэффициентом зазора, *Kg* = 1,6, необходимом для выдерживания соответственно перенапряжений быстрого фронта вследствие грозового разряда и перенапряжения медленного фронта вследствие коммутации.

Численное применение формул таблицы Е.5 приложения Е приведено в таблице 5.5 для общего случая расстояний между проводом и землей, *D50Hz\_p\_e*с коэффициентом зазора, *Kg* = 1,45, и расстояний между фазными проводами, *D50Hz\_p\_р* с коэффициентом зазора, *Кg* = 1,6, необходимым для выдерживания напряжений промышленной частоты.

Примечание − Коэффициент зазора *Kg,* используемый для расчета значений в таблицах 5.3, 5.4 и 5.5, в каждом случае равен *Kgsf*. Значение *Kgsf* можно просмотреть в приложении E.

В приложении E.5 приведены примеры расчета *Del*, *Dpp* и *D50Hz* для различных самых высоких напряжений системы.

Эти примеры охватывают большинство случаев, которые могут возникнуть на практике. Существует много возможных расстояний дуги. Соответствующие выдерживаемые напряжения не совпадают со стандартными импульсными напряжениями, указанными для оборудования в EN 60071-1. В соответствии с различными возможными формами изоляторов и дугогасительных устройств, уровень изоляции линии, необходимый для этого приложения, может иметь множество значений, даже выходящих за рамки списка стандартных импульсных выдерживаемых напряжений, приведенных для оборудования в EN 60071-1.

Все эти минимальные воздушные зазоры основаны исключительно на требованиях по координации изоляции. Другие требования могут привести к значительному увеличению зазоров. Другие значения должны быть указаны в NNA вместе с объяснением их получения.

Таблица 5.3 — Минимальные воздушные зазоры *Del* и *Dpp*, выдерживающие грозовые перенапряжения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Типичное выдерживаемое грозовое напряжение *U90 %\_ff\_is* линейных изоляторов (кВ) | *Del* (m)  *Kg* = 1,3  *ka* (1000 м) | *Dpp (m) Kg* =1,6  *ka* (1000 м) |
| 250 | 0,48 | 0,54 |
| 300 | 0,58 | 0,65 |
| 350 | 0,67 | 0,74 |
| 400 | 0,77 | 0,85 |
| 450 | 0,85 | 0,96 |

*Продолжение Таблицы 5.3*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Типичное выдерживаемое грозовое напряжение *U90 %\_ff\_is* линейных изоляторов (кВ) | *Del* (m)  *Kg* = 1,3  *ka* (1000 м) | *Dpp* (m) *Kg* =1,6  *ka* (1000 м) |
| 500 | 0,95 | 1,06 |
| 550 | 1,04 | 1,17 |
| 600 | 1,14 | 1,26 |
| 650 | 1,23 | 1,37 |
| 700 | 1,33 | 1,47 |
| 750 | 1,41 | 1,58 |
| 800 | 1,50 | 1,68 |
| 850 | 1,60 | 1,79 |
| 900 | 1,69 | 1,89 |
| 950 | 1,78 | 2,00 |
| 1 000 | 1,88 | 2,08 |
| 1 050 | 1,97 | 2,19 |
| 1 100 | 2,05 | 2,29 |
| 1 150 | 2,14 | 2,40 |
| 1 200 | 2,23 | 2,50 |
| 1 250 | 2,33 | 2,60 |
| 1 300 | 2,42 | 2,71 |
| 1 350 | 2,51 | 2,81 |
| 1 400 | 2,61 | 2,92 |
| 1 450 | 2,70 | 3,02 |
| 1 500 | 2,79 | 3,13 |
| 1 550 | 2,89 | 3,23 |
| 1 600 | 2,98 | 3,33 |
| 1 650 | 3,07 | 3,44 |
| 1 700 | 3,17 | 3,54 |
| 1 750 | 3,26 | 3,65 |
| 1 800 | 3,35 | 3,75 |

*Окончание Таблицы 5.3*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Типичное выдерживаемое грозовое напряжение *U90 %\_ff\_is* линейных изоляторов (кВ) | *Del* (m)  *Kg* = 1,3  *ka* (1000 м) | *Dpp* (m) *Kg* =1,6  *ka* (1000 м) |
| 1 850 | 3,45 | 3,86 |
| 1 900 | 3,54 | 3,96 |
| 1 950 | 3,63 | 4,06 |
| 2 000 | 3,72 | 4,17 |
| 2 050 | 3,82 | 4,27 |
| 2 100 | 3,91 | 4,38 |
| 2 150 | 4,00 | 4,48 |
| В этой таблице приведены числовые значения зазоров на высоте 1000 м над уровнем моря. Если высота значительно ниже или выше 1000 м, безопасные зазоры могут быть скорректированы с использованием атмосферного фактора ka, приведенного в таблице E.3. | | |

Таблица 5.4 — Минимальные воздушные зазоры *Del* и *Dpp*,

выдерживающие коммутационные перенапряжения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Репрезентативное коммутационное перенапряжение  *U2%\_sf,* (кВ) | *Del* (m)  *Kg* = 1,3  *ka* (1 000 m) | *Dpp* (m)  *Kg* = 1,6  *ka* (1 000 m) |
| 400 | 0,88 | 1,02 |
| 450 | 1,01 | 1,18 |
| 500 | 1,14 | 1,32 |
| 550 | 1,29 | 1,49 |
| 600 | 1,44 | 1,67 |
| 650 | 1,59 | 1,86 |
| 700 | 1,73 | 2,06 |
| 750 | 1,90 | 2,24 |
| 800 | 2,07 | 2,45 |
| 850 | 2,25 | 2,67 |
| 900 | 2,44 | 2,91 |
| 950 | 2,64 | 3,15 |
| 1 000 | 2,84 | 3,41 |
| 1 050 | 3,02 | 3,68 |

*Окончание Таблицы 5.4*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Репрезентативное коммутационное перенапряжение  *U2%\_sf,* (кВ) | *Del* (m)  *Kg* = 1,3  *ka* (1 000 m) | *Dpp* (m)  *Kg* = 1,6  *ka* (1 000 m) |
| 1 100 | 3,24 | 3,96 |
| 1 150 | 3,47 | 4,26 |
| 1 200 | 3,71 | 4,57 |
| 1 250 | 3,96 | 4,90 |
| 1 300 | 4,22 | 5,24 |
| 1 350 | 4,49 | 5,60 |
| 1 400 | 4,77 | 5,97 |
| 1 450 | 5,06 | 6,36 |
| 1 500 | 5,37 | 6,78 |
| 1 550 | 5,69 | 7,21 |
| 1 600 | 6,02 | 7,66 |
| 1 650 | 6,37 | 8,14 |
| 1 700 | 6,73 | 8,63 |
| 1 750 | 7,11 | 9,16 |
| 1 800 | 7,50 | 9,70 |
| В этой таблице приведены числовые значения зазоров на высоте 1000 м над уровнем моря. Если высота значительно ниже или выше 1000 м, безопасные зазоры могут быть скорректированы с использованием атмосферного фактора *ka*, приведенного в таблице E.3. | | |

Таблица 5.5 — Минимальные воздушные зазоры, необходимые для выдерживания напряжения промышленной частоты (для использования в экстремальных ветровых условиях)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Максимальное системное напряжение  *Us*  (кВ) | *D50Hz\_p\_e* (m)  *Kg* = 1,45  провод-конструкция | *D50Hz\_p\_p* (m)  *Kg* = 1,60  провод к проводу |
| 52 | 0,11 | 0,17 |
| 72,5 | 0,15 | 0,23 |
| 100 | 0,19 | 0,30 |
| 123 | 0,23 | 0,37 |
| 145 | 0,27 | 0,42 |
| 170 | 0,31 | 0,49 |

*Окончание таблицы 5.5*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Максимальное системное напряжение  *Us*  (кВ) | *D50Hz\_p\_e* (m)  *Kg* = 1,45  провод-конструкция | *D50Hz\_p\_p* (m)  *Kg* = 1,60  провод к проводу |
| 245 | 0,43 | 0,69 |
| 300 | 0,51 | 0,83 |
| 420 | 0,70 | 1,17 |
| 525 | 0,86 | 1,47 |
| 765 | 1,28 | 2,30 |

5.5.3 Эмпирический метод, основанный на европейском опыте

Значения, приведенные в таблице 5.6, основаны на анализе широко используемых европейских значений для спецификации внешних зазоров, которые оказались достаточными для обеспечения безопасности для населения.

При использовании этих значений должно быть проверено, что расчетное расстояние до человека или объекта превышает 110 % *asom* (минимальный разрядный промежуток между токоведущими и заземленными частями) в момент возникновения перенапряжения. В большинстве случаев это достигается с помощью рассмотрения вероятностей. NNA могут определить это более подробно.

Таблица 5.6 — Минимальные воздушные зазоры *Del* и *Dpp*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Максимальное напряжение системы *Us*  (кВ) | *Del*  (м) | *Dpp*  (м) |
| 3,6 | 0,08 | 0,10 |
| 7,2 | 0,09 | 0,10 |
| 12 | 0,12 | 0,15 |
| 17,5 | 0,16 | 0,20 |
| 24 | 0,22 | 0,25 |
| 36 | 0,35 | 0,40 |
| 52 | 0,60\* | 0,70 |
| 72,5 | 0,70 | 0,80 |
| 100 | 0,90 | 1,05 |
| 123 | 1,00 | 1,15 |
| 145 | 1,20 | 1,40 |
| 170 | 1,30 | 1,50 |

*Окончание таблицы 5.6*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Максимальное напряжение системы *Us*  (кВ) | *Del*  (м) | *Dpp*  (м) |
| 245 | 1,70 | 2,00 |
| 300 | 2,10 | 2,40 |
| 420 | 2,80 | 3,20 |
| 525 | 3,50 | 4,00 |
| 765 | 4,90 | 5,60 |
| \* Значение *Del* = 0,48 м указано в EN 60071-1.  *D50\_Hz\_p\_p* и *D50\_Hz\_p\_e* могут быть определены в NNA. | | |

5.6 Варианты нагрузки для расчета зазоров

5.6.1 Условия нагрузки

Для определения электрических зазоров необходимо учитывать следующие условия нагрузки:

* максимальная температура провода (указанная в 5.6.2);
* ветровые нагрузки (приведены в 5.6.3);
* ледовые нагрузки (приведены в 5.6.4);
* Комбинированные ветровые и ледовые нагрузки (приведены в 5.6.5).

В угловой подвесной опоре с короткими пролетами также следует учитывать минимальную температуру провода.

5.6.2 Максимальная температура провода

Все внутренние и внешние вертикальные зазоры должны основываться на максимальной продолжительной температуре эксплуатации проводов, указанной в NNA или в Проектной спецификации (см. также Раздел 9 о проводах).

В этих случаях страны могут пожелать рассмотреть возможность краткосрочной более высокой температурной нагрузки и уменьшения зазоров. Требования должны быть указаны в NNA или проектной спецификации.

5.6.3 Ветровые нагрузки для определения электрических зазоров

5.6.3.1 Случаи ветровой нагрузки

Должны быть рассмотрены три случая ветровой нагрузки:

* неподвижный воздух;
* номинальная ветровая нагрузка для средней скорости ветра за 10 минут с повторяемостью 3 года;
* экстремальная ветровая нагрузка для 10-минутной средней скорости ветра с эталонным 50-летним периодом повторяемости.

Номинальные и предельные ветровые нагрузки на комплекты проводников и изоляторов для 10-минутной средней скорости ветра приведены в 4.3.5.

Поскольку необходимо учитывать среднюю скорость ветра, в формулах 4.3.5 вместо *qp* используется *qh* с *Gx* = 1.

Национальные требования должны быть определены в NNA. При ветровой нагрузке температура провода будет снижаться. Снижение температуры зависит от электрической нагрузки, скорости и направления ветра, температуры окружающей среды и т.д. Проектировщик может учитывать эти параметры при расчете фактического положения провода.

В условиях неподвижного воздуха (максимальная температура или лед без ветра), внутренние зазоры должны быть больше, чем Del или Dpp.

Номинальные и предельные ветровые нагрузки рассматриваются в следующих подразделах. Как правило, экстремальная ветровая нагрузка не учитывается для внешних зазоров.

5.6.3.2 Номинальные ветровые нагрузки для определения внутренних и внешних зазоров

При номинальных ветровых условиях, внутренние зазоры могут быть уменьшены, потому что вероятность перенапряжения в этих условиях очень мала. Степень уменьшения внутренних зазоров должна определяться Национальным комитетом и отражать требуемую вероятность перекрытия линии. Национальные требования должны быть определены NNA. Для расчета ветровой нагрузки для этого условия, следует использовать трехлетний период повторяемости со средней скоростью ветра за 10-минутный период.

5.6.3.3 Экстремальные ветровые нагрузки для определения внутренних зазоров

В экстремальных ветровых условиях, когда одновременное возникновение кратковременного перенапряжения считается приемлемым небольшим, внутренние зазоры должны выдерживать самое высокое системное напряжение между фазой и землей в системах с непосредственно заземленной нейтралью с коэффициентом замыкания на землю 1,3 и ниже. Для более высоких коэффициентов замыкания на землю и особенно в изолированных системах и системах с резонансно-заземленной нейтралью может потребоваться учет переходных перенапряжений. Для расчета ветровой нагрузки для этих условий следует использовать эталонный 50-летний период повторяемости со средней скоростью ветра за 10-минутный период.

5.6.4 Ледовые нагрузки для определения электрических зазоров

Должен быть рассмотрен один вариант ледовой нагрузки:

* экстремальная ледовая нагрузка за эталонный 50-летний период повторяемости.

Предельные ледовые нагрузки на провода приведены в приложении В.3, а также в 4.6.6.1. Национальные требования должны быть определены NNA.

5.6.5 Комбинированные ветровые и ледовые нагрузки

В некоторых странах следует учитывать комбинированные ветровые и ледовые нагрузки. Методы расчета этих вариантов нагрузок должны быть определены в NNA.

Также общепризнано, что для создания экономичных проектов сетей электропередачи, проектировщик должен оптимизировать проект для прогнозируемого диапазона климатических условий, таких как скорость ветра и ледовая нагрузка. Происходят исключительные метеорологические явления, и в этих обстоятельствах считается приемлемым не применять зазоры, указанные в этом пункте. В этих исключительных условиях, безопасность людей имеет первостепенное значение, и для ее обеспечения следует искать альтернативные средства. Считается, что «исключительным» в данном контексте является один раз в более чем 50 лет.

5.7 Координация положений проводов и электрических напряжений

В этом подразделе обобщается, каким образом промышленная частота и импульсные перенапряжения из подразделов 5.4 и 5.5 могут сочетаться с вариантами ветровой нагрузки из подраздела 5.6. В таблице 5.7 рассмотрены два случая.

Случай А - В "неподвижном воздухе" или при номинальной скорости ветра должен быть достаточный зазор, чтобы выдержать грозовые или коммутационные импульсные перенапряжения с вероятностью более 90 %.

Случай B - При экстремальной скорости ветра зазоры должны быть достаточными, чтобы выдерживать только напряжение промышленной частоты. Вероятность перекрытий зависит от вероятности появления соответствующей скорости ветра. Как правило, этот случай B не рассматривается для внешних зазоров.

Таблица 5.7 — Согласование положений проводов и электрических напряжений

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | Положение провода и изолятора | |
|  | |  | Малый или нулевой угол поворота | Большой угол поворота (только для внутренних зазоров) |
|  | |  | Неподвижный воздух или номинальная скорость ветра при  *T* = 3 года | Экстремальная скорость ветра с  *T* = 50 лет |
|  | | Вероят- ность | Высокая | Низкая |
| Электрические напряжения воздушного зазора | Грозовое/коммутационное импульсное напряжение | Низкая | Случай А | Не рассматривается |
| Напряжение промышленной частоты | Высокая | Покрывается случаями A и B | Случай В |

Номинальная ледовая нагрузка также может рассматриваться как случай А, указанный выше.

В NNA могут быть предусмотрены иные подходы к определению положения комплектов проводников и изоляторов.

Примечание

1 Углы поворота из-за ветровой нагрузки на провода и комплекты изоляторов зависят от отношения ветрового пролета к весовому пролету. В технической брошюре Cigre № 348 «Геометрия вершины опоры и зазоры в середине пролета» приводятся соответствующие формулы и метеорологические условия (температура, ветер, лед) для определения углов поворота комплектов изоляторов в верхней части опоры и провода в середине пролета, чтобы связать их с соответствующими внутренними электрическими зазорами.

2 Согласно технической брошюре Cigre № 348 «Геометрия вершины опоры и зазоры в середине пролета», средний угол поворота изолятора, установленного при заданном воздействии ветра, может быть надежно рассчитан на основе формулы (2.14) с использованием средней скорости ветра, усредненной по 5 минут до 10 минут, при этом 5 минут являются консервативным значением. Средний угол поворота провода определяется формулой (2.15).

5.8 Внутренние зазоры в пролете и на вершине опоры

Внутренние зазоры включают расстояния между фазами, а также между фазами и землей. Для внутренних зазоров различают:

* Зазор между фазными проводами;
* Зазоры между фазным проводом и заземляющим проводом или заземленными частями опоры.

Внутренние зазоры проверяются:

* В верхней части опоры;
* В пролете, особенно в его середине.

Минимальные зазоры в пролете и на вершине опоры для воздушной ЛЭП с номинальным напряжением сети более 45 кВ переменного тока указаны в таблице 5.8. Для воздушной ЛЭП с номинальным напряжением сети от 1 кВ переменного тока до 45 кВ переменного тока включительно, минимальные внутренние зазоры приведены в таблице 5.9.

Минимальные внутренние зазоры определяются с технической точки зрения. Допускается, что в Национальных нормах могут использоваться разные значения (как более высокие, так и более низкие), и они должны быть указаны в NNA. В качестве альтернативы, в Приложении F описан эмпирический метод расчета зазоров между средними пролетами в неподвижном воздухе, учитывающий углы поворота.

Минимальные внутренние зазоры, указанные в таблице 5.8, предназначены исключительно для расчета допустимого зазора, чтобы выдерживать перенапряжения. (В EN 60071-2 и EN 60071-1 принято, что экономичная конструкция электросети будет иметь ограниченное количество перекрытий через некоторые из критических внутренних зазоров, например, между проводами и опорой). Для внутренних зазоров допускается использовать более низкие значения, чем Del и Dpp, поскольку это влияет только на электрическую надежность сети. Существует лишь небольшая вероятность того, что в этих условиях возникнет перенапряжение, а возникновение перекрытия не приведет к опасности для людей или имущества. Внутренние зазоры k1 Del и k1 Dpp определены в NNA.

Для воздушных линий с номинальным напряжением сети от 1 кВ переменного тока до 45 кВ переменного тока включительно (в отношении воздушных ЛЭП с неизолированными и изолированными проводами, а также воздушных изолированных кабельных систем) в качестве электрического зазора следует использовать расстояние, на котором электрическая цепь считается способной выдержать грозовое перенапряжение. Однако в этих случаях, минимальные зазоры должны применяться только для спецификации внутренних зазоров компонентов воздушной ЛЭП. Другие методы могут быть определены в NNA для расчета зазоров в пролете.

Таблица 5.8 — Минимальные внутренние зазоры в пролете и на вершине опоры (для линий с номинальным напряжением сети > 45 кВ)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Зазоры: в пролете и на вершине опоры | | | |  |
|  | В пределах пролета | | На вершине опоры | |  |
| Вариант нагрузки | Фазный провод - фазный провод | Фазный провод - заземляющий проводник | Между фазами и/или цепями | Между фазными проводами и заземленными частями | Примечания |
| Максимальная температура провода | *Dpp* | *Del* | *Dpp* | *Del* | Условия нагрузки в неподвижном воздухе |
| Экстремальная ледовая нагрузка | *Dpp* | *Del* | *Dpp* | *Del* | Условия нагрузки в неподвижном воздухе |
| Номинальная ветровая нагрузка | *k1 Dpp* | *k1 Del* | *k1 Dpp* | *k1 Del* | *k1* должен быть определен в NNA. |
| Экстремальная ветровая нагрузка | *D50 Hz\_p\_p* | *D50\_Hz\_p\_e* | *D50\_Hz\_p\_p* | *D50\_Hz\_p\_e* |  |
| Если крепление заземляющего провода к опоре выше крепления фазного провода, то заземляющий провод не должен провисать ниже фазного провода. | | | | | |
| Если необходимо рассмотреть линии с одинаковыми проводами (одинаковая площадь поперечного сечения, материал, конструкция и провисание), существуют приблизительные методы для расчета требуемого зазора в пределах пролета в условиях безветренной погоды, чтобы гарантировать, что зазоры не нарушаются и в ветреную погоду (см. Приложение). F.1). | | | | | |

Таблица 5.9 — Минимальные внутренние зазоры в пролете и на вершине опоры (для линий с номинальным напряжением сети > 1 кВ и < 45 кВ)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | **Зазоры: в пролете и на вершине опоры**  m | | | | | | |  |  |  |  |
|  | **В пределах пролета** | | | | | | **На вершине опоры** | | | | | |  |
| Вариант нагрузки | Фазный провод - фазный провод | | | Фазный провод - заземляющий провод | | | Между фазами и/или цепями | | | Между фазными проводами и заземленными частями | | | **Примечания** |
| Система защиты | B | С | I | B | С |  | B | С | I | B | С | I |  |
| Максимальная температура провода | Dpp | 0,25 | - | Del | 0,2 | - | Dpp | 0,25 | 2 d | Del | 0,2 | 0,1 | Условия нагрузки в неподвижном воздухе |
| Экстремальная ледовая нагрузка | Dpp | 0,25 | - | Del | 0,2 | - | Dpp | 0,25 | 2 d | Del | 0,2 | 0,1 | Условия нагрузки в неподвижном воздухе |
| Номинальнаяветровая нагрузка | Dpp k1 | 0,25 k1 | - | Del k1 | 0,2 k- | - | Dpp k1 | 0,25 k1 | 2 d k- | Del k1 | 0,2 k1 | 0,1 k1 | Коэффициент k1 должен быть определен в NNA |
| Экстремальная ветровая нагрузка | Dpp k1 | 0,07 | - | Del k1 | - | - | Dpp k1 | - | - | Del k1 | - | - | Коэффициент k1 должен быть определен в NNA |
| Изолированная линия: Зазор между цепями: d — диаметр изолированного кабеля/линии. | | | | | | | | |  |  |  |  |  |
| Если крепление заземляющего провода к опоре выше крепления фазного провода, то заземляющий провод не должен провисать ниже фазного провода. | | | | | | | | | | | | | |
| Если изолированные провода не изолированы на опоре, т. е. с помощью проникающих зажимов, должны применяться минимальные зазоры, указанные в таблице 5.6. | | | | | | | | | | | | | |
| Если необходимо рассмотреть линии с одинаковыми проводами (одинаковая площадь поперечного сечения, материал, конструкция и провисание), существуют приблизительные методы для расчета требуемого зазора в пределах пролета в условиях безветренной погоды, чтобы гарантировать, что зазоры не будут нарушены и в ветреную погоду (см. F.1). | | | | | | | | | | | | | |
| ПРИМЕЧАНИЕ: Кодировка заголовков вышеприведенных столбцов следующая: **B** = неизолированные провода; **C** = изолированные провода; и **I** = изолированная кабельная система. | | | | | | | | | | | | | |

5. 9 Внешние зазоры

5.9.1 Общие положения

Внешние зазоры предназначены для предотвращения опасности для населения, лиц, выполняющих работы вблизи линий электропередач, и лиц, обслуживающих электросети, из-за электрического разряда.

Цель этих значений внешнего зазора состоит в том, чтобы гарантировать, что любая часть тела человека или любой объект, который он, как можно разумно ожидать, будет нести, не будет приближаться ближе, чем на расстояние Del от провода под напряжением.

Рассматриваются следующие случаи:

а) Расстояние до земли в районах, удаленных от зданий, автомобильных, железных дорог и судоходных путей (табл. 5.10);

b) Расстояние до жилых и других зданий, когда линия проходит над зданиями или рядом с ними, или вблизи антенны или подобных сооружений (см. Таблицу 5.11);

с) Расстояние до линий пересечения автомобильных, железных дорог и судоходных путей (см. табл. 5.12);

d) Расстояние до линии, примыкающей к автодорогам, железным дорогам и судоходным путям (см. табл. 5.13);

е) Расстояние до линии, пересекающей или параллельной другим ЛЭП или воздушным линиям связи (см. таблицу 5.14);

f) Расстояние до зон отдыха, линии, находящейся выше и в непосредственной близости (см. Таблицу 5.15).

Для внешних зазоров следует использовать Del. В случае e) выше используется Dpp.

Дополнительный безопасный зазор необходим для земли или зданий и т.д., который предназначен для обеспечения того, чтобы ни один человек или проводящий объект не попали на электрическое расстояние Del, даже когда они выполняют работу или проводят досуг, которые можно предвидеть как разумно вероятные. Проектировщику линии необходимо подтвердить, что сумма Del и безопасного расстояния достаточна для обеспечения безопасности населения.

Если зазор не указан как «горизонтальный» или «вертикальный», его следует принимать как наименьшее расстояние между токоведущими частями и рассматриваемым объектом.

Внешние зазоры, указанные в таблицах с 5.10 по 5.15, определяются с технической точки зрения. Допускается, что в национальных нормах могут использоваться разные значения (как более высокие, так и более низкие), и они должны быть указаны в NNA.

Более высокие значения минимальных зазоров могут быть указаны в проектных спецификациях. Эти значения преобладают над значениями, указанными в настоящем стандарте и его приложениях. Зазоры должны быть проверены в соответствии с условиями нагрузки по 5.6.

При очень длинных гирляндах изоляторов, риск перекрытия всегда должен быть на внутреннем расстоянии, а не на каком-либо внешнем объекте или человеке.

Для воздушных ЛЭП с номинальным напряжением сети от 1 кВ переменного тока до 45 кВ переменного тока включительно, соответствующие значения Del и Dpp не должны зависеть от напряжения линии. Для этих напряжений следует учитывать наружные расстояния до земли и пересечения препятствий Del = 0,60 м, а Dpp = 0,70 м для пересечений с другими воздушными ЛЭП. Эти основные электрические зазоры рассмотрены в таблицах с 5.11 по 5.16.

В связи с повышенными требованиями к безопасности при пересечении зданий, зон отдыха, транспортных магистралей и других ЛЭП, следует рассмотреть возможность использования нескольких гирлянд изоляторов там, где существует вероятность их механического повреждения.

5.9.2 Внешние зазоры до земли в местах, удаленных от зданий, дорог и т.п.

Таблица 5.10 — Минимальные внешние расстояния до земли в районах, удаленных от зданий, автомобильных и железных дорог и судоходных путей

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Расстояние до земли в сельской местности без препятствий м | | | | | | Расстояние до деревьев  m | | | | | | | | | | | |
| Нормальный рельеф местности | | | Скала или крутой склон | | | Под линией | | | | | | Рядом с линией  (горизонтальный зазор) | | | | | |
| Вариант нагрузки | (см. ПРИМЕЧАНИЕ 1) | | |  | | | Деревья, на которые нельзя залезть | | | Деревья, на которые можно залезть (см. предложение «Требование» ниже) | | | Деревья, на которые нельзя залезть | | | Деревья, на которые можно  залезть (см. предложение «Требование» ниже) | | |
| Система защиты | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I |
| Максимальная температура провода | 5,0 + Del  но не менее 5,6 | 5,6 | 5,6 | 2,0 + Del  но не менее 3,0 | 3,0 | 3,0 | Del  но не менее 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 + Del  но не менее 2,1 | 1,5 | 0,5 | Del  но не менее 0,6 | 0,5 | 0,5 | 1,5 + Del  но не менее 2,1 | 1,5 | 1,0 |
| Экстремальный лед  нагрузка | 5,0 + Del  но не менее 5,6 | 5,6 | 5,6 | 2,0 + Del  но не менее  3,0 | 3,0 | 2,5 | Del  но не менее 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 + Del  но не менее 2,1 | 1,5 | 0,5 | Del  но не менее 0,6 | 0,5 | 0,5 | 1,5 + Del  но не менее 2,1 | 1,5 | 1,0 |
| Номинальная  ветровая нагрузка | 5,0 + Del  но не менее  5,6 | 5,6 | 5,6 | 2,0+ Del  но не менее  3,0 | 3,0 | 2,5 | Del  но не менее  0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 + Del  но не менее  2,1 | 1,5 | 0,5 | Del  но не менее  0,6 | 0,5 | 0,5 | 1,5 + Del  но не менее  2,1 | 1,5 | 1,0 |
| Примечания | Основное требование состоит в том, чтобы транспортное средство или человек и т. д. могли безопасно проехать под линией. Если этот случай неприменим (крутой склон и т. д.), зазор может быть уменьшен в соответствии с требованием обеспечения безопасности людей. | | | | | | Если под линией поднимаются деревья или лестницы (например, в фруктовых садах и на полях хмеля), то высота над лестницей или деревом должна применяться таким образом, чтобы можно было безопасно выполнять работы вблизи линии. | | | | | | Если риск возникновения замыкания на землю из-за падающего дерева недопустим, то необходимо уменьшить высоту деревьев или ограничить их горизонтальное расстояние от линии. | | | | | |
| В некоторых странах является обычной практикой перекрытие леса, чтобы избежать вырубки, и в этом случае следует учитывать максимальную будущую высоту деревьев. Требование: При необходимости, Проектная спецификация должна определять, на какие деревья могут взбираться люди.  ПРИМЕЧАНИЕ 1: Эти зазоры даны для транспортного средства высотой 5 м.  ПРИМЕЧАНИЕ 2: Кодировка заголовков столбцов выше следующая: B = неизолированные провода; C = изолированные провода; и I = изолированная кабельная система. Зазоры для C- и I-проводов действительны только для уровней напряжения > 1 кВ и ≤ 45 кВ. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

5.9.3 Внешние зазоры до жилых и других зданий

Таблица 5.11 — Минимальные зазоры до жилых и других зданий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Зазоры: Жилые и другие здания  m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Линия над зданиями | | | | | | | | | Линия рядом со зданиями  (Горизонтальный зазор) | | | Антенны, уличные фонари, флагштоки, рекламные вывески и аналогичные конструкции | | | | | |
| Вариант нагрузки | С огнеупорными крышами,  где уклон более 15° к горизонтали | | | С огнестойкими крышами, где уклон меньше или равен 15° к горизонтали | | | С негорючими крышами и чувствительными к возгоранию установками, такими как заправочные станции и т. д. | | |  | | | Антенны и средства молниезащиты | | | Уличные фонари, флагштоки, рекламные вывески и  подобные конструкции, на которых нельзя стоять | | |
| Система защиты | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I |
| Максимальная температура провода | 2,0 + Del  но не менее 3,0 | 3,0 | 2,5 | 4,0 + Del  но не менее 5,0 | 4,0 | 3,0 | 10,0 + Del  но не менее 10,6 | 10,6 | 10,6 | 2 ,0 + Del  но не менее 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 |
| Экстремальная ледовая нагрузка | 2,0 + Del  но не менее 3,0 | 3,0 | 2,5 | 4,0 + Del  но не менее 5,0 | 4,0 | 3,0 | 10,0 + Del  но не менее 10,6 | 10,6 | 10,6 | 2,0 + Del  но не менее 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 |
| Номинальная ветровая нагрузка | 2,0 + Del  но не менее  3,0 | 3,0 | 2,5 | 4,0 + Del  но не менее  5,0 | 4,0 | 3,0 | 10,0 + Del  но не менее 10,6 | 10,6 | 10,6 | 2,0 + Del  но не менее  3,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее  2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее  2,6 | 2,0 | 2,0 |
| Примечания | Считается, что человеку целесообразно стоять на крыше для обслуживания и использовать ручной инструмент. В случае сильного обледенения предполагается, что в таких условиях крышами никто не будет пользоваться. | | | Считается, что человеку целесообразно стоять на крыше для обслуживания и пользоваться небольшой лестницей. В случае сильного обледенения предполагается, что в таких условиях крышами никто не будет пользоваться. | | | Зазор должен быть достаточным для устранения возможности воспламенения под действием наведенного напряжения. | | | Если это горизонтальное расстояние не может быть соблюдено, вертикальные зазоры в случае линии над зданиями должны быть соблюдены. | | | Зазор D el должен сохраняться даже при падении конструкции на линейные провода, когда провода имеют максимально возможную температуру и висят вертикально в неподвижном воздухе. | | | | | |
| В некоторых странах не разрешается пересекать или приближаться к зданиям, и зазоры, указанные в этом пункте, не применяются в этих странах. Эти страны должны определить, насколько близко ЛЭП могут быть расположены к зданиям в NNA.  ПРИМЕЧАНИЕ: Приведенные выше коды заголовков столбцов следующие: B = неизолированные провода; C = изолированные провода; и I = изолированная кабельная система. Зазоры для C- и I-проводов действительны только для уровней напряжения > 1 кВ и < 45 кВ. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

5.9.4 Внешние зазоры до пересечения маршрутов движения

Таблица 5.12 — Минимальные зазоры до линий, пересекающих автомобильные, железные дороги и судоходные пути

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Зазоры: пересечение линий автомобильных дорог, железных дорог и судоходных путей.  m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Вариант нагрузки | До поверхности дороги или до уровня рельсов (если не  используется система электрической тяги) (см. предложение «Требование» ниже) | | | До компонентов  системы электротяги железных дорог, троллейбусных линий или канатных дорог | | | До тяги канатов канатных дорог | | | До согласованного габарита высоты  в свету признанного судоходного пути | | | До неподвижных точек канатной дороги или неподвижным элементам системы электротяги железной дороги | | | До опор или поддерживающих и тянущих канатов установки канатной дороги | | | До установок канатной дороги в случае подземного перехода | | |
| Система защиты | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I |
| Максимальная температура провода | 6,0 + Del  но не менее 6,6 | 6,6 | 6,6 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 4,0 + Del  но не менее 4,6 | 4,0 | 4,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 |
| Экстремальная ледовая нагрузка | 6,0 + Del но не менее 6,6 | 6,6 | 6,6 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 4,0 + Del  но не менее 4,6 | 4,0 | 4,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 |
| Номинальная ветровая нагрузка | 6,0 + Del  но не менее 6,6 | 6,6 | 6,6 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2 0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 4,0 + Del  но не менее 4,6 | 4,0 | 4,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 |
| Вариант особой нагрузки -1 | - | - | - | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Вариант особой нагрузки -2 | - | - | - | - | - | - | 2,0 + Del  но не менее 2,6 | 2,0 | 2,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Вариант особой нагрузки -3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,0 + Del  но не менее  2,6 | 2,0 | 2,0 |
| Примечания Для второстепенных дорог, как определено в NNA, зазор можно уменьшить на 1 м. Горизонтальный зазор. Горизонтальный | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Особый вариант нагрузки 1 – - раскачивание путепроводов вследствие переменных ветровых нагрузок при температуре, определенной в NNA, и одновременное нагружение путепровода тяговой системы при его минимальном провисании. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Особый вариант нагрузки 2 – раскачивание путепроводов вследствие переменных ветровых нагрузок при температуре, определенной в NNA, и максимальном усилии натяжения тягового каната, увеличенном на 25 %. При оценке горизонтальных зазоров, должны учитываться следующие варианты нагрузки:  - раскачивание провода под действием ветра в сторону неподвижных элементов установки канатной дороги;  - раскачивание канатов канатной установки под максимальным углом поворота 45° в сторону участков воздушной ЛЭП. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Вариант особой нагрузки 3 – это минимальное провисание путепровода и максимальное провисание тянущего каната. Кроме того, необходимо учитывать высоту кабины. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Требование: Для зазоров от уровня рельсов, зазор должен быть зафиксирован относительно ширины колеи поезда, а не верхней части уровня рельсов. В случае пересечения железной дороги без системы электрической тяги, габариты должны быть согласованы с железнодорожными властями при планировании перехода на систему контактной тяги.  ПРИМЕЧАНИЕ: Кодировка заголовков вышеприведенных столбцов следующая: B = неизолированные провода; C = изолированные провода; и I = изолированная кабельная система. Зазоры для C- и I-проводов действительны только для уровней напряжения > 1 кВ и < 45 кВ. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

5.9.5 Внешние зазоры до соседних путей движения

Таблица 5.13 — Минимальные зазоры до линии, примыкающей к автодорогам, железным дорогам и судоходным путям

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Зазоры: линия, примыкающая к автомобильным, железным дорогам и судоходным путям.**  **m** | | | | | | | | | | | | |
| **Вариант нагрузки** | Горизонтальный зазор до погрузочного габарита  или элементов системы электротяги проводной установки железной дороги или троллейбусной линии | | | Горизонтальный зазор до компонентов канатной дороги | | | Горизонтальный зазор до внешнего края  проезжей части (включая обочину с твердым покрытием) автомагистрали, шоссе, проселочной дороги или водного пути | | | Горизонтальный зазор между ближайшей частью воздушной ЛЭП и внешней кромкой ближайшего пути железной дороги. | | |
| Система защиты | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I |
| Максимальная температура провода | 0,5 + Del но не менее | t5 | t5 | 4,0 + Del  но не менее 4,6 | 4,0 | 4,0 | 0,5 + Del но не менее | t5 | t5 | 4,0 + Del  но не менее 4,6 | 4,0 | 4,0 |
| Экстремальная ледовая нагрузка | 0,5 + Del  но не менее t5 | t5 | t5 | 4,0 + Del  но не менее 4,6 | 4,0 | 4,0 | 0,5 + Del  но не менее t5 | t5 | t5 | 4,0 + Del  но не менее 4,6 | 4,0 | 4,0 |
| Номинальная ветровая нагрузка | 0,5 + Del но не менее |  |  | 4,0 + Del  но не менее 4,6 | 4,0 | 4,0 | 0,5 + Del но не менее |  |  | 4,0 + Del  но не менее 4,6 | 4,0 | 4,0 |
| Вариант особой нагрузки-4 | - | - | - | 4,0 + Del  но не менее  4,6 | 4,0 | - | - | - | - | - | - | - |
| **Примечания** | Если этот горизонтальный зазор не может быть соблюден, должны соблюдаться зазоры для пересечения железнодорожных сооружений, указанные в таблице 5.-2. | | | | | | | | | Если планируется переход на электрическую тягу - 5 м. | | |
| Вариант особой нагрузки 4: Дополнительно следует принять, что несущие и тянущие канаты установки канатной дороги качаются под углом 45° в сторону воздушной ЛЭП.  ПРИМЕЧАНИЕ: Кодировка заголовков вышеприведенных столбцов следующая: B = неизолированные провода; C = изолированные провода; и I = изолированная кабельная система. Зазоры для C- и I-проводов действительны только для уровней напряжения > 1 кВ и < 45 кВ. | | | | | | | | | | | | |

5.9.6 Внешние зазоры до других ЛЭП или воздушных линий связи

Таблица 5.14 — Минимальные зазоры до других ЛЭП или воздушных линий связи

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Пересечение линий**  **m** | | | | | | **Параллельные линии на общих конструкциях**  **m** | | | **Параллельные или сходящиеся линии на отдельных конструкциях**  **m** | | |
| **Вариант нагрузки** | Вертикальный зазор между нижним проводом верхней цепи и токоведущими частями или заземленными частями нижней линии | | | Горизонтальный зазор между вертикальной осью качающегося провода и элементами телекоммуникационных линий | | | Зазор между проводами линий отдельных коммуникаций | | |  | | |
| Система защиты | B | С | I | B | С | I | B | С | I (см. ПРИМЕЧАНИЕ ^ | B | С | I |
| Максимальная температура провода | Dpp но не менее 1,0a | 1,0 | 1,0 | - | - | - | Dpp но не менее  0,7 а | 0,5 | 2 d | Dpp но не менее 1,0a | t0 | t0 |
| Экстремальная ледовая нагрузка | Dpp но не менее 1,0a | 1,0 | 1,0 | - | - | - | Dpp но не менее  0,7 а | 0,5 | 2 d | Dpp но не менее 1,0a | t0 | t0 |
| Номинальная ветровая нагрузка | Dpp но не менее 1,0a | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | Dpp но не менее  0,7 а | 0,5 | 2 d | Dpp но не менее 1,0a | t0 |  |
|  | Особое внимание следует уделить пересечению линий и параллельных линий. Зазор должен быть больше J, умноженного на дугогасительное расстояние a som (определяемое как расстояние по прямой линии между токоведущими и заземленными частями) гирлянды изоляторов. | | | | | | | | | | | |
| Примечания |  | | | Если этот горизонтальный зазор не может быть соблюден, должны быть соблюдены вертикальные зазоры между самым нижним проводом верхней цепи и токоведущими частями или заземленными компонентами нижней линии. | | | При размещении цепей отдельных коммуникаций на общих сооружениях, возможность влияния друг на друга должна быть сведена к минимуму; т.е. следует учитывать использование вращающихся траверс, последствия поломки изоляторов, индукцию и техническое обслуживание. | | | Следует учитывать колебание провода в любой из цепей на двух линиях. | | |
| a D pp — большее из значений D pp для двух линий.  ПРИМЕЧАНИЕ: Изолированная линия: d — диаметр изолированного кабеля/линии.  ПРИМЕЧАНИЕ 2: Кодировка заголовков столбцов выше следующая: B = неизолированные провода; C = изолированные провода; и I = изолированная кабельная система. Зазоры для C- и I-проводов действительны только для уровней напряжения > 1 кВ и < 45 кВ. | | | | | | | | | | | | |

5.9.7 Внешние зазоры до зон отдыха (детских площадок, спортивных площадок и т.п.)

Таблица 5.15 — Минимальные зазоры до зон отдыха

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Линия выше  m | | | | | | | | | | | | Линия в непосредственной близости  m | | |
| Вариант нагрузки | До спортивных площадок общего пользования | | | До высшего уровня плавательных бассейнов | | | До согласованного кильватера парусных средств | | | Для стационарных спортивных сооружений, таких как стартовые и финишные линии, кемпинги, а также сооружения, которые можно возводить или на которые можно взбираться | | | Горизонтальный зазор до всех рекреационных объектов | | |
| Система защиты | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I | B | С | I |
| Максимальная температура провода | 7,0 + Del  но не менее  7,6 | 7,6 | 7,0 | 8,0 + Del  но не менее 8,6 | 8,6 | 8,0 | 1,0 + Del  но не менее 1,6 | 1,6 | 1,0 | 3,0 + Del  но не менее 3,6 | 3,6 | 3,0 | 3,0 + Del  но не менее 3,6 | 3,6 | 3,0 |
| Экстремальная ледовая нагрузка | 7,0 + Del  но не менее  7,6 | 7,6 | 7,0 | 8,0 + Del но не менее 8,6 | 8,6 | 8,0 | 1,0 + Del  но не менее 1,6 | 1,6 | 1,0 | 3,0 + Del  но не менее 3,6 | 3,6 | 3,0 | 3,0 + Del  но не менее 3,6 | 3,6 | 3,0 |
| Номинальная ветровая нагрузка | 7,0 + Del  но не менее  7,6 | 7,6 | 7,0 | 8,0 + Del  но не менее  8,6 | 8,6 | 8,0 | 1,0 + Del  но не менее  1,6 | 1,6 | 1,0 | 3,0 + Del  но не менее  3,6 | 3,6 | 3,0 | 3,0 + Del  но не менее  3,6 | 3,6 | 3,0 |
| Примечания | В случае спорта с метанием снарядов или стрельбой должно быть обеспечено недопущение приближения к проводу менее чем на 2,0 м + Del. | | | В случае трамплина должно быть обеспечено предотвращение приближения кого-либо, находящегося ближе, чем значение Del. | | | Следует учитывать максимально высокий уровень воды или самое высокое транспортное положение на береговых сооружениях. | | |  | | | Если этот горизонтальный зазор не соблюдается, то должны быть соблюдены вертикальные зазоры для линии, описанной выше. | | |
| В некоторых странах не разрешается пересекать или приближаться к зонам отдыха, и разрешения, указанные в этом пункте, не применяются к этим странам. Этим странам следует определить, насколько близко линии электропередач могут быть расположены к зонам отдыха в NNA. | | | | | | | | | | | | | | |  |
| ПРИМЕЧАНИЕ: Приведенные выше коды заголовков столбцов следующие: B = неизолированные проводники; C = изолированные провода; и I = изолированная кабельная система. Зазоры для C- и I-проводников действительны только для уровней напряжения > 1 кВ и < 45 кВ. | | | | | | | | | | | | | | | |

5.10 Эффект короны

5.10.1 Радиопомехи

5.10.1.1 Общие положения

Радиопомехи от высоковольтных воздушных ЛЭП могут создаваться в широкой полосе частот за счет следующего:

• коронные разряды в воздухе на поверхности проводов и арматуры;

• разряды и искрение на сильно нагруженных участках изоляторов;

• искрение при неплотных или несовершенных контактах.

Существует два основных метода прогнозирования радиопомех высоковольтной линии: сравнительный и аналитический.

ПРИМЕЧАНИЕ: Эти методы описаны и сравнены в CISPR/TR 18-3 и рабочей группе CIGRE 36.01 (1974) Документ «Помехи, вызванные эффектом короны электрических систем».

5.10.1.2 Влияние конструкции

Наиболее важное конструктивное влияние на уровни радиопомех, создаваемых коронным разрядом любой высоковольтной линии, оказывает электрическое поле в непосредственной близости от проводов. На это поле влияют напряжение, количество проводов на пучок фаз, размер проводов, расстояние между фазами и, в меньшей степени, конфигурация линии, фазировка линии, высота линии и близость линии к другим линиям или проводам. На уровни радиопомех также влияет местная проводимость земли и относительная гладкость поверхностей проводов и оборудования.

Как правило, уровни радиопомех, создаваемых коронным разрядом, становятся серьезной проблемой проектирования только для линий, работающих при напряжении 230 кВ или выше. Для этих высоких напряжений, методы прогнозирования уровня шума предполагают, что оборудование линии сконструировано или экранировано таким образом, что только коронный разряд на проводах будет причиной наблюдаемых уровней радиошума, и что провода установлены так, чтобы не повредить их поверхность. В первые несколько месяцев работы под напряжением, поверхность провода еще не подверглась атмосферным воздействиям, а уровень радиошума может быть на несколько децибел выше ожидаемого.

Практическая конструкция воздушных ЛЭП и связанного с ними оборудования, позволяющая удерживать различные типы радиошума в допустимых пределах, описана в CISPR/TR 18-3.

5.10.1.3 Пределы шума

Степень раздражающего действия радиопомех определяется так называемым «отношением сигнал/шум»

на приемной установке. При установке пределов излучения радиошума, необходимо определить мощность защищаемых радио- и телевизионных сигналов.

Максимально допустимые уровни радиошума могут устанавливаться национальными или местными властями и включаться в NNA или в Проектную спецификацию.

Методы определения предельных значений радиошума от воздушных ЛЭП и высоковольтного оборудования для защиты радио- и телевизионного приема приведены в CISPR/TR 18-2.

5. 10.2 Акустический шум

5.10.2.1 Общие положения

Корона на высоковольтных ЛЭП в некоторых случаях может создавать акустический шум. Такой шум чаще возникает в ненастную погоду и в туман; в хорошую погоду шум возникает главным образом там, где линии подвержены особым видам загрязнения.

Основным источником акустического шума при плохой погоде являются капли воды. Будь то висящая на мокрой линии, попадающая на линию в виде капель дождя или стекающая с линии, вода может вызывать различные типы разрядов. Изморозь на проводниках также может вызывать шум.

Существуют как сравнительные, так и аналитические методы, которые предсказывают взвешенные по шкале А уровни акустического шума для предлагаемых высоковольтных линий.

Доступные в настоящее время методы описаны и сравнены в отчете подкомитета IEEE (1982 г.) «Сравнение методов расчета акустического шума высоковольтных ЛЭП» и в рабочей группе CIGRE 36.01 «Помехи, вызванные эффектом короны электрических систем» (1974 г.).

5.10.2.2 Влияние конструкции

Наиболее важное влияние конструкции на уровень акустического шума, создаваемого высоковольтной линией, оказывает электрическое поле, создаваемое очень близко к проводам (поверхностный электрический градиент). На это поле влияют напряжение, количество проводов на пучок фаз, размер проводов, расстояние между фазами и, в меньшей степени, конфигурация линии, фазировка линии, высота линии и близость линии к другим линиям или проводам. На уровень акустического шума также влияет относительная гладкость поверхностей проводов и оборудования, а также загрязнение из-за гидрофобных материалов.

В целом, уровень акустического шума становится серьезной проблемой проектирования только для линий, работающих при напряжении 400 кВ и выше. Для этих высоких напряжений, методы прогнозирования уровня шума предполагают, что оборудование линии сконструировано или экранировано таким образом, что только коронный разряд на проводах будет причиной наблюдаемых уровней акустического шума в сырую погоду, и что провода установлены с осторожностью, чтобы не повредить их поверхности. Как и в случае радиошума, уровень акустического шума может быть немного выше ожидаемого в начальный период воздействия погодных условий.

5.10.2.3 Предел шума

Максимально допустимые уровни акустического шума могут быть установлены национальными или местными властями и указаны в NNA или Проектной спецификации, желательно как взвешенный уровень шума в дБ выше уровня фонового шума на указанном расстоянии от линии.

5.10.3 Потери на корону

Потери на корону - это мощность, потерянная из-за излучения короны. На воздушных ЛЭП, потери на корону выражаются в ваттах на метр (Вт/м) или киловаттах на километр (кВт/км).

Потери мощности из-за коронного разряда обычно составляют менее нескольких киловатт/км в хорошую погоду, но могут достигать десятков киловатт/км во время сильного дождя и до ста киловатт/км во время мороза.

Величина потерь на корону при хорошей погоде незначительна по сравнению с потерями на корону в ненастную погоду (максимальные потери на корону). Однако потери из-за плохой погоды происходят в течение большого процента времени и влияют на значение общей энергии, потребляемой линией (среднегодовые потери от коронного разряда). В некоторых странах потери на корону зимой могут быть выше.

Максимально допустимые значения потерь на корону могут быть определены в NNA или Проектной спецификации в пересчете на потери в хорошую и ненастную погоду в кВт/км/год.

5.11 Электрические и магнитные поля

5.11.1 Электрические и магнитные поля под линией

На конструкцию линий электропередачи может в значительной степени повлиять необходимость ограничения электрических и магнитных полей, создаваемых проводами под напряжением.

Основные параметры и методы оценки электрических и магнитных полей промышленной частоты следующие:

Электрические поля можно определить с помощью различных аналитических и численных методов или из моделей уменьшенного масштаба. Выбор наиболее подходящего метода зависит от сложности решаемой задачи и требуемой степени точности.

Метод эквивалентных зарядов применим, когда стоит задача расчета электрического поля вблизи земли под воздушными ЛЭП.

Справедливость вышеуказанных двумерных допущений должна быть должным образом оценена при наличии трехмерных эффектов (т. е. провисание проводов, близость к опорам, неровный уровень поверхности земли, изменения направления линии). При необходимости, могут быть применены поправочные коэффициенты или выполнены полноразмерные расчеты.

Расчет магнитного поля может потребовать различных методов в зависимости: от решаемой задачи; от природы материалов, окружающих провода; и от требуемой степени точности. Однако для многих целей достаточно применить фундаментальный закон Ампера, который дает напряженность магнитного поля, создаваемого каждым проводом с током.

Референтные уровни электрических и магнитных полей приведены в Рекомендации Европейского Совета 1999/519/EC.

ПРИМЕЧАНИЕ: Для частоты 50 Гц эти уровни составляют соответственно 5 кВ/м и 100 μT.

Подробности о том, как должны рассчитываться магнитные поля, можно найти в Технической брошюре Cigre № 320 «Характеристика магнитных полей сверхнизких частот».

В NNA могут быть указаны различные референтные уровни.

5.11.2 Индукция электрического и магнитного поля

Электромагнитные поля вблизи воздушной ЛЭП могут индуцировать токи и напряжения на соседних проводящих объектах.

Индукционные эффекты должны учитываться в случае протяженных металлических конструкций (например, коммуникационных установок, заборов, линий или труб) или громоздких объектов (например, токопроводящих крыш, резервуаров или больших транспортных средств) вблизи ЛЭП.

Электроэнергетические компании должны иметь возможность принимать любые меры по предотвращению/устранению потенциально опасных или просто раздражающих индукционных воздействий. Подходящие процедуры должны быть согласованы заинтересованными сторонами в этом отношении.

Меры по предотвращению варьируются от оптимизации источников за счет надлежащего расположения цепей до адекватного экранирования (экраны признаны очень эффективными против электрических полей, в то время как общепризнано, что не существует адекватного и практичного способа экранировать от магнитных полей в крупных масштабах).

Большинство эффектов связаны с наведением напряжения на металлические конструкции или объекты, которые не имеют хорошего электрического соединения с общей массой земли. В этих случаях, каждая токопроводящая часть должна быть заземлена.

Протяженные металлические конструкции, электрически соединенные с общей массой земли в одном или нескольких местах и проходящие параллельно ЛЭП, должны быть заземлены через соответствующие промежутки и/или установлены с изолирующими элементами для уменьшения размеров петель и, следовательно, индуктивности..

5.11.3 Помехи телекоммуникационным цепям

Для расчетов помех в цепях электросвязи и предлагаемых мер, которые необходимо предпринять для устранения эффектов или снижения их до приемлемых уровней, следует ссылаться на соответствующие международные и национальные стандарты и/или соответствующие своды правил (например, Директивы ITU (CCITT), том VI). «Опасность, ущерб и помехи», 2008 г.) и/или конкретные соглашения между заинтересованными сторонами.

Следует также обратить внимание на возможность индуцированного напряжения, которое может представлять опасность для людей.

6 Системы заземления

6.1. Введение

6.1.1 Цель

Цель этого Раздела 6 и Приложений G и H состоит в том, чтобы дать руководство по критериям проектирования, установки и испытаний систем заземления.

В зависимости от конструкции воздушной ЛЭП, типа опор и местных условий может потребоваться система заземления.

Опоры проводящего материала в принципе заземляются своими основаниями, но могут потребоваться дополнительные меры для заземления. Для опор внутри или рядом с подстанциями следует ссылаться на EN 50522 для проектирования и установки систем заземления. Опоры из непроводящего материала не нужно заземлять.

ПРИМЕЧАНИЕ: EN 50522 не применяется к воздушным ЛЭП между отдельными установками (например, подстанциями).

Системы заземления должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечивать безопасность населения путем поддержания шагового напряжения и напряжения прикосновения, вызванного токами короткого замыкания, на допустимом уровне. Они состоят из заземляющих электродов с заземляющими или соединительными проводами или без них.

В разделе 6 рассматриваются три требования к конструкции этих систем заземления.

В приложении G приведены соответствующие методы расчета для проектирования систем заземления.

В приложении H приведены рекомендации по установке систем заземления (H.3) и испытаниям путем измерения сопротивления и импеданса относительно земли (H.4).

В случае ЛЭП, содержащих заземляющие проводники по всей длине, полное сопротивление заземления должно определяться с учетом влияния заземляющих проводников и соседних опор (Н.4.4).

6.1.2 Требования к размерам систем заземления

Проектирование систем заземления на промышленной частоте должно соответствовать, как минимум, следующим трем требованиям:

а) обеспечивать механическую прочность и коррозионную стойкость при соблюдении минимальных размеров;

b) выдерживать, с тепловой точки зрения, самый высокий ток короткого замыкания, определенный расчетом;

с) для обеспечения личной безопасности в отношении шагового напряжения и напряжения прикосновения, возникающего при замыкании на землю.

Кроме того, следует избегать повреждения имущества и оборудования. Таким образом, параметры, относящиеся к определению размеров системы заземления, следующие:

• значение и продолжительность тока повреждения (приведены в 6.3.2);

• характеристики удельного сопротивления грунта (приведены в H.2.1).

Подразделы с 6.2 по 6.4 касаются трех проектных требований к системам заземления:

• 6.2 в отношении коррозии и механической прочности (приложение G.2 для минимальных размеров);

• 6.3 в отношении термической прочности (приложение G.3 для метода расчета тока короткого замыкания);

• 6.4 в отношении безопасности человека (приложение G.4 для метода расчета напряжения прикосновения).

Наконец, в подразделе 6.5 приведены некоторые рекомендации по осмотру участка и документированию системы заземления.

Когда воздушная ЛЭП построена с двумя или более различными уровнями напряжения, три требования к системе заземления должны выполняться для каждого уровня напряжения. Нет необходимости учитывать одновременные замыкания в цепях с разным напряжением.

6.1.3 Меры по заземлению от воздействия молнии

Значения сопротивления основания влияют на скорость обратного пробоя линии и, следовательно, на молниезащиту линии (см. 5.4.4). Однако, определение молниезащиты не входит в рамки настоящего стандарта, поскольку это вопрос оптимизации в отдельных проектах. Максимальные или эталонные значения сопротивления должны быть указаны в NNA или Проектной спецификации.

6.1.4 Передаваемые потенциалы

Передача потенциала может происходить из-за металлических труб и ограждений, кабелей низкого напряжения и т. д., и общие рекомендации трудно предоставить, особенно потому, что обстоятельства варьируются от одного случая к другому. Инструкции по отдельным случаям определяются полезностью. Предложения IEC TC 64 также содержат рекомендации.

Правила для телекоммуникационных систем на высоковольтных системах заземления или вблизи них выходят за рамки настоящего стандарта. При рассмотрении передаваемых потенциалов из-за систем электросвязи, необходимо учитывать существующие международные документы (т. е. директивы ITU [CCITT]).

6.2 Рейтинги в отношении коррозии и механической прочности

6.2.1 Заземляющие электроды

Заземляющие электроды, находящиеся в непосредственном контакте с грунтом, должны быть из материалов, способных противостоять коррозии (химическому или биологическому воздействию, окислению, образованию электролитической пары, электролизу и т.п.). Они должны противостоять механическим воздействиям при их установке, а также воздействиям, возникающим при нормальной эксплуатации.

Соображения механической прочности и коррозии диктуют минимальные размеры заземляющих электродов, указанные в G.2.

Если используется другой материал, например нержавеющая сталь, этот материал и его размеры должны соответствовать требованиям а) и b) 6.1.2.

ПРИМЕЧАНИЕ: В качестве части системы заземления допускается использовать стальные арматурные стержни, встроенные в бетонные фундаменты и стальные сваи.

6.2.2 Заземляющие и соединительные провода

По механическим и электрическим причинам, минимальное сечение заземляющих и соединительных проводнов должно быть:

• медь 16 мм2;

• алюминий 35 мм2;

• сталь 50 мм2.

Композитные провода также могут использоваться для заземления при условии, что их сопротивление эквивалентно приведенным примерам. Для алюминиевых проводов необходимо учитывать влияние коррозии. Заземляющие и соединительные провода из стали требуют защиты от коррозии.

6.3 Размеры с учетом термической прочности

6.3.1 Общие положения

Поскольку уровни тока повреждения регулируются электрической системой, а не воздушной линией, значения должны предоставляться сетевым предприятием.

В некоторых случаях, при расчете параметров соответствующей системы заземления, следует учитывать установившиеся токи нулевой последовательности.

В целях проектирования токи, используемые для расчета размера провода, должны учитывать возможность будущего роста.

Ток короткого замыкания часто подразделяется на систему заземляющих электродов; следовательно, каждый электрод можно рассчитать только на долю тока короткого замыкания.

Конечные температуры, используемые при расчете и на которые делается ссылка в следующем подразделе 6.3.2, должны выбираться таким образом, чтобы избежать снижения прочности материала и предотвращения повреждения окружающих материалов, например бетона или изоляционных материалов.

В настоящем стандарте не приводится допустимое повышение температуры грунта, окружающего заземлители, поскольку опыт показывает, что повышение температуры грунта обычно незначительно.

6.3.2 Расчет номинального тока

Расчет поперечного сечения заземляющих электродов и заземляющих проводников зависит от величины и продолжительности тока короткого замыкания, как указано в G.3.

Параметры тока короткого замыкания в основном зависят от способа заземления нейтрали системы.

Существует различие между длительностью замыкания менее 5 с (адиабатический рост температуры) и длительностью более 5 с. Конечная температура должна выбираться с учетом материала и окружающей среды.

Тем не менее, должны соблюдаться минимальные размеры, указанные в 6.2.

6.4 Расчет с точки зрения безопасности человека

6.4.1 Допустимые значения напряжения прикосновения

Риск причинения вреда существует в зависимости от величины тока, проходящего через тело человека, и IEC/TS 60479-1 содержит рекомендации по воздействию этого тока в зависимости от его величины и продолжительности. На практике, удобнее ссылаться на напряжения прикосновения. Пределы напряжения прикосновения приведены на рисунке 6.1 на основе расчетов, приведенных в G.4.1. Кривая U D1 представляет собой величину напряжения, которое может пройти через тело человека, от голых рук до босых ног. На этой кривой не учитывались дополнительные сопротивления.

Тем не менее, разрешается использовать кривые UD2-UD4, основанные на расчетах, приведенных в G.4.2, для учета дополнительных сопротивлений, таких как обувь или защитные материалы с высоким удельным сопротивлением.

Каждое замыкание на землю будет отключено автоматически благодаря защите подстанции или вручную. Таким образом, постоянно приложенные напряжения прикосновения не появляются как следствие замыканий на землю.

Для шаговых напряжений этот стандарт не определяет допустимые значения.

ПРИМЕЧАНИЕ: Допустимые значения шаговых напряжений несколько превышают допустимые напряжения прикосновения; поэтому, если система заземления удовлетворяет требованиям к напряжению прикосновения, то можно предположить, что в большинстве случаев опасные шаговые напряжения не возникнут.

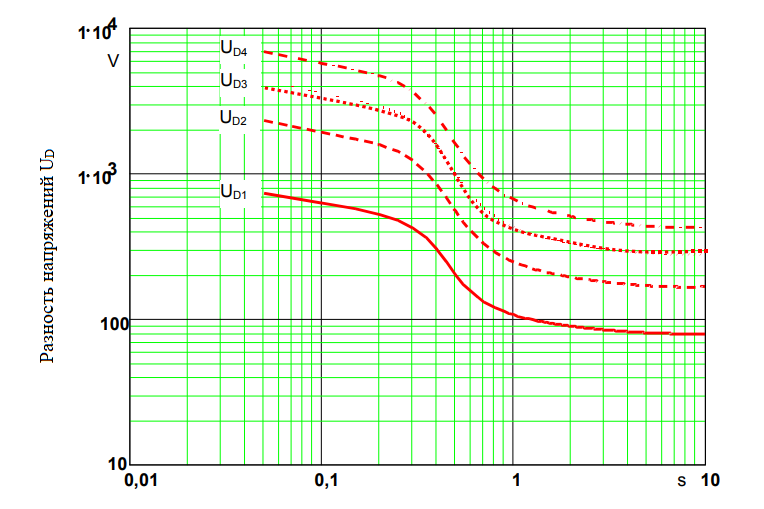
Для соответствующей длительности замыкания необходимо учитывать правильную работу устройств защиты и прерывания.

Методы расчета и значения напряжения прикосновения должны быть указаны в NNA или Проектной спецификации.

6.4.2 Ограничения напряжения прикосновения в различных местах

На рис. 6.1 показаны предельные значения напряжения прикосновения, UD1 (разность напряжений), которые могут проходить через тело человека в различных типичных местах. Кривые UD2, UD3 и UD4 иллюстрируют влияние постепенно увеличивающихся дополнительных сопротивлений.

Если указано в NNA, рисунок 6.1 может быть заменен рисунком B.2 из EN 50522:2010.



Продолжительность тока короткого замыкания tF

Рисунок 6.1 — Примеры предельных значений напряжения прикосновения (разность напряжений UD) в зависимости от продолжительности тока короткого замыкания tF

Разность напряжений, UD, выступающая в качестве источника напряжения в цепи прикосновения со значением, гарантирующим безопасность человека при наличии дополнительных сопротивлений, R а , см. G.4.2. Кривые на рисунке 6.1:

- Кривая UD1 : Ra = 0 Q (пример 1);

- Кривая UD2 : Ra = 1 750 Ω , Ra1 = 1 000 Q , pE = 500 Ω m (пример 2);

- Кривая UD3 : Ra = 4 000 Ω , Ra1 = 1 000 Q , pE = 2 000 Ω m (пример 3);

- Кривая UD4 : Ra = 7 000 Ω , Ra1 = 1 000 Q , pE = 4 000 Ω m (пример 4).

Описание типичных мест, соответствующих приведенным выше примерам 1–4 и кривым U D1 –U D4 на рис. 6.1.

Пример 1 — кривая UD1.

* В таких местах, как игровые площадки, бассейны, кемпинги, зоны отдыха и подобные места, где люди могут собираться босиком. Никакое дополнительное сопротивление, кроме сопротивления тела, не учитывается.

Пример 2. Кривая UD2.

* Места, где можно обоснованно предположить, что люди носят обувь, например, тротуары дорог общего пользования, парковочные места и т.д. Учитывается добавочное сопротивление 1 750 Ω.

Пример 3. Кривая UD3.

* Места, где можно обоснованно предположить, что люди носят обувь, а удельное сопротивление почвы высокое, например 2 000 Ω m. Дополнительное сопротивление, которое необходимо учитывать, составляет 4000 Ω.

Пример 4 — Кривая U D4.

* Места, где можно обоснованно предположить, что люди ходят в обуви, а удельное сопротивление почвы очень велико, например, 4 000 Ω m. Дополнительное сопротивление, которое необходимо учитывать, составляет 7000 Ω.
* Напряжение прикосновения 80 В допускается в течение более 10 с.

6.4.3 Принципиальная конструкция систем заземления с учетом допустимого напряжения прикосновения

Применение требований а) и b) в 6.1.2 даст базовую конструкцию системы заземления. Эта конструкция должна быть проверена на предмет опасности чрезмерных напряжений прикосновения, после чего ее можно рассматривать как типовую конструкцию для аналогичных ситуаций.

Блок-схема на рис. 6.2 показывает общий подход к проектированию системы заземления с учетом допустимого напряжения прикосновения. Цифры в скобках поясняются после рисунка.

Все последующие пояснения относятся к рисунку 6.2.

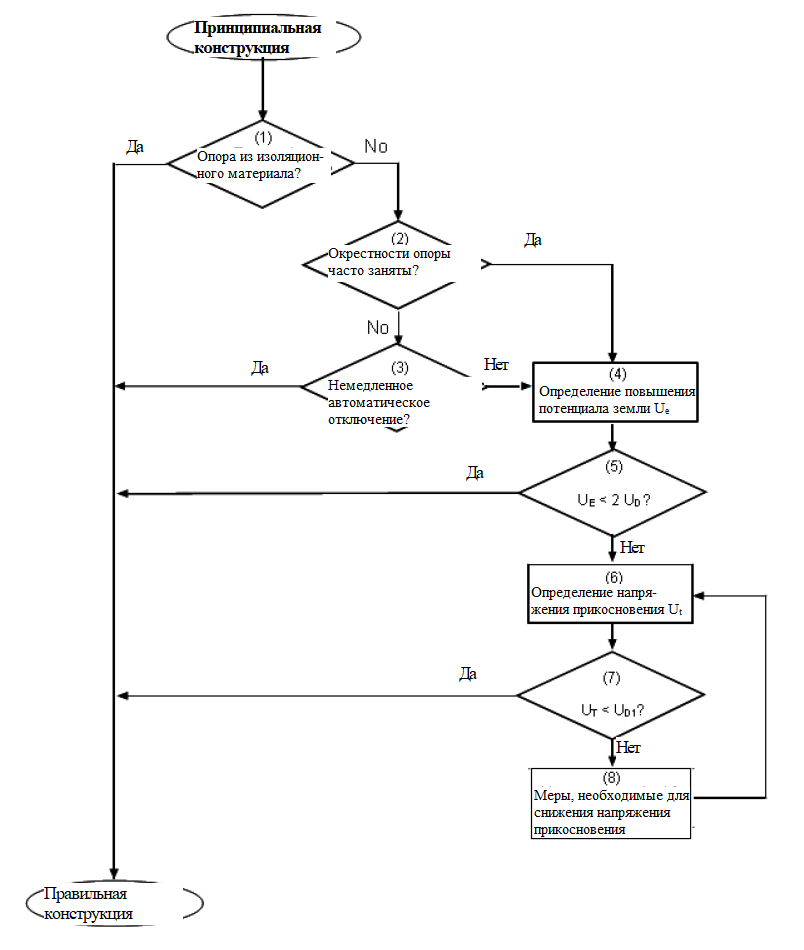
****

Рисунок 6.2 — Расчет систем заземления с учетом допустимого напряжения прикосновения

1) Для деревянных или других непроводящих столбов или опор без каких-либо проводящих частей к земле, замыкания на землю на практике невозможны, и требования к заземлению отсутствуют.

2) Опоры в местах, свободно доступных для людей и где можно ожидать нахождение людей либо в течение относительно длительного времени (несколько часов в день) в течение нескольких недель, либо в течение короткого времени, но очень часто (много раз в день) например, рядом с жилыми районами или игровыми площадками, включены и должны быть рассмотрены более подробно. Места, которые используются лишь изредка, такие как леса, открытые участки местности и т. д., не включены.

3) В тех местах, где нет свободного доступа к опорам или где доступ людей будет редким, и где линия снабжена автоматическим отключением для защиты, напряжения прикосновения не нужно учитывать.

Если можно предположить, что доступ людей будет редким, то вероятность такого доступа и возникновения одновременного автоматически устраняемого замыкания можно считать пренебрежимо малой, и, таким образом, конструкцию заземления можно считать удовлетворительной.

4) См. H.4.4 относительно определения повышения потенциала земли.

5) Если повышение потенциала земли ниже 2U d относительно соответствующих кривых условий, U D2 , U D3 или U D4 на рисунке 6.1, то конструкцию можно считать приемлемой. Напряжение прикосновения в большинстве этих случаев составляет лишь часть повышения потенциала земли, что подробно объясняется в G.4.1. В районах с непредсказуемыми почвенными условиями, разность напряжений U d должна быть подтверждена, как правило, измерениями.

6) См. G.4.1 относительно определения напряжения прикосновения.

7) См. рисунок 6.1, кривая U D1 , которая совпадает с U tp , допустимым напряжением прикосновения.

8) Если условие, указанное в предыдущем примечании (7), не выполняется, то должны быть приняты корректирующие меры по снижению напряжения прикосновения. Эти меры могут быть указаны в NNA.

ПРИМЕЧАНИЕ: Этими мерами могут быть, например: заглубленные кольца выравнивания потенциала, изоляция опоры, увеличение сопротивления верхнего слоя грунта и т.д.

Передаваемые потенциалы, если они возникают, всегда должны проверяться отдельным расчетом (см. 6.1.4).

6.4.4 Меры в системах с изолированной нейтралью или резонансным заземлением

В системах с изолированной нейтралью или с резонансным заземлением, где напряжения прикосновения выше допустимого значения, может быть предпринята одна из следующих мер, чтобы убедиться, что маловероятно возникновение длительного замыкания на землю в опоре, либо продолжительность замыкания на землю является кратковременным явлением:

• использование длинных стержневых изоляторов или изоляторов со сплошным телом;

• использование изоляторов, изоляционные характеристики которых можно увидеть при визуальном осмотре (например, колпачковые и штыревые изоляторы из стекла);

• использование инструмента обнаружения замыкания на землю и отключение линии в случае замыкания на землю.

6.5 Проверка на месте и документирование систем заземления

Для воздушных ЛЭП с номинальным напряжением сети более 45 кВ переменного тока, должен быть предусмотрен план размещения системы заземления с указанием элементов и положения заземляющих электродов, мест их разветвления и глубины закладки. Для линий с номинальным напряжением сети от 1 кВ переменного тока до 45 кВ переменного тока включительно, может быть предоставлен план участка. В случае установки идентичных систем заземления, рекомендуется общий план участка.

Если для достижения допустимых напряжений прикосновения необходимы специальные меры, они должны быть включены в план участка и описаны в Проектной спецификации.

7 Опоры

7.1 Особенности первоначального проектирования

7.1.1 Введение

Целью данного раздела является предоставление руководства по структурному проектированию опор. Подраздел 7.2 касается материалов опор.

Подразделы с 7.3 по 7.8 относятся соответственно к решетчатым стальным опорам (7.3 и приложение J), стальным опорам (7.4 и приложение K), деревянным опорам (7.5), бетонным опорам (7.6), конструкциям с оттяжками (7.7) и другим конструкциям (7.8). Как правило, для каждого типа опор рассматриваются следующие элементы: основа конструкции, материалы, долговечность, структурное проектирование, аварийные предельные состояния, предельные состояния по пригодности к эксплуатации, сопротивление соединений и проектирование с помощью испытаний.

Подразделы с 7.9 по 7.12 относятся соответственно к защите от коррозии и отделке (7.9), средствам технического обслуживания (7.10), испытаниям под нагрузкой (7.11) и сборке и монтажу (7.12).

Для правильного и эффективного проектирования конструкций, рекомендуется предоставлять информацию, указанную в Приложении L.

Если не указано иное, долговечность должна соответствовать особым требованиям основных строительных Еврокодов: EN 1992-1-1, EN 1993-1-1 и EN 1995-1-1.

Некоторые числовые значения, обозначенные  «значениями в рамках» в следующих подразделах, могут быть изменены в NNA или в Проектной Спецификации.

Если требуется определенный срок службы, контрольный период времени с указанием условий окружающей среды, требований к окружающей среде, стратегии управления техническим обслуживанием, критериев эффективности должен быть указан в NNA и/или в Проектной спецификации до размещения заказа.

7.1.2 Расчетное сопротивление столба

Структурное расчетное сопротивление (Rd) опоры (см. 3.7.4) при изгибе представляет собой общую нагрузку, приложенную горизонтально к вершине опоры, как указано поставщиком опоры для заданной глубины фундамента, при этом любая вертикальная нагрузка игнорируется.

7.1.3 Сопротивление продольному изгибу

Для самонесущих конструкций, за исключением решетчатых стальных опор, где вертикальные нагрузки высоки и/или состояние грунта плохое, и/или наблюдается высокий коэффициент гибкости, необходимо учитывать устойчивость конструкции к продольному изгибу.

7.2 Материалы

7.2.1 Стальные материалы, болты, гайки и шайбы, сварочные материалы

Требования и свойства металлоконструкций см. в EN 1993-1-1.

Требования и свойства болтов, гаек, шайб и сварочных материалов см. в EN 1993-1-8.

7.2.2 Холодногнутая сталь

Требования и свойства холодногнутой стали см. в EN 1993-1-3.

7.2.3 Требования к маркам стали, подлежащим цинкованию

Если не указано иное, при гальванизации сталей во избежание образования тускло-темно-серого и чрезмерно толстого покрытия, которое может привести к повышенному риску повреждения покрытия, рекомендуется, чтобы максимальное содержание кремния (Si) и фосфора (P) соответствовать требованиям EN ISO 1461:2009 - C.1.4.

7.2.4 Анкерные болты

Если в Проектной спецификации не указано иное, должна быть рассчитана вязкость материала (марка стали) анкерных болтов, но температура испытания не должна превышать 0 °C. Гайки анкерных болтов должны быть совместимы с прочностью анкерных болтов.

7.2.5 Бетон и арматурная сталь

Бетон и арматурная сталь должны соответствовать требованиям EN 1992-1-1.

7.2.6 Древесина

Деревянные столбы должны соответствовать требованиям EN 14229.

7.2.7 Материалы оттяжек

Свойства материала оттяжек, в том числе расчетная прочность, должны быть взяты из соответствующих стандартов. Характерная прочность арматуры оттяжек и изоляторов должна быть не ниже прочности самой оттяжки.

7.2.8 Другие материалы

Для всех других материалов, характеристики материала должны соответствовать эксплуатационным требованиям к готовому изделию, а также должны отвечать функциональным требованиям в отношении как прочности, так и эксплуатационных качеств (деформация, долговечность и эстетика).

Также должны учитываться Проектная спецификация и NNA.

7.3 Решетчатые стальные опоры

7.3.1 Общие положения

Подраздел 7.3 относится к самонесущим решетчатым опорам, выполненным преимущественно из уголков с болтовыми соединениями.

Для проектирования других типов решетчатых опор, которые не охвачены настоящим стандартом, должны быть соблюдены требования всех разделов, кроме пункта 2 EN 1993-3-1:2006.

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Пункт 2 EN 1993-3-1:2006 относится к основам проектирования и заменен пунктом 7.3.2.

Требования всех разделов, кроме пункта 2, EN 1993-3-1:2006 также могут быть выполнены в качестве альтернативного метода проектирования решетчатых опор из уголков. Этот выбор должен быть указан в NNA.

Должны соблюдаться общие требования соответствующих частей EN 1993, если иное не указано ниже.

Если иное не указано в NNA, нет необходимости учитывать сейсмические воздействия или огнестойкость.

ПРИМЕЧАНИЕ 2: Для получения дополнительной информации о сейсмических воздействиях на опоры воздушных ЛЭП, см. Приложение F EN 1998-6:2005.

7.3.2 Основы проектирования

Применяются правила, приведенные в разделе 3 «Основы проектирования».

Элементы, на которых может стоять человек, должны быть рассчитаны на нагрузку, указанную в 4.9.2.

7.3.3 Материалы

Материалы должны соответствовать 7.2.

7.3.4 Долговечность

См. требования 7.9.

7.3.5 Структурный анализ

а) Метод анализа

Внутренние нагрузки и моменты в статически неопределимой конструкции должны определяться с помощью общего анализа упругого деформирования.

При анализе можно использовать общие свойства поперечного сечения (см. 7.3.6.2). Решетчатые стальные опоры обычно рассматриваются как стержневые конструкции с шарнирным соединением.

Если рассматривается непрерывность элемента, то, как правило, можно пренебречь последующими вторичными напряжениями изгиба.

Приблизительный расчет нагрузок на стержни, рассматривая панели опоры как двумерные стержни, допустим при условии соблюдения условий равновесия.

Должно быть проверено, что системы связывающих элементов имеют достаточную жесткость для предотвращения локальной нестабильности любых частей.

b) Эффекты деформации

Внутренние нагрузки и моменты обычно можно определить с помощью следующего:

1) Теория первого порядка, использующая исходную геометрию конструкции, или

2) Теория второго порядка, учитывающая влияние деформации конструкции. Обычно теория первого порядка используется для общего анализа самонесущих решетчатых опор.

c) Общий анализ упругого деформирования

Общий анализ упругого деформирования должен быть основан на предположении, что поведение материала при напряжении-деформации является линейным, независимо от уровня напряжения.

Предположение может быть сохранено как для анализа упругого деформирования как первого, так и для второго порядка.

Рассматриваются три типа элементов: основные полки и пояса, крепления и второстепенные элементы (часто называемые лишними элементами).

Второстепенные (лишние) элементы можно считать не нагружаемыми непосредственно внешними воздействиями и обеспечивающими локальную устойчивость элементов, несущих нагрузки.

В общей аналитической системе второстепенными элементами обычно можно пренебречь.

Изгибающие моменты, обусловленные нормальным эксцентриситетом, рассматриваются при выборе случаев потери устойчивости в 7.3.6.3.

Изгибающие моменты, вызванные ветровыми нагрузками на отдельный элемент, как правило, незначительны, но их, возможно, необходимо учитывать при проектировании гибких креплений или горизонтальных краевых элементов.

Изгибающие моменты, вызванные нормальными эксцентриситетами в соединениях диагоналей на опорных элементах, как правило, незначительны, при условии, что детальное проектирование соединения осуществляется таким образом, чтобы свести к минимуму эти эффекты.

ПРИМЕЧАНИЕ: Более подробную информацию о структурном анализе можно найти в Технической брошюре CIGRE № 387 «Влияние гиперстатического моделирования на поведение решетчатых структур ЛЭП».

7.3.6 Аварийные предельные состояния

7.3.6.1 Общие положения

Частные коэффициенты материала γM, определенные в 3.6.3, следует применять к различным характерным значениям сопротивления в 7.3.6 следующим образом:

• Сопротивление площадей поперечного сечения пределу текучести независимо от класса: γM0

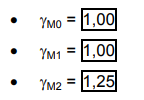
• Сопротивление элементов продольному изгибу: γM1

• Сопротивление площадей поперечного сечения при растяжении к разрушению: γM2

• Сопротивление болтовых соединений к разрушению: γM2

• Сопротивление других типов соединений: см. EN 1993-1-8.

Для решетчатых опор рекомендуются следующие численные значения:



В NNA должно быть указано, какой подход следует использовать в соответствии с подразделами 7.3.6, где EN 1993 и Приложение J приведены в качестве альтернативы. Если в NNA не дано никаких указаний, то вместо Приложения J следует использовать EN 1993.

7.3.6.2 Сопротивление площадей поперечного сечения

Классификация площадей поперечного сечения должна производиться в соответствии с 5.5 EN 1993-1-1:2005.

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Уголки относятся к классу 3 или 4 в соответствии с 5.5 EN 1993-1-1:2005.

Общая площадь поперечного сечения должна быть рассчитана в соответствии с 6.2.2.1 EN 1993-1-1:2005.

Рабочая площадь площадей поперечного сечения должна быть рассчитана в соответствии с 6.2.2.2 EN 1993-1-1:2005.

Для горячекатаных уголков, эффективные свойства поперечного сечения должны основываться на эффективной ширине амортизационных опор. Эффективная ширина определяется путем применения приведенного коэффициента ρ, который определяется следующим образом:

*где*

*или*

*где*

Где

*b, h* и *t* определены как на рисунке 7.1.

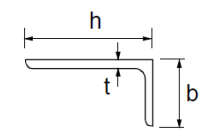


Рисунок 7.1 – Размеры углового профиля

ПРИМЕЧАНИЕ 2: В случае уголков, соединенных одной опорой, приведенный коэффициент p применяется только к соединенной опоре.

ПРИМЕЧАНИЕ 3: Это соответствует процедуре, относящейся к формулам (4.3) EN 1993-1-5:2005, дополненной примечаниями 1–3 к 6.3.1 EN 1993-3-1:2006.

Для холодногнутых уголков см. EN 1993-1-3.

7.3.6.3 Сопротивление элементам растяжению, изгибу и сжатию

Следует учитывать следующее расчетное сопротивление:

1) Сопротивление растяжению следует рассчитывать по формуле (6.7) пункта 6.2.3 стандарта EN 1993-1-1:2005.

Для уголков, соединенных одной опорой, сопротивление растяжению следует рассчитывать с помощью одной из следующих двух процедур:

а) Метод согласно положениям 3.10.3 EN 1993-1-8:2005,

b) Метод согласно положениям Приложения J.3.

2) Сопротивление сжатию должно быть рассчитано в соответствии с 6.2.4 EN 1993-1-1:2005.

3) Сопротивление изгибающему моменту следует рассчитывать в соответствии с 6.2.5 EN 1993-1-1:2005.

4) Изгибающий момент и сопротивление осевой силе должны рассчитываться по формуле (6.44) пункта 6.2.9.3 (2) стандарта EN 1993-1-1:2005 со сдвигами соответствующей центральной оси, eNy и eNz равными нулю.

7.3.6.4 Сопротивление продольному изгибу элементов при сжатии

Сжатые элементы в решетчатых опорах должны быть рассчитаны с использованием одной из следующих двух процедур:

а) Метод согласно положениям Приложения G и Приложения Н стандарта EN 1993-3-1:2005.

b) Метод согласно положениям Приложения J.4. Этот метод можно использовать только при проведении полномасштабных испытаний по 7.3.9.

Крутящий и/или изгибно-крутящий режим также следует проверять следующим образом:

* Потеря устойчивости при кручении и/или изгибно-крутящем изгибе равно-опорных углов обеспечивается использованием свойств эффективного поперечного сечения в соответствии с 7.3.6.2,
* Для горячекатаных неравно-опорных уголков и всех других поперечных сечений см. 6.3.1.4 EN 1993-1.­ 1:2005,
* Для холодногнутых тонкостенных элементов см. 6.2.3 EN 1993-1-3:2005.

7.3.6.5 Сопротивление продольному изгибу элементов при изгибе

Сопротивление продольному изгибу элементов при изгибе следует рассчитывать в соответствии с 6.3.2 EN 1993-1.­ 1:2005.

7.3.7 Предельные состояния эксплуатационной пригодности

Обычно нет необходимости учитывать отклонение или вибрацию решетчатой опоры, если это не указано в Проектной спецификации.

Предельные состояния эксплуатационной пригодности связаны с геометрией опоры и должны определяться в соответствии с требуемыми электрическими зазорами (до земли и конструкции), как указано в разделе 5 «Электрические требования».

7.3.8 Сопротивление соединений

Должны применяться положения для соединений, приведенные в EN 1993-1-8.

Болтовые соединения в решетчатых опорах должны быть рассчитаны с использованием одной из следующих двух процедур:

а) Метод согласно положениям пункта 3 EN 1993-1-8:2005,

b) Метод согласно положениям Приложения J.5.

7.3.9 Проектирование с помощью испытаний

Может потребоваться экспериментальная проверка полномасштабными испытаниями для подтверждения расчетного сопротивления либо всей опоры, либо ее части.

Полномасштабное испытание должно проводиться в соответствии с положениями, приведенными в EN 60652, для определения сопротивления нагрузке FtestR.

Минимальная испытательная нагрузка определяется из:



где

FR,d — расчетная нагрузка для предельного состояния по несущей способности.

Когда испытание продолжается до отказа, результаты могут быть использованы для анализа путем пересчета расчетной прочности с фактическими характеристиками конкретного элемента, который привел к повреждению.

7.3.10 Усталость

Если не указано иное, нет необходимости учитывать усталость.

7.4 Стальные столбы

7.4.1 Общие положения

Должны соблюдаться требования EN 1993-1-1, если иное не указано ниже.

Во всех следующих подразделах, кроме 7.4.8, в скобках даны ссылки на соответствующие главы EN 1993-1-1.

7.4.2 Основы проектирования (EN 1993-1-1:2005 - Глава 2)

Правила, приведенные в разделе 3 «Основы проектирования», применимы, хотя традиционные методы проектирования в равной степени приемлемы, если они указаны в NNA.

1) Если не указано иное, нет необходимости учитывать сейсмические воздействия, усталостную прочность или огнестойкость.

2) Если требуется динамический анализ, он должен проводиться с учетом различных факторов, влияющих на поведение опоры, таких как провода, демпферы и фундаменты.

3) Динамические эффекты, где это уместно, могут учитываться путем применения динамических коэффициентов к нагрузке и принятия квазистатического подхода к проектированию.

7.4.3 Материалы (EN 1993-1 -1:2005 - Глава 3)

1) Материалы должны соответствовать 7.2.

2) Марки конструкционной стали, подвергаемой нагрузкам, должны отражать производственный процесс и минимальную рабочую температуру, но в целом для стальных опор рекомендуется энергия V-образного надреза по Шарпи, равная 40 Дж при -20°C для стали толщиной более 6 мм или трубчатые сварные конструкции.

7.4.4 Долговечность (EN 1993-1 -1:2005 - Глава 4)

См. 7.9.

7.4.5 Структурный анализ (EN 1993-1-1:2005 - Глава 5)

1) Внутренние нагрузки и моменты в любом поперечном сечении конструкции должны определяться с помощью общего анализа упругого деформирования.

2) Теория второго порядка, учитывающая влияние деформации конструкции, должна использоваться для общего анализа стальных опор.

3) Общий анализ упругого деформирования должен основываться на предположении, что поведение материала при напряжении-деформации является линейным, независимо от уровня напряжения.

4) Расчетные допущения для соединений должны удовлетворять требованиям, указанным в 7.4.8.

5) Для стальных опор должны учитываться только поперечные сечения класса 3 и класса 4 в соответствии с определением, данным в EN 1993-1-1, и анализ ограничивается упругим деформированием.

7.4.6 Аварийные предельные состояния (EN 1993-1 -1:2005 - Глава 6)

7.4.6.1 Общие положения

1) Стальные опоры и компоненты должны иметь такие пропорции, чтобы удовлетворялись основные проектные требования к окончательному расчетному состоянию, приведенные в разделе 3 «Основы проектирования».

2) Частные материальные коэффициенты y M принимаются следующим образом:

а. Сопротивление площадей поперечного сечения 

b. Сопротивление рабочей площади сечения в отверстиях под болты



c. Сопротивление соединений см. 7.4.8

3) Рекомендуется, чтобы прогиб по расчету второго порядка в предельном состоянии по несущей способности не превышал 8 % высоты опоры над уровнем земли.

7.4.6.2 Сопротивление площадей поперечного сечения

1) Сопротивление площадей поперечного сечения стальных опор определяют в соответствии с требованиями приложения К.

2) Эффективная площадь поперечного сечения должна учитывать локальную потерю устойчивости в соответствии с приложением K.

3) Вертикальные ребра жесткости вокруг отверстий должны быть спроектированы так, чтобы противостоять короблению, чтобы удовлетворить общие требования EN 1993-1-1, включая соединения (сварные швы, болты и т. д.).

7.4.7 Предельные состояния эксплуатационной пригодности (EN 1993-1-1:2005 - Глава 7)

1) Соответствующие предельные значения деформаций и прогибов должны быть согласованы между заказчиком и проектировщиком.

2) Пределы эксплуатационной пригодности стальных опор связаны с геометрией опоры и должны определяться в соответствии с требуемыми электрическими зазорами (до земли и конструкции), как указано в разделе 5 «Электрические требования».

7.4.8 Сопротивление соединений

7.4.8.1 Основание

1) Все соединения должны иметь расчетное сопротивление, обеспечивающее сохранение работоспособности конструкции и выполнение основных требований к конструкции, приведенных в разделе 3 «Основы проектирования».

2) Частные материальные коэффициенты y M принимаются следующим образом:

а. сопротивление болтовых соединений:

• болты при сдвиге или подшипник 

• болты натянуты 

b. сопротивление сварных соединений 

7.4.8.2 Болты (кроме анкерных болтов)

1) Расчетное сопротивление болтов на сдвиг, смятие или растяжение должно быть рассчитано с использованием одной из следующих двух процедур:

а. Способ согласно положениям пункта 3 EN 1993-1-8:2005;

b. Способ согласно положениям J.5.

2) Расчетное сопротивление предварительно нагруженных высокопрочных болтов указано в 3.1.2 EN 1993-1.­ 8:2005.

7.4.8.3 Скользящие соединения

Скользящие соединения не требуют обоснования расчетом, если соблюдаются следующие требования:

1) При моделировании столба с учетом общего анализа упругого деформирования, для сопротивления необходимо учитывать только номинальное внутреннее охватываемое сечение в зоне соединения.

2) Соединения определяются на чертежах с номинальным нахлестом, равным не менее чем 1,5-кратному максимальному среднему диаметру по углам охватывающего сечения.

3) Сборка осуществляется на месте. Чтобы учесть изменения толщины из-за цинкования и изменения размеров многоугольного сечения, минимальная эффективная длина соединения должна быть более чем в 1,35 раза больше максимального среднего диаметра по углам охватывающего сечения.

4) Однако, сумма допусков на скольжение в каждом стыке должна соответствовать допуску на длину опоры, определенному в NNA или в Проектной спецификации.

5) Нагрузка соединения должно превышать максимальную расчетную вертикальную сжимающую нагрузку на уровне соединения.

6) При необходимости, на опоре должны быть предусмотрены анкерные устройства с обеих сторон скользящего соединения, чтобы обеспечить правильное соединение на месте с помощью гидравлических домкратов или тяговых устройств в соответствии с рекомендациями поставщика.

7.4.8.4 Фланцевые болтовые соединения

1) Должны использоваться предварительно нагруженные высокопрочные болты класса прочности 8.8, 10.9 или аналогичные.

2) Рекомендуется, чтобы межосевое расстояние между болтами не превышало 5-кратного диаметра болтов.

3) Напряжение в болтах должно рассчитываться с учетом эксцентриситета нагрузки, передаваемой через соединение, как указано в EN 1993-1-8.

4) Расчетное сопротивление болтов на сдвиг, смятие и растяжение приведено в 7.4.8.2.

7.4.8.5 Сварные соединения

1) Расчетные сопротивления угловых и стыковых швов приведены в 4.3.2, 4.3.3 и 4.3.4 EN 1993-1-8:2005.

2) Сварочные работы должны соответствовать EN 1090-1.

3) Соединения, выполненные сваркой, в целом должны соответствовать соответствующим требованиям к материалам и исполнению, указанным в главе 4 EN 1993-1-8:2005.

4) Продольные сварные швы с полным проплавлением должны использоваться в зоне стыка охватывающей секции. В других областях допускается использование продольных швов с частичным проплавлением не менее 60 %, если они соответствуют требованиям прочности.

7.4.8.6 Непосредственная заделка в бетон

1) Соединение столба с фундаментом предпочтительно производить путем непосредственной заделки нижней части стального столба в бетон.

2) Длина секции столба, залитой в бетон, должна определяться с использованием линейного распределения нагрузки в соответствии с требованиями EN 1992-1-1.

3) Должное внимание следует уделить короблению стальной секции, если часть заглубленной опоры не заполнена бетоном.

7.4.8.7 Опорная плита и анкерные болты

1) Опорная плита и анкерные болты должны выдерживать приложенные нагрузки, возникающие в месте соединения конструкции с фундаментом или опорной конструкцией.

2) Расчет длины анкеровки болтов в бетоне приведен в приложении К.

3) Анкерные болты должны быть проверены на сдвиг и осевую нагрузку. Необходимо соблюдать надлежащую осторожность в отношении возможного изгибающего момента из-за бокового смещения болтов при отсутствии заливки цементным раствором.

4) Соответствующий цементный раствор, правильно нанесенный, должен быть залит между опорной плитой и верхней частью бетона фундамента, чтобы обеспечить передачу поперечной нагрузки. При его отсутствии, должен быть проверен способ передачи нагрузки анкерными болтами. Должны быть предусмотрены удовлетворительные средства дренажа и/или вентиляции для предотвращения накопления воды внутри опор.

7.4.9 Проектирование с помощью испытаний

Может потребоваться экспериментальная проверка полномасштабными испытаниями для подтверждения расчетного сопротивления либо цельной стальной опоры, либо части конструкции. Полномасштабное испытание должно быть проведено для определения сопротивления нагрузке, Ftest, R. Не менее одного испытания должно быть проведено на образце, номинально идентичном серийному изготовлению. Минимальная испытательная нагрузка определяется из:



где

Fr,d – расчетная нагрузка для предельного состояния по несущей способности.

В качестве альтернативы, когда испытание продолжалось до отказа, результаты могут быть использованы для анализа путем пересчета расчетной прочности с фактическими характеристиками конкретного элемента, который привел к повреждению.

7.5 Деревянные столбы

7.5.1 Общие положения

Должны соблюдаться требования стандарта EN 14229 «Строительный лес — деревянные опоры для воздушных ЛЭП».

Однако в качестве альтернативы 7.5.5 следует использовать EN 1995-1-1, если это указано в NNA. При использовании EN 1995-1-1, рекомендуемое значение параметра Kmod, которое напрямую связано с прочностью древесины, составляет [1,0], если оно не указано в NNA или в Национальном приложении NA EN 1995-1.

7.5.2 Основы проектирования

1) Применяются правила, приведенные в разделе 3 «Основы проектирования».

2) Если не указано иное, нет необходимости учитывать сейсмические воздействия, усталостную прочность или конструкцию с учетом огнестойкости.

7.5.3 Материалы

1) Материалы должны соответствовать 7.2.

2) Форма и размеры должны соответствовать EN 14229.

3) Этот стандарт не распространяется на пиломатериалы, ламинированные и клееные пиломатериалы. Для этих материалов следует использовать EN 1995-1-1.

7.5.4 Долговечность

См. требования 7.9.

7. 5.5 Аварийные предельные состояния

7.5.5.1 Основание

1) Деревянные столбы и компоненты должны иметь такие пропорции, чтобы удовлетворялись основные проектные требования к окончательному проектному состоянию, указанные в разделе 3 «Основы проектирования».

2) Частные коэффициенты материала γM принимают следующим образом:

Сопротивление поперечных сечений и элементов деревянных столбов:

- в условиях нормальной нагрузки 

- в аварийных условиях 

- под болтовые соединения 

Для постоянно нагруженных деревянных частей (например, верхней консоли угловой опоры с оттяжками) может потребоваться уменьшение сопротивления. Дополнительная информация должна быть предоставлена в NNA для такого использования.

7.5.5.2 Расчет внутренних нагрузок и моментов

1) Внутренние нагрузки и моменты в любом поперечном сечении конструкции должны определяться, как правило, с использованием линейного общего анализа упругого деформирования.

2) Если это необходимо вследствие гибкости конструкции, для общего анализа следует использовать теорию второго порядка (P-дельта-эффект), учитывающую влияние деформации конструкции. В качестве альтернативы, для линейного анализа следует использовать более высокие частные материальные коэффициенты. Дополнительные требования должны быть указаны в NNA или Проектной спецификации.

3) Общий анализ упругого деформирования должен основываться на предположении, что поведение материала при напряжении-деформации является линейным, независимо от уровня напряжения.

4) В деревянных конструкциях с оттяжками необходимо учитывать одновременное сжатие и изгиб столба (-ов). Также следует учитывать измеренное или максимально допустимое исходное отклонение от прямолинейности.

5) Измеренные значения (при их наличии) размеров столбов также могут быть использованы вместо стандартных табличных значений, приведенных в различных NNA. См. определение допустимого значения отклонения от прямолинейности в EN 14229.

6) Должна учитываться конусность (т. е. равномерное изменение диаметра по длине) деревянного столба. Дополнительная информация (значения конусности и т. д.) должна быть доступна в NNA, Проектной спецификации или в каталогах поставщиков столбов.

7.5.5.3 Сопротивление деревянных элементов

Сопротивление деревянных столбов растяжению, сжатию и изгибу следует определять так, чтобы в любом поперечном сечении столба, выполнялась следующая формула:

где

σd — расчетное напряжение (расчетное значение);

fd – расчетная прочность;

fk — характерная прочность (данная в NNA или поставщиком столбов) в соответствии с EN 14229;

γM1 — частный коэффициент материала для древесины (см. 7.5.5.1).

Значение характерной прочности fk должно соответствовать климатическим условиям, преобладающим в месте произрастания деревьев.

Модуль упругости E указывается в NNA или поставщиком столбов.

ПРИМЕЧАНИЕ: В соответствии с EN 14229, характерная прочность основана на 5 % пределе исключения и рассчитывается по формуле:

где

fm – среднее значение нормально распределенной тестовой выборки;

fs — стандартное отклонение тестового образца;

fm05 — 5-процентное предельное значение исключения для тестовой выборки;

m(fm05 ) — среднее значение fm05 для различных тестовых образцов;

k — приведенный коэффициент, зависящий от размера (= количество испытаний) наименьшего образца. Значение k варьируется от 0,9 до 1,0. Минимальный размер выборки 50.

7.5.5.4 Условия затухания

Деревянные столбы, будучи натуральным продуктом, более подвержены гниению, чем большинство компонентов воздушных ЛЭП.

При проектировании деревянных столбов рекомендуется учитывать весьма вероятную потерю прочности, которая произойдет в течение срока службы столба.

Это может быть сделано путем указания столбов большего размера, чем требуется по первоначальным требованиям прочности, или путем увеличения частного коэффициента.

7.5.6 Предельные состояния эксплуатационной пригодности

1) Предельными состояниями эксплуатационной пригодности для деревянных столбов являются деформации или прогибы, которые могут повлиять на внешний вид или эффективное использование конструкции.

2) Пределы эксплуатационной пригодности связаны с геометрией опоры и должны быть определены в соответствии с требуемыми электрическими зазорами (до земли и конструкции), как указано в разделе 5 «Электрические требования».

3) Варианты пределов эксплуатационной пригодности могут быть указаны в NNA или Проектной спецификации.

7.5.7 Сопротивление соединений

1) Все соединения должны иметь расчетное сопротивление, обеспечивающее сохранение работоспособности конструкции и выполнение основных требований к конструкции, приведенных в разделе 3 «Основы проектирования». EN 1995-1-1 должен использоваться при проектировании соединений, когда это применимо.

2) Расчетное сопротивление болтов сдвигу или растяжению приведено в приложении J.5.

3) Если применимо, EN 1995-1-1 должен использоваться для расчета прочности на сдвиг в соединениях между деревянными частями и в соединениях между деревянной частью и стальной частью.

7.5.8 Проектирование с помощью испытаний

Может потребоваться экспериментальная проверка полномасштабными испытаниями для подтверждения расчетного сопротивления либо всего деревянного столба, либо части конструкции. Полномасштабное испытание должно быть проведено для определения сопротивления нагрузки, Ftest,R. По крайней мере, одно испытание должно быть проведено на образце, представляющем бестарный поставляемый материал. Минимальная испытательная нагрузка определяется из:



где

FR,d — расчетная нагрузка для предельного состояния по несущей способности.

В качестве альтернативы, когда испытание продолжалось до отказа, результаты могут быть использованы для анализа путем пересчета расчетной прочности с фактическими характеристиками конкретного элемента, который привел к повреждению.

Любой такой образец для испытаний следует утилизировать и не использовать в нормальных условиях эксплуатации, поскольку существует вероятность разрыва древесных волокон во время испытания.

7.6 Бетонные столбы

7.6.1 Общие положения

Должны соблюдаться требования EN 1992-1-1, если иное не указано в EN 12843.

Размеры и конструкция столбов должны соответствовать EN 12843. Этот последний документ дополняется следующими пунктами.

7.6.2 Основы проектирования

7.6.2.1 Общие правила

1) Применяются правила, приведенные в разделе 3 «Основы проектирования», хотя традиционные методы проектирования в равной степени приемлемы, если они указаны в NNA.

2) Если не указано иное, нет необходимости учитывать сейсмические воздействия, усталостную прочность или огнестойкость.

7.6.2.2 Расчетная нагрузка

Горизонтальная расчетная нагрузка — это нагрузка, приложенная горизонтально к условному сечению на заданном расстоянии «d» от вершины опоры, обычно d = 0,25 м.

Значение этой расчетной нагрузки таково, что ее действие с точки зрения момента в основании опоры эквивалентно действию расчетных временных нагрузок.

7.6.2.3 Поперечная арматура

Для контроля продольного растрескивания из нескольких потенциальных источников, используется поперечная арматура. Эта арматура состоит из поперечных хомутов или спиралей.

Потенциальные источники растрескивания могут включать поперечные силы, усадку бетона, термические эффекты и эффекты расклинивания из-за предварительного напряжения вблизи концов столба.

7.6.3 Материалы

Материалы должны соответствовать 7.2 и EN 12843.

7.6.4 Аварийные предельные состояния

1) Бетонные столбы и компоненты должны иметь такие пропорции, чтобы удовлетворялись основные проектные требования к окончательному проектному состоянию, указанные в разделе 3 «Основы проектирования».

2) Частный коэффициент для следующих воздействий принимается следующим образом:

усилие предварительного напряжения  или 

(\* в зависимости от того, является ли воздействие благоприятным или нет для расчетного эффекта)

3) Частные материальные коэффициенты γM принимают следующим образом:

бетон 

сталь (обычная или предварительно напряженная) 

Что касается элементов, подлежащих контролю качества, то могут быть приняты более низкие значения γMC и γMS.

7.6.5 Предельные состояния эксплуатационной пригодности

1) Частный коэффициент для следующих действий принимается следующим образом:

усилие предварительного напряжения: 

2) Расчетные значения определяются следующим образом:

максимальный прогиб (где H — общая длина столба) 

максимальная ширина трещин в случае железобетона 

Растягивающие напряжения в бетоне предварительно напряженных железобетонных опор не допускаются при постоянных рабочих нагрузках, а также при нагрузках, меньших или равных 40 % максимальных рабочих нагрузок.

7.6.6 Проектирование с помощью испытаний

Может потребоваться экспериментальная проверка полномасштабными испытаниями для подтверждения расчетного сопротивления либо всего бетонного столба, либо части конструкции. Полномасштабное испытание должно быть проведено для определения сопротивления нагрузки Ftest R. По крайней мере, одно испытание должно быть проведено на образце, номинально идентичном серийному изготовлению. Минимальная испытательная нагрузка определяется из:



где

Fr,d – расчетная нагрузка для предельного состояния по несущей способности.

В качестве альтернативы, когда испытание продолжалось до отказа, результаты могут быть использованы для анализа путем пересчета расчетной прочности с фактическими характеристиками конкретного элемента, который привел к повреждению.

Кроме того, максимальный прогиб в предельных состояниях эксплуатационной пригодности и остаточный прогиб после снятия нагрузки должны соответствовать следующим критериям:

• максимальный прогиб после постоянной нагрузки в течение 15 мин при предельном состоянии эксплуатационной пригодности (где H – общая длина столба) 

• максимальный остаточный прогиб 

7.7 Опоры с оттяжками

7.7.1 Общие положения

Опора с оттяжками может представлять собой решетчатую стальную конструкцию или столб из трубчатой стали, бетона или дерева с оттяжками из оцинкованных стальных проволочных жил повышенной прочности. Существуют различные типы конфигураций, такие как V-образная опора, портал, колонна, цепная, конструкции с деревянными опорами с двойными оттяжками, конструкции с трубчатыми опорами с многоуровневыми оттяжками и т.д.

Должны соблюдаться требования основных Еврокодов, если иное не указано ниже.

7.7.2 Основы проектирования

1) Применяются правила, приведенные в разделе 3 «Основы проектирования».

2) Если не указано иное, нет необходимости учитывать сейсмические воздействия, усталостную прочность или конструкцию с учетом огнестойкости.

7.7.3 Материалы

Материалы должны соответствовать 7.2 и документам на исходные одиночные опоры.

Для оттяжек должны соблюдаться требования стандарта EN 1993-1-11 «Проектирование стальных конструкций с компонентами оттяжки», если это применимо к опорным конструкциям ЛЭП. В нем также приводятся правила проектирования и требования к размерам оттяжек, седел и наконечникам.

7.7.4 Аварийные предельные состояния

7.7.4.1 Основание

1) Опоры с оттяжками и их элементы должны иметь такие пропорции, чтобы удовлетворялись основные проектные требования к окончательному расчетному состоянию, приведенные в разделе 3 «Основы проектирования».

2) Частный материальный коэффициент γM принимается таким, как указано в исходной опоре, и дополнительно:

- сопротивление оттяжек и креплений оттяжек нормативной прочности 

- сопротивление изоляторов с оттяжками нормативной прочности 

3) Опора с оттяжками обычно должна анализироваться с использованием теории второго порядка. Встроенные опоры с предварительно натянутыми оттяжками и другие простые конструкции часто бывают достаточно жесткими, чтобы можно было использовать теорию первого порядка. В опорах с одной оттяжкой (только на уровне одной оттяжки) может применяться линейный расчет упругого деформирования, если общая устойчивость опор будет проверяться в отдельных расчетах, где учитывается геометрическая нелинейность (PD-effect).

4) Анализ должен основываться на предположении, что поведение материала при растяжении-напряжении является линейным.

5) Окончательное расчетное сопротивление оттяжки будет уменьшено от теоретического значения после сборки и монтажа за счет изгиба оттяжки вокруг седла, наконечника, клинового замка или болта. Это необходимо учитывать при проектировании. Подробности см. в EN 1993-1-11 и EN 12385 (все части).

Характерной прочностью оттяжки должно быть номинальное значение предельной прочности на разрыв, указанное в соответствующих стандартах, таких как EN 12385 (все части), или оно может быть взято из спецификаций изготовителя, которые должны быть основаны на лабораторных испытаниях.

Окончательное расчетное сопротивление оттяжки в сборе рассчитывается по формуле:

где

Fd,g – расчетное сопротивление узла с оттяжками;

Fke,g — приведенное характерное сопротивление оттяжки;

Fk,g — характерное сопротивление оттяжки;

γM2 — частный материальный коэффициент оттяжки;

Ke – коэффициент потерь, зависящий от типа концевого соединения (см. табл. 7.1).

Значение коэффициента потерь Ke может быть подтверждено лабораторными испытаниями или расчетами на основе методов, описанных в EN 1993-1-11. При отсутствии испытаний или расчетов, значение коэффициента потерь Ке можно взять из таблицы 7.1. Другие значения и параметры могут быть указаны в NNA.

Таблица 7.1 — Коэффициент потерь, Ke, на сопротивление узла с оттяжками

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип завершения | Ке | Примечания |
| Муфта с металлическим наполнением | 1,00 |  |
| Заполненная смолой муфта | 1,00 |  |
| Винтовая концевая муфта | 1,00 |  |
| Запрессованная муфта | 0,90 |  |
| Устье с защитным наконечником | 0,90 |  |
| Клиновой замок | 0,80 | Тип и размер в соответствии с инструкциями производителя |
| Наконечник и седло | 0,80 | Тип и размер в соответствии с инструкциями производителя |
| U-образный болт | 0,80 | Тип и размер в соответствии с инструкциями производителя |
| Прочие | 0,50-0,70 | Штифтовой болт и т. д., зависит от радиуса изгиба (см. правила расчета в EN 1993-1-11) |

7.7.4.2 Расчет внутренних нагрузок и моментов

Решетчатая колонна (опора или траверса) должна быть проанализирована на изгиб и кручение с использованием трехмерной модели балки или элемента с шарнирным окончанием или с использованием упрощенной трехмерной модели балки, где осевая жесткость и изгибная жесткость должны быть рассчитаны на основе основных свойств элемента, а жесткость на кручение должна быть получена из свойств раскоса.

Должна быть проверена потеря устойчивости холодногнутых профилей при кручении-изгибе. Должен учитываться локальный изгиб основных полок и раскосов.

Использование горизонтальных диагональных связывающих элементов внутри корпуса квадратной решетчатой опоры должно использоваться для предотвращения возможного искажения поперечного сечения.

Распределение поперечной силы должно быть принято во внимание при расчете усилий стержня на обоих концах шарнирной решетчатой колонны. Для учета дефектов в колонне может быть добавлена дополнительная нагрузка, действующая поперек колонны. Значение  осевой силы рекомендуется.

В стальных опорах с несколькими оттяжками, расчетная модель также должна учитывать большие смещения и изменяющиеся положения точек нагрузки. Рекомендуется пошаговый анализ методом конечных элементов (FEM) второго порядка. Следует соблюдать осторожность при выборе размеров оттяжек и указании начального натяжения оттяжек.

Столбы с оттяжками должны быть рассчитаны на изгиб и коробление. Для трубчатых стальных столбов, локальную потерю устойчивости следует анализировать в соответствии с 7.4.6.

7.7.4.3 Анализ второго порядка

При анализе второго порядка необходимо учитывать следующие аспекты:

Начальное отклонение от прямолинейности принимается для секций, шарнирно закрепленных на обоих концах (стойки опоры). Нормальное расчетное значение составляет L/600 для стальных секций и L/150 для деревянных секций, где L — длина стойки. Допускается использование меньших значений (не менее L/1000), если они основаны на измерениях. Отклонение от прямолинейности должно применяться в наиболее неблагоприятном направлении с учетом соответствующего отклика или напряжения. Встроенные опоры с оттяжками должны быть проанализированы с использованием начального отклонения от прямолинейности или наклона.

Следует принимать во внимание ослабление одной или нескольких оттяжек в результате распределения нагрузки в различных вариантах нагрузки.

Допуск на эксцентриситет 20 мм (помимо расчетного значения эксцентриситета) на концах шарнирной решетчатой стойки следует применять при расчете изгибающих напряжений в амортизационной стойке. Допустимое отклонение должно действовать в наиболее неблагоприятном направлении с учетом соответствующей реакции или напряжения. Можно использовать меньшее значение, если оно основано на измерениях.

Если торцевой эксцентриситет на концах шарнирных решетчатых стоек используется для компенсации изгибающего воздействия ветровой нагрузки на стойку, то дополнительно проверяют специальное загружение следующим образом: экстремальная порывистая ветровая нагрузка на провода и экстремальная 10-минутная средняя ветровая нагрузка на опору.

7.7.4.4 Максимальная гибкость

Ниже приведены предельные значения гибкости структурных элементов в опорах с оттяжками. Значения для опор относятся также к каждому пролету опоры, если опора содержит более одного уровня оттяжек. Для конических трубчатых или деревянных опор для проверки гибкости следует использовать средний диаметр.

• Решетчатая стальная опора (общая гибкость) 150

• Трубчатая стальная опора 150

• Деревянная опора 250

• Горизонтальная балка между опорами 250 (в портальных опорах с множественными оттяжками)

7.7.5 Предельные состояния эксплуатационной пригодности

Пределы эксплуатационной пригодности связаны с геометрией опоры и должны быть определены в соответствии с требуемыми электрическими зазорами (до земли и конструкции), как указано в разделе 5 «Электрические требования».

7.7.6 Детали конструкции оттяжек

Конструкция оттяжек должна основываться на испытанных значениях параметров, указанных в соответствующих стандартах или изготовителем.

При анализе должен использоваться эффективный модуль упругости оттяжки, определенный по стандарту, изготовителю или по результатам испытаний. При необходимости следует использовать методы и расчетные параметры EN 1993-1-11.

Для оттяжек следует использовать стальные оцинкованные жилы или стальные тросы со стальным сердечником. Для выдерживания больших токов короткого замыкания, в оттяжке стальные провода могут быть дополнены алюминиевыми проводами типа AL1/STYZ.

Оттяжки должны быть оборудованы натяжными устройствами. Соединение между оттяжкой и анкерным устройством должно быть доступным. Соединения и натяжные устройства должны быть защищены от ослабления в процессе эксплуатации.

При креплении наконечников, клиновых замков или других соответствующей арматуры должны использоваться надежные и задокументированные типовые испытания. Они должны иметь разумный радиус изгиба (подтвержденный испытаниями), если оттяжка будет согнута. Однако веревочные зажимы не принимаются. См. требования и подробности в EN 1993-1-11. Дополнительная информация может быть дана в NNA и Проектной спецификации.

Оттяжки, используемые в таких конструкциях, как V-образная опора, портал, цепная и опора с деревянными стойками с двумя оттяжками, обычно предварительно натягиваются с небольшим усилием после возведения конструкции. Влиянием этой силы, обычно не превышающей 20 кН, в расчетах можно пренебречь.

Оттяжки, используемые в других конструкциях, обычно предварительно натягиваются до определенного значения, чтобы уменьшить деформацию при экстремальных нагрузках. Напряжение предварительного натяжения должно быть указано в процентах от разрушающего или максимального напряжения. Угловые опоры должны быть вертикальными после натяжки проводов при температуре нормальных условий.

Чтобы свести к минимуму возможность вибраций оттяжек, предварительное натяжение обычно должно быть менее 15 % от разрывной нагрузки оттяжки. В угловых опорах могут потребоваться более высокие значения.

В опорах с оттяжками, где в качестве стоек, траверс или горизонталей используются трубчатые секции, особое внимание следует уделять предотвращению возможных явлений вибрации, "пляски" и дрожания в трубчатых элементах.

Если в концевых частях оттяжек используются литые стальные втулки или литые клиновые втулки, отсутствие дефектов в отливке должно быть подтверждено приемлемым неразрушающим испытанием или сертификатом изготовителя.

Фактическое отклонение от прямолинейности стойки опоры должно быть проверено осмотром перед монтажом и должно соответствовать расчетному значению.

Возможное предварительное натяжение оттяжек должно проверяться и поддерживаться во время периодических проверок. Для многоуровневой опоры с оттяжками необходимы инструкции по монтажным работам, поскольку конструкция чувствительна к предварительному натяжению оттяжек.

Следует позаботиться о защите оттяжки в населенных пунктах от перекрытия. В некоторых случаях может быть необходимо/рекомендовано утепление оттяжки. Кроме того, с точки зрения электробезопасности, следует учитывать оттяжки, которые могут ослабнуть или расшататься под действием ветра, технического обслуживания или другого события.

Все оттяжки, закрепленные в земле, должны быть оборудованы средствами, делающими оттяжки как можно более заметными.

Должное внимание следует уделить защите оттяжки от возможного воздействия напряжения. Все оттяжки для деревянных столбов и столбов из материалов с изолирующими свойствами, расположенные на расстоянии менее 0,5 м +D el от токоведущих частей, должны быть оборудованы изолятором достаточной конструкции, за исключением случаев, когда оттяжка электрически соединена с землей на конце земли или на конце конструкции. Заземление должно быть таким, чтобы в случае выхода из строя оттяжки, ни одна часть не попала под напряжение и не представляла опасности для населения. При необходимости, заземление должно выполняться с обоих концов.

Для всех других опор с оттяжками, оттяжки должны быть включены в систему заземления опоры. Они должны быть оборудованы изолятором оттяжек, если это указано в Проектной спецификации.

Расстояние между нижней частью изолятора оттяжки и землей должно быть не менее 3,5 м + Del. Это расстояние должно быть не менее 3,0 м + Del с учетом ослабления или провисания оттяжки на нижнем конце.

Дополнительные указания могут быть даны в NNA.

7.8 Другие конструкции

Другие конструкции должны быть спроектированы в соответствии с требованиями основных Еврокодов: EN 1992-1-1 и EN 1993-1-1.

Анализ и проектирование других конкретных конструкций, не охваченных вышеуказанными подразделами, должны быть согласованы между заказчиком и проектировщиком/изготовителем до начала действия контракта.

7.9 Защита от коррозии и отделка

7.9.1 Общие положения

Опоры должны быть защищены от коррозии для выполнения предусмотренного срока службы в соответствии с разделом 3 «Основы проектирования» с учетом предполагаемого режима обслуживания. Следующие подразделы включают минимальные, но расширенные требования, включая соответствие местным экологическим нормам, которые могут быть включены в NNA или проектную спецификацию.

7.9.2 Цинкование

Если иное не указано в Проектной спецификации, после завершения всех процедур изготовления, все стальные материалы должны быть подвергнуты горячему цинкованию и испытаны в соответствии с EN ISO 1461. Масса покрытия (если не указано иное) должна соответствовать требованиям EN ISO 1461.

Все стальные материалы перед цинкованием должны быть очищены от каких-либо веществ или примесей, которые могут отрицательно сказаться на качестве отделки. Подготовка к цинкованию и само цинкование не должны отрицательно влиять на механические свойства материала с покрытием. Все болты, резьбовые стержни и гайки, включая части с наружной резьбой, должны быть оцинкованы методом горячего погружения (см. EN ISO 1461:2009 - C.2.2).

7.9.3 Напыление металла

Если иное не указано в Проектной спецификации, когда детали слишком велики или их трудно оцинковывать, они должны быть защищены от коррозии путем термического напыления цинкового покрытия на основной металл, выполняемого в соответствии с EN ISO 14713 и в соответствии с EN ISO 2063. Толщина цинкового покрытия должна быть не менее 80 мкм. При использовании этой системы, внутренняя поверхность полых секций также должна быть защищена.

7.9.4 Оцинковка краской на заводе (система Duplex)

Если лакокрасочное покрытие должно быть нанесено на заводе после горячего цинкования стальных конструкций, это покрытие должно быть выполнено как можно скорее.

Материал покрытия не должен содержать свинца в соответствии с национальными общими правилами защиты персонала. Рекомендуемые материалы, обеспечивающие отличное сцепление с новой оцинкованной сталью, предпочтительно должны быть однокомпонентными материалами на основе виниловых или акриловых сополимеров в водной дисперсии. Обычно однослойные покрытия наносятся с толщиной высыхания 70 мкм для обеспечения надлежащей защиты.

Если этого требует техническая карта поставщика лакокрасочного материала, детали из оцинкованной стали должны быть подвергнуты дробеструйной очистке перед нанесением покрытия. В качестве абразивного материала для достижения наилучших результатов, следует использовать корунд или гранулы из высококачественной стали размером от 0,25 мм до 0,50 мм. Давление струйной очистки и расстояние определяются таким образом, чтобы максимальная толщина сдуваемого цинка составляла 10 мкм.

Оцинкованная поверхность всех деталей, подлежащих покрытию, должна быть очищена от пыли, масла и любых посторонних веществ, а также продуктов, вызывающих коррозию цинка. Эти детали должны быть покрыты сразу же после обработки поверхности. Подготовку поверхности и собственно саму покраску необходимо производить в помещении.

После нанесения покрытия, номер детали на каждой конструктивной детали должен оставаться разборчивым для правильного выполнения монтажных работ. Соединительные детали, такие как фасонки, не нуждаются в покрытии.

Сушка строительных деталей с покрытием должна производиться на заводе в достаточной степени, чтобы при транспортировке не возникало повреждений поверхностей с покрытием. Во избежание повреждений при транспортировке, между каждой отдельной секцией должны быть вставлены куски двустороннего картона с алюминиевым покрытием или эквивалентного материала.

Масса связки конструктивных элементов с покрытием должна быть рассчитана таким образом, чтобы те элементы, которые находятся внизу, не пострадали от давления.

После сборки опор, на все мелкие детали без покрытия (болты, гайки, фасонки и т.п.) или детали с поврежденным покрытием необходимо нанести покрытие на месте.

7.9.5 Декоративная отделка

Для систем дневной предупредительной сигнализации воздушных судов, следует обратить внимание на тот факт, что используемая система окрашивания должна быть совместима с отделкой основной поверхности. Должная ссылка на Правила Международной организации гражданской авиации (ICAO) - Приложение 14, Глава 6 или местные правила должны быть включены в NNA или Проектную спецификацию.

7.9.6 Использование атмосферостойких сталей

Использование сталей, устойчивых к атмосферным воздействиям, требует особых проектных соображений и опыта полномасштабных испытаний. Их следует использовать с осторожностью в областях, где наблюдается ограниченная коррозия, поскольку некоторая коррозия необходима для обеспечения слоя атмосферостойкости.

7.9.7 Защита деревянных столбов

Деревянные столбы должны быть защищены от порчи пропиткой солью или креозотом или другими утвержденными консервантами от гниения, птиц и насекомых. Эта защита увеличивает срок службы конструкции из дерева.

Особое внимание следует уделить просверленным отверстиям и заусенцам, независимо от того, сделаны ли они до или после пропитки консервантом.

7.10 Средства технического обслуживания

7.10.1 Восхождение

Средства, обеспечивающие безопасный доступ уполномоченного персонала к сооружениям, должны быть такими, как указано в Проектной спецификации и/или в NNA. Там, где это уместно, это должно включать доступ для обслуживания линии под напряжением. Доступ к траверсам столбов должен осуществляться предпочтительно с помощью легкого съемного устройства, рассчитанного на выдерживание необходимых нагрузок. При проектировании конструкций должны учитываться требования безопасного восхождения. Каждый NC должен зафиксировать в NNA безопасный способ доступа к опоре столба.

Должны быть приняты во внимание требования по предотвращению несанкционированного доступа к опорам, как указано в 7.10.3.

7.10.2 Ремонтопригодность

В дополнение к приспособлениям для подъема, обеспечение других приспособлений/отверстий для установки оборудования для технического обслуживания должно быть указано в Проектной спецификации и/или в NNA.

7.10.3 Требования безопасности

Требования и методы обеспечения следующего должны быть такими, как указано в Проектной спецификации и/или в NNA, и должны учитывать соответствующие национальные (и международные) правовые обязательства, такие как:

• предоставление информации о безопасности для широкой публики (например, предупредительные знаки, номер телефона для экстренной связи);

• предотвращение несанкционированного восхождения;

• предоставление уполномоченному персоналу средств, позволяющих им правильно идентифицировать находящиеся под напряжением и обесточенные провода (например, маркировка цепи);

• возможность присоединения заземляющего провода и заземления опоры.

7.11 Нагрузочные испытания

Испытания на нагрузку опор воздушных ЛЭП должны проводиться в соответствии с EN 60652.

7.12 Сборка и установка

Качество сборки и монтажа должно соответствовать минимальным требованиям EN 1992-1-1, EN 1993-1-1, EN 1995-1-1 и EN 1090-1.

8 Фундаменты

8.1. Введение

Фундаменты выполняют задачу передачи конструкционных нагрузок от опоры к грунту, а также защиты опоры от критических движений грунта.

Следует учитывать общие требования EN 1997-1:2004 (разделы с 1 по 5) и EN 1997-2:2007.

В следующих подразделах приведены дополнительные сведения о конкретных целях фундаментов воздушных ЛЭП.

Подраздел 8.2 вводит основы геотехнического проектирования (раздел 2 EN 1997-1:2004). Примеры расчетных моделей приведены в приложении М.

Подраздел 8.3 посвящен исследованию почвы и геотехническим данным (раздел 3 EN 1997-1:2004 и EN 1997-2:2007).

Подразделы 8.4 и 8.5 касаются надзора за строительством, мониторинга и технического обслуживания (раздел 4 EN 1997-1:2004), а также заполнения, осушения, улучшения и укрепления грунта (раздел 5 EN 1997-1:2004).

Подробные спецификации и дополнительные требования к изложенным в настоящем разделе должны быть указаны в NNA или проектной спецификации.

Фундаменты для опор могут быть в виде одинарных фундаментов или отдельных оснований для каждой опоры.

Нагрузка на одинарные основания преимущественно проявляется в виде опрокидывающего момента, которому обычно противостоит боковое давление грунта, а также дополнительные сдвиговые и вертикальные нагрузки, которым противостоит направленное вверх давление грунта.

Распространенными типами одинарных фундаментов являются моноблочные основания, основания на подушках или плитах, ростверковые основания, кессонные или столбчатые фундаменты, а также односвайные или групповые свайные фундаменты.

Когда для каждой опоры предусмотрены отдельные основания, преобладающими нагрузками являются вертикальные нисходящие и подъемные нагрузки. Поднятию обычно сопротивляется собственный вес основной массы фундамента, насыпи грунта и/или сдвигающие силы в грунте. Это также относится к фундаментам с оттяжками. Нагрузкам на сжатие противостоит сопротивление грунта.

Распространенными типами отдельных оснований являются (шаговые) блочные основания с подкапыванием или без него (грибовидные, сплошные фундаменты), шнековые буровые основания расширенным основанием или без него, столбчатые или кессонные фундаменты, ростверковые фундаменты и фундаменты с вертикальными или наклонными сваями.

8.2 Основы геотехнического проектирования (EN 1997-1:2004 - Раздел 2)

8.2.1 Общие положения

Фундаменты для опор следует рассматривать как фундаменты геотехнической категории 1 или 2 (см. подпункт 2.1 EN 1997-1:2004).

Фундаменты воздушных ЛЭП напряжением не выше 45 кВ переменного тока могут рассматриваться как фундаменты геотехнической категории 1, тогда как фундаменты воздушных ЛЭП напряжением выше 45 кВ переменного тока должны рассматриваться как фундаменты геотехнической категории 2.

8.2.2 Геотехнический проект расчетным способом

Модель расчета может состоять из любой из следующиз моделей:

• аналитическая модель;

• полуэмпирическая модель;

• численная модель.

Модели, которые должны использоваться для определения сопротивления фундамента, приведены в соответствующих сводах правил, как указано в EN 1997-1, или в NNA, или в соответствующей литературе, или те модели, которые использовались с удовлетворительным практическим опытом.

Примеры аналитических моделей для расчета сопротивления подъему приведены в Приложении M.2 для следующего:

• бетонные шаговые блочные фундаменты с подкапыванием;

• бетонные шаговые блочные фундаменты без подкапывания.

Примеры полуэмпирических моделей для оценки устойчивости приведены в Приложении M.3 для:

• моноблочные фундаменты, плитные фундаменты;

• плитные фундаменты ростверкового типа;

• односвайные фундаменты;

• отдельные шаговые блочные фундаменты (грибовидные);

• шнековые буровые и земляные фундаменты;

• отдельные ростверковые фундаменты;

• свайные фундаменты.

Должно быть проверено, что предельные состояния по несущей способности не превышаются:

• внутреннее разрушение или чрезмерная деформация конструкции или конструктивных элементов, включая фундаменты, сваи или стены подвала, в которых прочность строительных материалов имеет большое значение для обеспечения сопротивления (STR);

• разрушение или чрезмерная деформация грунта, при которых прочность грунта или горной породы имеет большое значение для обеспечения сопротивления (GEO).

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Предельное состояние GEO часто имеет решающее значение для определения размеров конструктивных элементов, связанных с фундаментами или подпорными стенами, а иногда и для прочности конструктивных элементов.

При рассмотрении предельного состояния разрушения или чрезмерной деформации конструктивного элемента или участка грунта (STR и GEO), должно быть проверено, что:



Ed — суммарный расчетный эффект воздействий на фундаменты в результате всех воздействий на опоры, как определено в разделе 4, и от самих опор. Частные коэффициенты воздействий, зависящие от уровня надежности, уже включены в расчет воздействий на опоры.

Rd – расчетное сопротивление фундаментов.

Частные коэффициенты могут применяться либо:

• к сопротивлениям (R): Rd = R {Xk} / γR (подход к проектированию 2 EN 1997-1)

• к земельным участкам (X): Rd = R {Xk / γM} (подход 3 к проектированию 3 EN 1997-1)

Набор частных коэффициентов, применяемых к основным свойствам грунта (или параметрам грунта) в подходе к проектированию 3, приведен в следующей таблице 8.1:

Таблица 8.1 — Частные коэффициенты для параметров грунта (в соответствии с Приложением А EN 1997-1:2004)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры почвы | Символ | Значение |
| Угол сопротивления сдвигу\* | γC | 1,25 |
| Эффективное сцепление | γc | 1,25 |
| Недренированная прочность на сдвиг | γcu | 1,4 |
| Несдерживаемая сила | γqu | 1,4 |
| Плотность веса | γY | 1 |
| \* : Этот коэффициент применяется к тангенсу cp' | | |

Частные коэффициенты γR, применяемые к сопротивлениям, могут быть следующими:

• содержится в Приложении А к EN 1997-1:2004 (если применимо),

• определяется испытанием или расчетом.

В первом случае, определение γR можно проводить в соответствии с Приложением D стандарта EN 1990:2002 (Проектирование с помощью испытаний).

ПРИМЕЧАНИЕ 2: В приложении M.3 приведены частные коэффициенты γR для некоторых полуэмпирических моделей сопротивления.

Выбор подхода к проектированию и значения частных коэффициентов должны быть указаны в NNA или Проектной спецификации.

EN 1997-1 Подход к проектированию 1 также может быть указан в NNA или Проектной спецификации. В этом случае, набор частных коэффициентов для воздействий, которые должны использоваться, приведен в EN 1997-1:2004, Приложение А.

При проектировании фундамента, предельные значения перемещений фундамента должны быть указаны в NNA или Проектной спецификации.

В качестве руководства, могут быть приняты предельные значения смещения, указанные в IEC 60826 или в Приложении H к EN 1997-1:2004.

8.2.3 Проектирование по предписывающим мерам

Фундамент из самонесущих деревянных столбов на средних или хороших грунтах можно соорудить по правилу образца:

«Самонесущие деревянные столбы должны возводиться методом прямой заделки в землю. Глубина должна быть не менее 1/7 длины столба и не менее 1,5 м. Выемка должна быть заполнена гравием и камнями, которые должны быть тщательно утрамбованы для обеспечения поперечной жесткости засыпки. Бетон можно использовать, если нет риска застоя воды».

На бедных почвах может потребоваться качественная засыпка или бетон.

8.2.4 Нагрузочные испытания и испытания на экспериментальных моделях

Подробности, касающиеся подготовки испытаний, организации испытаний, процедуры испытаний и оценки, приведены в EN 61773.

8.3 Исследование грунта и геотехнические данные (EN 1997-1:2004 - Раздел 3)

Перед определением типа фундамента, его формы и размеров, следует изучить строение грунта под поверхностью на глубину не менее эффективной ширины фундамента, а в случае свайного фундамента - больше глубины вершины сваи, должны быть известны достаточно подробно. Природные риски также должны учитываться при выборе типа фундамента.

Геотехнические изыскания должны планироваться с учетом типа фундамента и необходимых параметров для его проектирования.

Исследования грунта должны проводиться на такую глубину, чтобы были учтены все слои, существенно влияющие на прочность фундамента. При определении объема и глубины исследования почвы, следует принимать во внимание уже имеющуюся информацию о структуре, однородности и характеристиках отдельных слоев. Там, где это оправдано, дальнейшим исследованием почвы можно пренебречь.

Приложение М.1 дает дополнительную информацию о геотехнических параметрах грунтов и горных пород.

8.4 Надзор за строительством, мониторинг и техническое обслуживание (EN 1997-1:2004 - Раздел 4)

До начала строительства, должен быть разработан план действий на случай непредвиденных обстоятельств, который может быть принят, если земляные работы выявят характеристики или поведение грунта, выходящие за допустимые пределы.

8.5 Заполнение, осушение, улучшение и укрепление грунта (EN 1997-1:2004 - Раздел 5)

При использовании обратной засыпки, ее уплотнение должно производиться с осторожностью, чтобы добиться характеристик грунта, максимально приближенных к характеристикам ненарушенного грунта.

8.6 Взаимодействие между опорными фундаментами и грунтом

Особое внимание следует уделить взаимодействию:

• нагрузки от опоры;

• нагрузки от активного давления грунта, постоянного веса фундамента и грунта;

• выталкивающее воздействие грунтовых вод на грунт и фундамент. Они, вместе с силами реакции грунтовых слоев, должны учитываться при расчете опорных фундаментов.

Кроме того, критерии предельного состояния для:

• допустимой/недопустимой осадки фундамента, в том числе неравномерная осадка;

• приложенных деформаций к опоре или опорным элементам;

• наклонов опор (особенно угловых и тупиковых) должны быть определены и учтены.

9 Провода и заземляющие проводники

9.1. Введение

В этом пункте приведены требования к проводам и заземляющим проводникам (заземлителям) с телекоммуникационными цепями или без них, которые крепятся к опорам воздушной ЛЭП.

Провода и заземляющие проводники должны быть спроектированы, выбраны и испытаны в соответствии с электрическими, механическими и телекоммуникационными требованиями, как это определено параметрами проектирования линии. Следует также учитывать необходимую защиту от усталости из-за вибрации. Расчетный срок службы может быть предметом соглашения между поставщиком и покупателем.

Линии, натянутые с изолированными проводами (в соответствии с EN 50397-1), и воздушные изолированные кабельные системы с номинальным напряжением сети от 1 кВ до 45 кВ переменного тока включительно, должны быть спроектированы в соответствии с настоящим стандартом.

В следующих подразделах термин «провод» следует понимать как включающий термин «заземляющие проводники» и, где это уместно, провода и заземляющие проводники с телекоммуникационными цепями.

ПРИМЕЧАНИЕ: Этот стандарт не применяется к кабелям с плетеной оболочкой или ко всем диэлектрическим самонесущим телекоммуникационным кабелям (ADSS). Точно так же сюда не входят телекоммуникационные кабели с металлической оболочкой, которые не используются в качестве заземляющих проводников.

9.2 Провода на алюминиевой основе

9.2.1 Характеристики и размеры

Провода должны быть изготовлены из круглой или профильной проволоки из алюминия или алюминиевого сплава и могут содержать стальные оцинкованные проволоки или стальные плакированные алюминием проволоки для дополнительного усиления. Заземляющие проводники должны быть спроектированы по тем же стандартам, что и фазные провода.

Однородные круглые или формованные жилы из алюминия (AL1) и из алюминиевого сплава (ALx), а также композитные круглые или формованные жилы из алюминия или алюминиевого сплава, армированные сталью (AL1/STyz или ALx/STyz), провод из алюминия или алюминиевого сплава, плакированный алюминием, армированный сталью (AL1/yzSA или ALx/yzSA) и алюминиевый провод, армированный алюминиевым сплавом (AL1/ALx), должны быть спроектированы в соответствии с EN 50182, EN 62004 или EN 62219 в зависимости от обстоятельств.

Для алюминиевых проводов с площадью поперечного сечения более 50 мм 2 рекомендуется, чтобы диаметр наружного слоя круглых жил был не менее 2,33 мм.

Спецификации материалов для жил, используемых в этих проводах, должны соответствовать EN 50183, EN 50189, EN 60889, EN 61232 и EN 62004, а проектные решения должны быть указаны в Проектной спецификации или согласованы покупателем с поставщиком.

Для некоторых проектов при строительстве воздушных ЛЭП могут использоваться типы проводов или материалы, не включенные в существующие стандарты EN. В таких случаях, и при отсутствии окончательных стандартов, в Проектной спецификации должны быть указаны все требуемые характеристики вместе с соответствующими методами испытаний со ссылками на стандарты EN.

Когда используются материалы, которые отличаются от тех, что указаны в упомянутых стандартах, их характеристики и их пригодность для каждого отдельного применения должны быть проверены, как указано в этом стандарте или в Проектной спецификации.

При проектировании провода, включая его конструкцию и характеристики материалов, необходимо учитывать влияние постоянного удлинения (долгосрочной ползучести) на провисание проводника.

ПРИМЕЧАНИЕ: Руководство по методам расчета конструкции, включая оценку ползучести провода и других характеристик, можно найти в IEC 61597 и EN 61395.

9.2.2 Электрические требования

Удельное сопротивление проволоки из алюминия или алюминиевого сплава выбирают из значений, указанных в EN 50183, EN 60889, EN 62004 и EN 62219. Сопротивление провода постоянному току при 20 °C должно быть рассчитано в соответствии с принципами EN 50182.

Сопротивления предпочтительного диапазона круглых жил проводов приведены в EN 50182.

Для проводов с различными сечениями, сопротивление должно рассчитываться по удельному сопротивлению провода, площади поперечного сечения и параметрам скрутки провода.

Допустимая нагрузка по току (мощность) и характеристики в условиях короткого замыкания, особенно влияние на прочность, должны быть проверены на соответствие требованиям Проектной спецификации. Также следует учитывать прогнозируемый уровень радиошума и уровень акустического шума проводов для систем более высокого напряжения в соответствии с требованиями технического задания (см. 5.10.1 и 5.10.2).

9.2.3 Рабочая температура проводника и характеристики смазки

Максимальные эксплуатационные температуры алюминиевых проводников при различных условиях эксплуатации должны быть указаны либо в NNA, либо в Проектной спецификации. Это должно дать некоторые или все требования при следующих условиях:

• максимальная рабочая температура при нормальной загрузке линии;

• максимальная кратковременная температура в течение заданного времени при различных нагрузках линии выше нормального уровня;

• максимальная температура из-за заданной неисправности энергосистемы.

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Использование некоторых специальных сплавов обычно позволяет использовать более высокие рабочие температуры.

Информация по расчету повышения температуры из-за токов короткого замыкания приведена в EN 60865-1 и в Технической брошюре CIGRE № 207 «Температурные характеристики воздушных проводов». В качестве альтернативы и с соответствующими мерами предосторожности во время испытания, можно измерить фактическое повышение температуры из-за токов короткого замыкания.

В Проектной спецификации должны быть указаны характеристики смазки провода, чтобы обеспечить максимальную температуру провода при нормальной эксплуатации и во время кратковременных перегрузок после неисправности энергосистемы.

Доступны смазки, содержащие мыльные добавки, и смазки без мыла. Эти два типа смазок обладают разными эксплуатационными характеристиками, важнейшими из которых являются точка отделения масла и температура каплепадения. В случае смазок, не содержащих мыла, температура каплепадения не обязательно должна превышать 100°C.

ПРИМЕЧАНИЕ 2: Дополнительная информация о смазках и их применении приведена в EN 50326.

9.2.4 Механические требования

Номинальная прочность на растяжение проводников на алюминиевой основе, рассчитанная в соответствии с EN 50182, должна быть достаточной для удовлетворения требований по нагрузке, определенных в разделе 4, в сочетании с частными коэффициентами для проводов, указанными в 9.6.2.

При необходимости, максимально допустимая растягивающая нагрузка в проводе должна быть указана либо в NNA, либо в Проектной спецификации.

9.2.5 Защита от коррозии

Покупатель и поставщик должны согласовать требования к защите проводов от коррозии, которые могут включать смазку и/или цинковое покрытие или алюминиевую оболочку стальных проводов.

Смазка при использовании должна соответствовать требованиям EN 50326. В Проектной спецификации должны быть указаны тип и необходимое количество смазки, которую необходимо нанести при скрутке провода. Обычно это должно быть выбрано из одного из случаев, определенных в приложении С стандарта EN 50182. При напряжении свыше 100 кВ, смазку на наружный слой проволок токопровода наносить не следует. Свойства смазки не должны допускать ее миграции на поверхность провода в течение срока службы.

Требования к покрытию или плакированию стальной проволоки цинком или алюминием должны быть указаны в Проектной спецификации проекта со ссылкой на EN 50189 или EN 61232, в зависимости от обстоятельств.

9.2.6 Требования к испытаниям

Требования к испытаниям проводов на алюминиевой основе должны соответствовать EN 50182.

В Проектной спецификации также могут быть указаны требования к испытанию провода на ползучесть или испытанию на модуль упругости.

9.3 Провода на стальной основе

9.3.1 Характеристики и размеры

Информация, относящаяся к методам конструирования, приведена в EN 50182. Спецификации материалов приведены в EN 50189 для стальной проволоки с цинковым покрытием и EN 61232 для стальной проволоки, плакированной алюминием.

ПРИМЕЧАНИЕ: См. также 9.2.1.

9.3.2 Электрические требования

Удельное сопротивление стальной проволоки с цинковым покрытием приведено для расчетов в стандарте EN 50189, а для стальной проволоки с алюминиевым покрытием указано в стандарте EN 61232. Сопротивление провода постоянному току при 20 °C следует рассчитывать в соответствии с принципами EN 50182.

ПРИМЕЧАНИЕ: См. также 9.2.2. по отношению к номинальному току, характеристикам короткого замыкания и уровню радиопомех, если это применимо к конструкции провода.

9.3.3 Рабочая температура провода и характеристики смазки

Максимальные рабочие температуры стальных проводов при различных условиях эксплуатации должны быть указаны либо в NNA, либо в Проектной спецификации. Это должно дать некоторые или все требования при следующих условиях:

• максимальная рабочая температура при нормальной загрузке линии;

• максимальная кратковременная температура в течение заданного времени при различных нагрузках линии выше нормального уровня;

• максимальная температура из-за заданной неисправности энергосистемы.

В Проектной спецификации должны быть указаны характеристики токопроводящей смазки с учетом температур эксплуатации.

ПРИМЕЧАНИЕ: См. также 9.2.3.

9.3.4 Механические требования

Номинальная прочность на растяжение стальных проводов, рассчитанная в соответствии с принципами, изложенными в EN 50182, или соответствующими национальными стандартами, должна быть достаточной для удовлетворения требований по нагрузке, определенных в разделе 4, в сочетании с частными коэффициентами для проводов, указанными в 9.6.2.

При необходимости, максимально допустимая растягивающая нагрузка в проводе должна быть указана либо в NNA, либо в Проектной спецификации.

9.3.5 Защита от коррозии

Покупатель и поставщик должны согласовать требования к защите от коррозии стальных проводов, которые могут включать смазку и/или цинковое покрытие или алюминиевую оболочку. Требования к покрытию или плакированию стальной проволоки цинком или алюминием должны быть указаны в Проектной спецификации со ссылкой на EN 50189 или EN 61232, в зависимости от обстоятельств.

Смазка при использовании должна соответствовать требованиям EN 50326. В Проектной спецификации должны быть указаны тип и необходимое количество смазки, которую необходимо нанести при скрутке провода. Обычно это должно быть выбрано из одного из случаев, определенных в приложении С стандарта EN 50182:2001. При напряжении свыше 100 кВ, смазка не должна наноситься на наружный слой проволок токопровода и свойства смазки не должны допускать ее миграции на поверхность токопровода в течение срока службы.

9.3.6 Требования к испытаниям

Стальные провода должны быть испытаны согласно соответствующим требованиям EN 50182 и EN 50189 и EN 61232.

9.4 Провода на основе меди

Провода обычно изготавливаются из круглой проволоки из меди или медного сплава в соответствии с применимыми национальными стандартами при отсутствии каких-либо существующих международных стандартов. При необходимости, требования должны быть указаны в Проектной спецификации.

9.5 Провода и заземляющие проводники, содержащие оптоволоконные телекоммуникационные цепи

9.5.1 Характеристики и размеры

Расчетные характеристики OPCON и OPGW с оптическими телекоммуникационными волокнами должны быть указаны в Проектной спецификации.

ПРИМЕЧАНИЕ: Электрические, механические и физические требования и методы испытаний OPGW приведены в EN 60794-4-10.

Все аспекты OPCON и OPGW в настоящее время изучаются Объединенной рабочей группой CLC/TC 7 и CLC/TC 86 – Оптические кабели для использования на ЛЭП.

Следует ссылаться на EN 60794-1-1, EN 60794-1-2 и EN 60794-4-10 для оптических кабелей и EN 50182 для требований к проводам.

9.5.2 Электрические требования

Сопротивление постоянному току OPCON или OPGW при 20°C должно быть рассчитано с использованием удельного сопротивления отдельных проводов из алюминия, алюминиевого сплава, оцинкованной стали или стали с алюминиевым покрытием вместе с соответствующей константой скрутки и удельным сопротивлением других алюминиевых компонентов провода в соответствии с требованиями Приложения А стандарта EN 60794-4:2003 и/или принципами стандарта EN 50182.

В Проектной спецификации должна быть сделана ссылка на допустимую нагрузку по току и условия короткого замыкания, а также, при необходимости, на уровень радиопомех.

9.5.3 Рабочая температура провода

Максимальные рабочие температуры OPCON и OPGW должны быть указаны либо в NNA, либо в проектной спецификации. Они должно давать максимальную непрерывную температуру и максимальную кратковременную температуру для определенного времени.

ПРИМЕЧАНИЕ: См. также 9.2.3.

9.5.4 Механические требования

Номинальная прочность на растяжение OPCON и OPGW, рассчитанная в соответствии с проектной спецификацией, должна быть достаточной для удовлетворения требований по нагрузке, определенных в разделе 4, в сочетании с частными коэффициентами для проводов, указанными в 9.6.2.

При необходимости, максимально допустимая растягивающая нагрузка в проводе должна быть указана либо в NNA, либо в Проектной спецификации.

9.5.5 Защита от коррозии

В Проектной спецификации должно быть указано или покупатель должен согласовать с поставщиком, требования к защите от коррозии OPCON и OPGW, которые могут быть смазкой и/или алюминиевой плакировкой или цинкованием стальных жил.

9.5.6 Требования к испытаниям

Требования к испытаниям для OPCON и OPGW должны соответствовать EN 60794-1-2 и Проектной спецификации.

9.6 Общие требования

9.6.1 Предотвращение повреждений

В Проектной спецификации должны быть указаны требования к упаковке и маркировке для поставки провода в соответствии с EN 50182. Изготовитель также должен указать минимальный диаметр, который должен использоваться для оборудования для натяжки проводов (например, ролики для натяжения/съёма, подвижные блоки и т.д.), а также любые специальные процедуры натяжения или меры предосторожности, необходимые для предотвращения повреждения провода и/или его деформации.

Покупатель также должен убедиться, что требования к арматуре проводов, например, выбор, расположение и установка, должным образом определены, чтобы избежать риска деформации.

9.6.2 Частный коэффициент для проводов

Частный коэффициент, применяемый к номинальной прочности на растяжение для всех типов проводов, должен иметь минимальное значение:

ym = 1C25

В NNA может быть указано другое значение частного коэффициента.

9.6.3 Минимальные поперечные сечения

Из-за риска усталостного разрушения, не рекомендуется использовать сплошные однопроволочные провода или провода с площадью поперечного сечения 25 мм2 или менее, если удовлетворительная история эксплуатации не указывает на то, что такие размеры проводов подходят.

9.6.4 Провисание – расчет натяжения

После строительства воздушной ЛЭП, фазные провода могут подвергаться экстремальным воздействиям (высокие температуры в периоды высокой электрической нагрузки и т. д.). При всех предвидимых условиях, провода не должны ломаться или провисать, что может привести к нарушению минимальных электрических зазоров.

Чтобы обеспечить выполнение этих условий в течение всего срока службы линии, проектировщик должен указать начальные измеренные провисания (т. е. подвешивания) и определить провисание в этих условиях с помощью расчетов «провисание-натяжение».

Провод должен быть рассчитан на сопротивление напряжениям, возникающим из-за климатических нагрузок при заданном уровне надежности. Провода также не должны выходить из строя из-за усталости при постоянных вибрационных движениях, вызванных ветром, и не должны провисать так, чтобы нарушались минимальные электрические зазоры.

ПРИМЕЧАНИЕ: Дальнейшее подробное обсуждение разработки и применения расчетов провисания/натяжения можно найти в «Методах расчета провисания–натяжения для воздушных ЛЭП» Техническая брошюра CIGRE № 324 и журнал CIGRE Electra, июнь 2007 г., № 232.

9.7 Протоколы испытаний и сертификаты

Результаты всех типовых испытаний должны быть отражены в сертификатах, выданных поставщиком или уполномоченной организацией. Они действительны без ограничения срока при условии, что материалы, конструкция, метод изготовления или производитель провода не изменились.

Результаты выборочных испытаний должны быть отражены в сертификате, выдаваемом поставщиком на каждую поставленную партию.

9.8 Выбор, поставка и монтаж проводов

Информация, касающаяся выбора, поставки и монтажа проводов, приведена в приложении N.

10 Изоляторы

10.1 Введение

Конструкции изоляторов включают блоки гирляндных изоляторов колпачково-штыревого и длинностержневого типов, линейно-стержневые изоляторы, изоляторы штыревого типа и изоляторы оттяжек. Они могут быть изготовлены из керамического материала или стекла, либо из композитного материала. На некоторых воздушных ЛЭП могут использоваться комбинации этих изоляторов.

ПРИМЕЧАНИЕ: Все эти типы изоляторов охвачены публикациями EN и/или IEC, за исключением изоляторов оттяжек.

Изоляторы должны быть спроектированы, выбраны и испытаны в соответствии с электрическими и механическими требованиями, определяемыми расчетными параметрами воздушной ЛЭП. Расчетный срок службы может быть предметом соглашения между поставщиком и покупателем.

Изоляторы должны быть устойчивы к влиянию всех климатических условий окружающей среды, в том числе солнечной радиации. Они должны быть устойчивы к атмосферным загрязнителям и удовлетворительно работать в условиях загрязнения, указанных в Проектной спецификации.

Изоляторы должны быть спроектированы таким образом, чтобы их было легко обслуживать, включая, если указано, техническое обслуживание в условиях линии, находящейся под напряжением.

10.2 Стандартные электрические требования

Конструкция изоляторов должна быть такой, чтобы были достигнуты требуемые электрические выдерживаемые напряжения (см. подраздел 5.3), указанные в NNA или Проектной спецификации. Эти требования сведены в Таблицу 10.1.

10.3 Требования RIV и напряжение погасания коронного разряда

Все типы изоляторов для воздушных ЛЭП должны в условиях испытаний создавать уровни радиопомех только в соответствии с общим уровнем, указанным для установки. Если применимо, должно быть указано напряжение погасания видимого коронного разряда. Дополнительная информация о коронном эффекте, включая радиопомехи, приведена в разделе 5.

Когда требуются типовые испытания, они обычно проводятся на полных комплектах изоляторов или на линейных штыревых изоляторах. Покупатель должен указать приложенное напряжение и соответствующее максимальное напряжение радиопомех и, при необходимости, минимальное напряжение погасания видимого коронного разряда. Испытания должны проводиться в соответствии с требованиями EN 60437.

Если требуются типовые испытания и/или выборочные испытания гирляндных изоляторов, они должны проводиться в соответствии с EN 60437.

Таблица 10.1 — Стандартные электрические требования

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Диапазон напряжения | 1 кВ ≤ Us ≤ 245 кВ | | | | U с > 245 кВ | | |
| Тип изолятора | Комплекты изоляторов | | | | Комплекты изоляторов | | |
|  | Колпачково- | Длинно- | Композитный | Линейно- | Колпачково- | Длинно- | Композитный |
|  | штыревойa | стержневойa | b | стержневойa | штыревойa | стержневойa | b |
| Мокрая промышленная частота |  |  |  |  |  |  |  |
| выдерживаемое напряжение | X | X | X | X | - | - | - |
| Сухой грозовой импульс |  |  |  |  |  |  |  |
| выдерживаемое напряжение | X | X | X | X | X | X | X |
| Импульс мокрого переключения |  |  |  |  |  |  |  |
| выдерживаемое напряжение | - | - | - | - | X | X | X |
| Выдерживаемое напряжение пробоя |  |  |  |  |  |  |  |
| (одинарный блок) | X | - | - | Х с | X | - | - |
| а Испытания проводились в соответствии с EN 60383-1 и EN 60383-2.  b Испытания проводились в соответствии с EN 61109 (применимо только к блокам композитных изоляторов) и EN 61952 в зависимости от ситуации.  c Для тех линейно-стержневых изоляторов, которые не являются устойчивыми к пробоям. | | | | | | | |

10.4 Требования к характеристикам загрязнения

Если это требуется Проектной спецификацией, изоляторы должны соответствовать установленным требованиям к характеристикам загрязнения. Руководство по проектированию и выбору керамических и стеклянных изоляторов для использования в условиях загрязнения приведено в IEC/TS 60815. В случае изоляторов из керамического материала или стекла, покупатель должен указать требования к характеристикам загрязнения для комплектов изоляторов и линейно-стержневых изоляторов в соответствии с одной из процедур, описанных в EN 60507, или, в качестве альтернативы, указать минимальные расстояния утечки, как общие, так и защищенные. Защищенное расстояние утечки, если требуется, должно быть определено и измерено под углом 90° к оси изолятора.

ПРИМЕЧАНИЕ: В настоящее время IEC TC 36 и CIGRE 33.04 проводят испытания композитных изоляторов на воздействие загрязнения.

10.5 Требования к силовой дуге

Если это требуется Проектной спецификацией, комплекты изоляторов, линейно-стержневые и штыревые изоляторы всех типов должны соответствовать указанным требованиям к силовой дуге. Покупатель должен указать, требуется ли испытание силовой дугой. Информация об испытаниях силовой дугой приведена в EN 61467.

Покупатель и поставщик должны согласовать соответствующую процедуру испытания.

10.6 Требования к акустическому шуму

Если это требуется Проектной спецификацией, все типы изоляторов воздушной ЛЭП должны быть спроектированы таким образом, чтобы они соответствовали требованиям по акустическому шуму, установленным для установки. Дополнительная информация, касающаяся акустического коронного шума, приведена в подразделе 5.9.

10.7 Механические требования

Изоляторы должны соответствовать установленным требованиям механической конструкции. Частные коэффициенты для всех типов изоляторов, в том числе изоляторов оттяжек, должны быть указаны в NNA или в Проектной спецификации.

Частный коэффициент материала должен применяться к указанной механической или электромеханической разрушающей нагрузке в соответствии с EN 60383-1 или EN 61109. Соответствующие критерии приемлемости должны использоваться для типовых испытаний и выборочных испытаний. Если в NNA частный коэффициент материала изоляторов не указан, следует учитывать частный коэффициент материала для оборудования, указанный в подразделе 11.6.

10.8 Требования к долговечности

10.8.1 Общие требования к долговечности изоляторов

На долговечность изолятора влияет конструкция, выбор материалов и технологии производства. Все материалы, используемые в конструкции изоляторов для воздушных ЛЭП, должны быть изначально устойчивы к атмосферной коррозии, которая может повлиять на их характеристики.

Показатель долговечности блоков гирляндных изоляторов из керамического материала или стекла можно получить в результате тепломеханического испытания, как указано в EN 60383-1. В особых случаях, может потребоваться рассмотрение усталостных характеристик с помощью соответствующих испытаний, указанных в Проектной спецификации или согласованных между покупателем и поставщиком.

ПРИМЕЧАНИЕ: Основная информация, касающаяся термомеханических испытаний, приведена в IEC/TR 60575.

10.8.2 Защита от вандализма

Для борьбы с последствиями вандализма могут потребоваться специальные меры предосторожности. Если это указано в Проектной спецификации, поставщик должен предложить методы повышения производительности и выполнения соответствующих требований.

ПРИМЕЧАНИЕ: Информация, относящаяся к ударным испытаниям блоков гирляндных изоляторов колпачкового и штыревого типа, приведена в ANSI C29.1: Американский национальный стандарт для электрических силовых изоляторов - Методы испытаний и ANSI C29.2: Американский национальный стандарт для электрических силовых изоляторов - Мокрый процесс. Фарфор и закаленное стекло - подвесной тип.

10.8.3 Защита черных металлов

Все черные материалы, кроме нержавеющей стали, используемые в изоляторах воздушных ЛЭП, должны быть защищены от коррозии, вызванной атмосферными условиями. Обычной формой защиты является горячее цинкование погружением, которое должно соответствовать требованиям к испытаниям, указанным в EN 60383-1.

Для монтажа в особо тяжелых условиях в Проектной спецификации может быть указана либо повышенная толщина цинка, либо другие способы, согласованные между покупателем и поставщиком. В этих случаях также должны быть согласованы методы испытаний для демонстрации повышенной коррозионной стойкости.

Также можно сделать ссылку на EN ISO 1461.

10.8.4 Дополнительная защита от коррозии

В случаях, когда это указано в Проектной спецификации или рекомендовано поставщиком и согласовано с покупателем, штыри колпачковых и штыревых блоков гирляндных изоляторов должны быть снабжены цинковыми оплетками для дополнительной защиты от коррозии. Покупатель и поставщик должны согласовать спецификацию оплетки, которая должна включать сведения о массе, форме, чистоте цинка и степени связывания.

ПРИМЕЧАНИЕ: Подходящие методы испытаний приведены в EN 61325.

10.9 Выбор материала и спецификация

Материалы, используемые для изготовления изоляторов воздушных ЛЭП, должны выбираться с учетом соответствующих электрических, механических требований и требований к долговечности. Изготовитель должен гарантировать, что спецификация и контроль качества материалов достаточны для обеспечения постоянного достижения заданных характеристик и требований к рабочим характеристикам.

Блокировочные устройства, используемые при сборке изоляторов, должны соответствовать требованиям EN 60372.

При выборе сорта ковкого чугуна, включая чугун с шаровидным графитом, следует учитывать требования к прочности и пластичности и, при необходимости, к низкотемпературным характеристикам и требованиям к горячему цинкованию погружением.

10.10 Характеристики и размеры изоляторов

Характеристики и размеры изоляторов, используемых для строительства воздушных ЛЭП, должны по возможности соответствовать требованиям к размерам следующих публикаций EN и IEC:

• блоки гирляндных изоляторов: EN 60305 и EN 60433;

• линейно-стержневые изоляторы: IEC 60720;

• композитные изоляторы: EN 61466-1 и EN 61466-2.

Соответствие вышеуказанным публикациям также требует соблюдения HD 474, EN 60372 и IEC 60471.

Утвержденные типы изоляторов с размерными характеристиками, отличными от указанных в вышеприведенных стандартах, могут быть включены в Проектную спецификацию. Все испытания и физические характеристики, за исключением вопросов размеров, должны соответствовать применимым стандартам.

Стандартов EN или IEC для размеров штыревых изоляторов или изоляторов с оттяжками не существует. Требования должны быть указаны в NNA или в Проектной спецификации.

10.11 Требования к типовым испытаниям

10.11.1 Стандартные типовые испытания

При необходимости, должны быть проведены типовые испытания блоков гирляндных изоляторов, линейно-стержневых изоляторов и изоляторов штыревого типа из керамического материала или стекла в соответствии с EN 60383-1. Если иное не указано в Проектной спецификации или не согласовано покупателем с поставщиком, критерии приемлемости электрических, механических и других характеристик должны соответствовать EN 60383-1.

Расчетные и типовые испытания композитных натяжных и подвесных изоляторов должны проводиться в соответствии с EN 61109. Типовые испытания композитных линейно-стержневых изоляторов должны проводиться в соответствии с EN 61952. Если иное не указано в Проектной спецификации или не согласовано покупателем с поставщиком, критерии приемлемости для всех характеристик должны соответствовать EN 61109 или EN 61952, в зависимости от обстоятельств.

Типовые испытания гирлянд и комплектов изоляторов должны проводиться в соответствии с EN 60383-2. Критерии приемки должны соответствовать EN 60383-2.

Типовые испытания изоляторов с оттяжками должны проводиться в соответствии с принципами EN 60383-1.

10.11.2 Дополнительные типовые испытания

При указании в Проектной спецификации или по соглашению между покупателем и поставщиком, могут быть указаны дополнительные типовые испытания. Существуют подходящие стандартные спецификации, охватывающие:

• испытание на радиопомехи: EN 60437, EN 55016-1-1 и CISPR/TR 18-2;

• испытание на загрязнение окружающей среды: EN 60507;

• испытание на характеристики силовой дуги: EN 61467;

• испытание на пробой импульсным напряжением: EN 61211;

• испытание цинковой оплетки: EN 61325;

• испытание на остаточную прочность: IEC 60797.

Требования к характеристикам должны быть указаны в Проектной спецификации или согласованы покупателем с поставщиком перед началом каждого испытания.

Если покупателю требуются другие типовые испытания, которые не включены в существующие национальные или международные стандарты, подробности процедур испытаний и критерии приемки должны быть указаны в Проектной спецификации или согласованы с поставщиком во время размещения заказа.

10.12 Требования к выборочным испытаниям

Указанные выборочные испытания проводят на образцах, отобранных случайным образом из каждой партии предлагаемых к поставке изоляторов. Испытания должны проводиться в соответствии с применимым стандартом для:

• блоков гирляндных изоляторов, линейно-стержневых изоляторов и

• штыревых изоляторов из керамического материала или стекла:

EN 60383-1,

• композитных натяжных и подвесных изоляторов: EN 61109,

• композитных линейно-стержневых изоляторов: EN 61952,

• изоляторов с оттяжками: EN 60383-1.

Если иное не указано в Проектной спецификации или не согласовано покупателем с поставщиком во время размещения заказа, критерии приемлемости для всех характеристик должны соответствовать EN 60383-1 или EN 61109, в зависимости от обстоятельств.

Если указано в Проектной спецификации или согласовано покупателем с поставщиком, могут быть указаны другие выборочные испытания. Примеры таких испытаний:

• испытание на радиопомехи на одно-гирляндных изоляторах колпачково-штыревого типа: EN 60437;

• испытание цинковой оплетки, где применимо, на штырях колпачковых и штыревых изоляторов: EN 61325.

10.13 Требования к стандартным испытаниям

Стандартные испытания, указанные в соответствующем стандарте, должны проводиться поставщиком на каждой единице партии, предлагаемой к поставке. Испытания должны проводиться в соответствии с применимым стандартом:

• блоки гирляндных изоляторов, линейно-стержневые изоляторы и изоляторы штыревого типа из керамики или стекла:

EN 60383-1;

• композиционные натяжные и подвесные изоляторы: EN 61109;

• изоляторы с оттяжками (только визуальный осмотр): EN 60383-1.

Если условия эксплуатации требуют каких-либо альтернативных стандартных испытаний, то подробности должны быть указаны в Проектной спецификации или согласованы покупателем с поставщиком во время размещения заказа.

10.14 Резюме требований к испытаниям

Приложение Р резюмирует все испытания, относящиеся к изоляторам из фарфоровых и стеклянных изоляционных материалов. Оно не включает композитные натяжные и подвесные и линейно-стержневые изоляторы, для которых соответствующие испытания полностью описаны в EN 61109 и EN 61952.

10.15 Протоколы испытаний и сертификаты

Результаты всех типовых испытаний должны быть отражены в сертификатах, выданных поставщиком или уполномоченной организацией. Они должны быть действительными при условиях и в течение периодов, указанных в EN 60383-1, EN 60383-2 или EN 61109, соответственно.

Результаты выборочных испытаний должны быть отражены в сертификате, выдаваемом поставщиком на каждую поставленную партию.

Поставщик должен удостоверить, что все единицы в каждой поставленной партии прошли установленные типовые испытания. Любые другие требования для сертификации должны быть указаны покупателем в Проектной спецификации.

10.16 Выбор, поставка и монтаж изоляторов

Информация, касающаяся выбора, поставки и установки изоляторов, приведена в приложении Q.

11 Оборудование

11.1 Введение

Арматура воздушной ЛЭП должны быть спроектирована, изготовлена и смонтирована таким образом, чтобы соответствовать общим требованиям к эксплуатации, техническому обслуживанию и воздействию на окружающую среду, определяемым расчетными параметрами линии, на основе информации, содержащейся в другом месте настоящего стандарта. Расчетный срок службы может быть предметом соглашения между поставщиком и покупателем.

Арматура воздушных ЛЭП должна испытываться в соответствии с требованиями EN 61284, EN 61854 и/или EN 61897. Любые альтернативные или дополнительные параметры должны быть определены в Проектной спецификации.

11.2 Электрические требования

11.2.1 Требования ко всей арматуре

Конструкция всей арматуры должна соответствовать указанным электрическим требованиям (см. раздел 5) для воздушной ЛЭП. Дугогасительные устройства обычно не предназначены для снижения напряженности электрического поля на концах воздушных ЛЭП с номинальным напряжением системы ниже 45 кВ переменного тока.

При необходимост,и должны использоваться выравнивающие кольца или аналогичные устройства для снижения напряженности электрического поля на концах линий комплектов изоляторов, включая компрессионные зажимы композитных изоляторов. Выравнивающие кольца или устройства контроля напряжения обычно не требуются для комплектов гирляндных изоляторов для использования на воздушных ЛЭП с напряжением 45 кВ переменного тока или ниже.

11.2.2 Требования к токопроводящей арматуре

Арматура для проводов, предназначенная для передачи рабочего тока провода, при воздействии на нее максимального непрерывного тока или токов короткого замыкания не должна демонстрировать соответствующее превышение температуры, большее, чем у соответствующего провода. Также падение напряжения на арматуре токопроводящих проводов не должно превышать падение напряжения на эквивалентной длине провода.

Методы испытаний и критерии приемки должны соответствовать EN 61284.

11.3 Требования RIV и напряжение погасания коронного разряда

Арматура, включая прокладки и виброгасители для воздушных ЛЭП, должна быть спроектирована таким образом, чтобы в условиях испытаний, уровни радиопомех соответствовали общему уровню, указанному для установки. Напряжение погасания видимого коронного разряда должно, если применимо, указываться в Проектной спецификации. Дополнительная информация о коронном эффекте, включая радиопомехи, приведена в 5.9, а метод испытаний указан в EN 61284.

11.4 Магнитные характеристики

Выбор материалов и/или конструкция арматуры, прикрепленной к проводу, должны, при необходимости, быть такими, чтобы магнитные потери были приемлемо низкими. Метод испытаний и критерии приемки, если иное не указано в Проектной спецификации, должны соответствовать EN 61284.

11.5 Требования к току короткого замыкания и силовой дуге

При необходимости, арматура должна соответствовать указанным требованиям к току короткого замыкания или силовой дуге. В частности, комплекты изоляторов должны быть такими, чтобы, если требуется испытание током короткого замыкания или силовой дугой, они выдерживали, если иное не указано в Проектной спецификации, по крайней мере 80 % их указанной механической разрушающей нагрузки по завершении испытания.

Дугогасящие рога должны быть способны безопасно проводить ток ожидаемого уровня короткого замыкания в течение ожидаемой продолжительности короткого замыкания без неблагоприятного воздействия на аспекты безопасности обслуживания воздушной ЛЭП.

Испытания арматуры силовой дугой должны проводиться совместно с испытаниями изоляции (см. 10.5), но по согласованию между покупателем и поставщиком последующие испытания тока короткого замыкания могут проводиться только на арматуре в сборке.

11.6 Механические требования

Конструкция арматуры воздушной ЛЭП должна быть такой, чтобы выполнялись заданные механические требования к конструкции. Частный коэффициент, применяемый к указанной минимальной разрушающей нагрузке, как определено в EN 61284 для всех типов линейной арматуры, должен иметь минимальное значение:



Более высокое значение частного коэффициента может быть указано в NNA.

Вся арматура, на которой может стоять человек, должна выдерживать концентрированную характерную нагрузку 1,5 кН.

11.7 Требования к долговечности

Все материалы, используемые в конструкции арматуры воздушных ЛЭП, должны быть изначально устойчивы к атмосферной коррозии, которая может повлиять на их работу. Выбор материалов и/или конструкция арматуры должны быть такими, чтобы свести к минимуму биметаллическую коррозию арматуры или проводов.

Все черные материалы, кроме нержавеющих сталей, используемые в конструкции арматуры, должны быть защищены от атмосферной коррозии путем горячего цинкования или другими способами, указанными в Проектной спецификации или согласованными покупателем с поставщиком.

Также можно сделать ссылку на EN ISO 1461.

Арматура, подвергающаяся шарнирному сочленению или износу, должна быть спроектирована, включая выбор материала, и изготовлена таким образом, чтобы обеспечить максимальную износостойкость.

11.8 Выбор материала и спецификация

Материалы, используемые для изготовления арматуры воздушной ЛЭП, должны выбираться с учетом их соответствующих характеристик. Изготовитель должен гарантировать, что спецификация и контроль качества материалов достаточны для обеспечения постоянного достижения заданных характеристик и требований к рабочим характеристикам.

Блокировочные устройства, используемые при сборке арматуры с розеточными соединителями, должны соответствовать требованиям EN 60372.

При выборе металлов или сплавов для линейной арматуры следует учитывать возможное воздействие низкой температуры, где это уместно. При выборе неметаллических материалов следует учитывать их возможную реакцию на перепады температур, УФ-излучение, озон и загрязнение атмосферы.

11.9 Характеристики и размеры арматуры

Механические характеристики арматуры для комплекта изоляторов должны соответствовать требованиям механической прочности, если применимо, EN 60305 и EN 60433 или EN 61466-1.

Присоединительные размеры арматуры для комплекта изоляторов должны соответствовать HD 474 или IEC 60471.

Аксессуары для крепления проводов к линейным стержневым и штыревым изоляторам должны быть спроектированы таким образом, чтобы они могли выдерживать поперечные нагрузки, возникающие из-за растягивающих нагрузок проводов, возникающих в результате сил, действующих на провода, в соответствии с разделом 4 настоящего стандарта. Кроме того, они должны надежно поддерживать провод в случае неуравновешенных растягивающих нагрузок. Это последнее требование не применяется к тем аксессуарам, которые предназначены для скольжения провода.

Если непрерывный провод (основной кабель) подсоединяется к вспомогательному кабелю, прикрепленному ко второму изолятору линейно-стержневого или штыревого типа сбоку от основного изолятора, то соединения двух проводов должны быть рассчитаны на максимальную растягивающую нагрузку, возникающую при условиях, указанных для линии.

11.10 Требования к типовым испытаниям

11.10.1 Стандартные типовые испытания

При необходимости, типовые испытания арматуры воздушных ЛЭП должны проводиться в соответствии с требованиями EN 61284, EN 61854 и/или EN 61897. Если иное не указано покупателем в Проектной спецификации, критерии приемлемости механических и других характеристик должны соответствовать данным стандартам.

11.10.2 Дополнительные типовые испытания

Если указано в Проектной спецификации или по соглашению между покупателем и поставщиком, могут быть проведены испытания для подтверждения работоспособности арматуры комплекта изоляторов в условиях силовой дуги. Информация, касающаяся таких испытаний, приведена в EN 61467.

11.11 Требования к выборочным испытаниям

Указанные выборочные испытания проводят на образцах, отобранных случайным образом из каждой партии предлагаемой к поставке арматуры. Испытания должны проводиться в соответствии с требованиями EN 61284, EN 61854 и/или EN 61897. Если иное не указано в Проектной спецификации или не согласовано покупателем с поставщиком во время размещения заказа, критерии приемлемости для всех характеристик должны соответствовать данным стандартам.

11.12 Требования к стандартным испытаниям

Стандартные испытания, как указано в соответствующем стандарте, должны проводиться поставщиком для каждого элемента арматуры из партии, предлагаемой к поставке. Испытания должны проводиться в соответствии с требованиями EN 61284, EN 61854 и/или EN 61897.

EN 61284, EN 61854 и EN 61897 включают примеры неразрушающих испытаний. Степень выбора и применения этих испытаний должна быть согласована между изготовителем и покупателем и включена в Проектную спецификацию.

11.13 Протоколы испытаний и сертификаты

Результаты всех типовых испытаний должны быть отражены в сертификатах, выданных поставщиком или уполномоченной организацией. Они действительны без ограничения срока при условии, что конструкция или материал арматуры не изменились.

Результаты выборочных испытаний должны быть отражены в сертификате, выдаваемом поставщиком на каждую поставленную партию.

Поставщик должен подтвердить, что вся арматура в каждой поставленной партии прошла установленные типовые испытания.

11.14 Выбор, поставка и монтаж арматуры

Информация, касающаяся выбора, поставки и монтажа арматуры, приведена в приложении Р.

12 Обеспечение качества, проверки и приемка

12.1 Обеспечение качества

При проектировании, производстве и строительстве, меры по обеспечению качества должны соответствовать применимым требованиям EN ISO 9001.

Системы и процедуры, которые проектировщик и/или подрядчик по монтажу будут использовать для обеспечения соответствия проектных работ требованиям проекта, должны быть определены в плане качества проектировщика и/или подрядчика по монтажу для проектных работ.

Каждый план качества должен перечислять действия в логической последовательности и учитывать следующее:

• схема предлагаемой работы и последовательность программы.

• структура организации по контракту, как в головном офисе, так и в любых других центрах, отвечающих за этапы работ.

• обязанности и ответственность, закрепленные за персоналом, обеспечивающим качество работ.

• точки приостановки и уведомления.

• предоставление проектной документации, требуемой Проектной спецификацией.

• проверка материалов и компонентов при получении.

• ссылка на процедуры обеспечения качества, соответствующие каждому виду деятельности.

• контроль в процессе производства/строительства.

• окончательная инспекция и испытания.

План обеспечения качества является частью плана выполнения проекта или фазы проекта.

12.2 Проверки и приемка

Перед тем, как принять новую воздушную ЛЭП от Подрядчика, необходимо определить ряд соответствующих мер и проверок на линии, прежде чем она будет введена в эксплуатацию.

Ответственный инженер должен определить, по согласованию с Покупателем, точные меры, которые должны быть приняты, кем это будет сделано и каким образом будет сообщено и/или задокументировано.

Рекомендуется проверять всю линию, секцию за секцией, компонент за компонентом, а также на различных этапах строительства, например, установку фундамента и заглушки перед началом возведения опоры и т. д.

Стандартный формат с чек-листами может оказаться полезным при документировании различных этапов строительства линии и/или конечного состояния линии. Этот формат может быть установлен на основании требований общих спецификаций. Это позволяет сравнивать результаты контроля разных инспекторов на разных компонентах линии одного и того же типа.

Важно уточнить, что Подрядчик гарантирует соответствие конструкции воздушной ЛЭП общим и специальным спецификациям, а также проектным чертежам путем проведения соответствующих проверок качества.

Приложение А

(справочное)

Координация прочности

А.1 Рекомендуемые критерии проектирования

Для принятия решения о соответствующей координации прочности, рекомендуются следующие критерии:

а) компонент с самым низким уровнем надежности следует выбирать так, чтобы оказывать наименьшее влияние вторичной нагрузки (динамической или статической) на другие компоненты, чтобы свести к минимуму каскадные отказы;

b) время ремонта и затраты после отказа должны быть сведены к минимуму;

с) элемент с наименьшей надежностью в идеале имеет отношение предела отказоустойчивости (соответствующего состоянию эксплуатационной пригодности) к пределу отказа (соответствующего предельному состоянию по несущей способности), близкое к 1,0; может быть трудно скоординировать прочность компонентов, когда наименее надежный компонент имеет очень большой разброс прочности;

d) низкозатратный компонент, соединенный последовательно с дорогостоящим компонентом, должен быть спроектирован таким образом, чтобы быть, по крайней мере, столь же прочным и надежным, как и основной компонент, если последствия его отказа столь же серьезны, как и при отказе этого основного компонента. Исключением из этого критерия является случай, когда компонент специально разработан для работы в качестве устройства ограничения нагрузки. В таком случае, его прочность должна быть хорошо согласована с компонентом, который он предназначен защищать.

Если компоненты линии, такие как подвесные опоры, натяжные опоры, провода, фундаменты и оборудование, анализируются с использованием вышеуказанных критериев, обнаруживается, что провода не должны быть самым слабым компонентом из-за a), b) и c); оборудование из-за d); натяжные опоры из-за а) и b); и фундаменты из-за b) и c).

А.2 Предлагаемая координация прочности

Соответствующая координация прочности с применением критериев, рекомендованных в А.1, приведена в Таблице А.1.

Из таблицы А.1 видно, что подвесные опоры являются элементом с самой низкой надежностью и выходят из строя первыми, когда линия подвергается нагрузкам, превышающим расчетные значения.

Таблица А.1 — Типичная координация прочности

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Основной компонент | Координация с основными компонентами\* |
| Отказать первым  Не отказать первым с достоверностью 90 % | Подвесная опора  Натяжная опора Секционная опора Анкерная опора | Опора, фундаменты, оборудование  Опора, фундаменты, оборудование |
| Провода | Провода, изоляторы, оборудование |
| ПРИМЕЧАНИЕ: Вышеупомянутая координация прочности может применяться к большинству воздушных ЛЭП. Однако будут ситуации, когда могут использоваться другие критерии, что приведет к другой последовательности отказов. | | |
| \* В каждом основном компоненте подчеркнутый компонент является самым слабым при степени достоверности 90 %. | | |

Чтобы разработать коэффициенты для умножения частных коэффициентов, как указано в этом стандарте, что приводит к целевой координации прочности, можно рассмотреть два метода:

• для компонента с самой низкой целевой надежностью следует использовать расчетные нагрузки в сочетании с частными коэффициентами для воздействий, приведенными в настоящем стандарте. Следующие компоненты с более высокими целевыми показателями надежности следует проектировать с более низким пределом исключения (на 5-10% ниже), соответствующим тем же расчетным значениям воздействий.

• Частные коэффициенты для свойств материала должны быть установлены таким образом, чтобы целевая координация прочности между двумя компонентами была достигнута с высокой степенью достоверности (примерно от 80 % до 90 %).

ПРИМЕЧАНИЕ: Из-за случайного распределения свойств материала, теоретически невозможно гарантировать со 100 % степенью достоверности, что последовательность отказов будет соблюдаться во всех случаях.

Приложение В

(справочное)

Пересчет скоростей ветра и ледовых нагрузок

B.1 Определение символов, используемых в этом приложении B

Символ Значение

CT Коэффициент пересчета

C1, C2 Параметры закона Гамбеля

IB Базовая ледовая нагрузка на длину

IT Ледовая нагрузка с периодом повторяемости, Т

Im Годовая максимальная ледовая нагрузка

Imax Максимальная ледовая нагрузка, наблюдаемая за несколько лет

Imm Среднее значение годовых максимальных ледовых нагрузок

I 3 Номинальная ледовая нагрузка с периодом повторяемости 3 года

I50 Экстремальная ледовая нагрузка с эталонным периодом повторяемости 50 лет

Ksp Параметр формы

n Экспонента в формуле CT

n Количество лет наблюдения

QВТ Ветровая нагрузка с периодом повторяемости, Т

T Период повторяемости

VT Скорость ветра с периодом повторяемости Т лет

V3 Номинальная скорость ветра с периодом повторяемости 3 года

V50 Экстремальная скорость ветра с эталонным периодом повторяемости 50 лет

vi Коэффициент вариации годовых максимальных ледовых нагрузок

vW Коэффициент вариации экстремальной скорости ветра

γi, γw Частный коэффициент воздействия льда и ветра

ψi, ψw Суммарный коэффициент воздействия льда и ветра

В.2 Оценка данных об экстремальной скорости ветра

Предельная скорость ветра VT равна скорости ветра с периодом повторяемости T, что соответствует уровню надежности, выбранному для воздушной ЛЭП.

Пересчет экстремальной скорости V50, связанной с эталонным 50-летним периодом повторяемости, в другую скорость ветра, VT, связанную с другим периодом повторяемости T, может быть выполнен с использованием коэффициента пересчета CT (коэффициент вероятности, Cprob в EN 1991-1-4) и определяется выражением:

где

T – период повторяемости (в годах), связанный с VT;

Ksp – параметр формы;

n — экспонента. Рекомендуемое значение — 1, но в NNA можно указать другое

значение.

Это выражение CT получено из распределения Гамбеля, описанного в Приложении D, применительно к скорости ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ 1: В EN 1991-1-4 рекомендуемое значение n равно 0,5, поскольку предполагается, что давление ветра (а не скорость ветра) подчиняется распределению Гамбеля.

Значение Ksp можно определить по:

• коэффициенту вариации экстремальной скорости ветра, vW;

• длине серии измерений (в годах);

• параметрам C1 и C2 этого распределения в зависимости от длины серии измерений, с выражением:

Для 30 лет наблюдений за экстремальным ветром, значения С1 и С2 можно определить по таблице D.1 Приложения D: С1= 1,1124 и С2 = 0,5362.

ПРИМЕЧАНИЕ 2: В EN 1991-1-4 количество лет наблюдения предполагается очень большим. При этом, C1 = π/√6 и C2 = 0,57722 (постоянная Эйлера).

При коэффициенте вариации v W , равном 0,12, за 30 лет наблюдений за экстремальным ветром, Кsp составляет 0,114.

ПРИМЕЧАНИЕ 3: Предполагается, что репрезентативный коэффициент вариации vW для давления ветра в Европе составляет 0,24. Такой коэффициент вариации, связанный с очень большим количеством лет наблюдений, приводит к рекомендуемому EN 1991-1-4 значению Кsp (Кsp = 0,2).

Национальные приложения EN 1991-1-4 или NNA могут указывать другие значения, более применимые к местным метеорологическим данным.

При T = 3 года, Ct может пересчитать экстремальную скорость ветра V50 в номинальную скорость ветра V3.

Все значения C T для 3, 50, 150 и 500 лет в таблице B.1 получены при Ksp = 0,114.

Другие значения, более применимые к местным метеорологическим данным, могут быть указаны в NNA.

C2T можно использовать непосредственно для определения частных коэффициентов, связанных с уровнем их надежности, поскольку ветровая нагрузка Q WT пропорциональна скорости ветра VT в квадрате. C2T в таблице B.1 представляет собой теоретическое значение частных коэффициентов воздействия ветра, γW:

В случае трехлетнего периода повторяемости, используется коэффициент сочетания воздействия ветра ψW:

Таблица В.1 — Коэффициенты пересчета для различных периодов повторяемости скорости ветра

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Уровень надежности | Период повторяемости T [лет] | Коэффициент пересчета  Ct = Vt/V50 | **C2T** | Частный коэффициент (таблица 4.7) | Коэффициент сочетания (таблица 4.7) |
| Номинальный ветер | 3 | 0,76 | 0,58 | - | 0,4 |
| 1 (ссылка) | 50 | 1,00 | 1,00 | 1 | - |
| 2 | 150 | 1,09 | 1,18 | 1,2 | - |
| 3 | 500 | 1,18 | 1,40 | 1,4 | - |

В.3 Оценка данных об экстремальных ледовых нагрузках

Предельная ледовая нагрузка IT равна ледовой нагрузке с периодом повторяемости T, который соответствует уровню надежности, выбранному для воздушной ЛЭП.

Экстремальную ледовую нагрузку можно рассчитать по распределению Гамбеля для экстремальных значений на основе среднего значения Imm, коэффициента вариации v I для годовых максимальных ледовых нагрузок (см. В.5.4 и В.5.5) и числа лет с годовыми максимальными значениями, n. Когда n < 10, n устанавливается равным 10.

В таблице B.2 приведены коэффициенты для их пересчета в другие периоды повторяемости. Для этого пересчета используются vI = 0,7 и n = 10 лет. Период повторяемости Т = 3 года следует использовать для расчета номинальной ледовой нагрузки I 3 (с высокой вероятностью возникновения), как определено в 4.6.6.2.

Коэффициенты пересчета в таблице В.2 представляют собой теоретическое значение частного коэффициента для ледового воздействия γi,

и, в случае трехлетнего периода повторяемости, коэффициент сочетания ледового воздействия ψI:

Другие значения, более применимые к местным метеорологическим данным, могут быть указаны в NNA.

В случаях, когда в течение многих зим не наблюдалось обледенения, следует использовать другие распределения экстремальных значений.

Таблица В.2 — Коэффициенты пересчета для различных периодов повторяемости ледовой нагрузки

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Уровень надежности | Период повторяемости T [лет] | Экстремальное соотношение  It / Imm | Коэффициент пересчета Ct = It / I50 | Частный коэффициент (таблица 4.7) | Коэффициент сочетания (таблица 4.7) |
| Номинальная ледовая нагрузка | 3 | 1,30 | 0,37 | - | 0,35 |
| 1 (ссылка) | 50 | 3,51 | 1,00 | 1,0 | - |
| 2 | 150 | 4,33 | 1,23 | 1,25 | - |
| 3 | 500 | 5,22 | 1,49 | 1,5 | - |

В.4 Статистические ледовые параметры

В.4.1 Базовая ледовая нагрузка, Ib

Базовая ледовая нагрузка на длину, IB, (в Н/м) относится к проводу диаметром 30 мм в пролете длиной 100 м на высоте 10 м над землей на участке, который является репрезентативным для воздушной ЛЭП. Когда измерения выполняются на проводах с другими диаметрами или длинами пролетов, они должны оцениваться в соответствии с отдельными техническими условиями.

В.4.2 Годовая максимальная ледовая нагрузка, lm

Это максимальная ледовая нагрузка IB за один год.

В.4.3 Максимальная ледовая нагрузка за несколько лет, lmax

Это самая высокая ледовая нагрузка, наблюдаемая за период в несколько лет, если такая информация имеется (см. В.4.2).

В.4.4 Среднее значение Iмм максимальных годовых ледовых нагрузок

Это рассчитанное или оценочное среднее значение годовых максимальных ледовых нагрузок Im (см. В.4.2).

В.4.5 Коэффициент вариации vI для годовых максимальных ледовых нагрузок

Это рассчитанный, модифицированный или оценочный коэффициент вариации годовых максимальных ледовых нагрузок Im (см. В.4.2).

В.5 Оценка экстремальной ледовой нагрузки на основе различных источников данных

B.5.1 Источники данных для статистической оценки

База данных, доступная для оценки ледовых нагрузок, сильно различается. Этот стандарт описывает статистические методы, основанные на трех типах данных:

• годовая максимальная ледовая нагрузка, Iм (см. В.4.2), зарегистрированная за период не менее 10 лет (см. В.5.2);

• регистрируется только максимальное значение Imax (см. В.4.3) для ледовой нагрузки за ограниченное количество лет (т. е. без статистических данных) (см. В.5.3);

• годовая максимальная ледовая нагрузка Im, рассчитанная на основе анализа метеорологических данных (модель обледенения) (см. В.5.4).

Использование данных о ледовых нагрузках, собранных всего за несколько лет, может ввести в заблуждение, если сезоны обледенения не были репрезентативными. Если возможно, следует провести метеорологическую оценку, охватывающую период не менее 20-30 лет для данного района. Если этого не сделать, из слишком коротких периодов или нерепрезентативных сезонов можно сделать вводящие в заблуждение выводы.

В.5.2 Имеются годовые максимальные ледовые нагрузки, lm в периоды не менее 10 лет.

Если рассчитанный коэффициент вариации годовых максимальных ледовых нагрузок vI выходит за пределы, указанные в таблице В.3, следует выбрать ближайшее предельное значение.

Таблица В.3 - Коэффициент вариации

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Годовые максимальные ледовые нагрузки Im | |
| Количество лет  наблюдений | Среднее значение | Коэффициент  вариация |
| n | Imm | vI |
|  | Imm |  |
| Imm |

В.5.3 Максимальная ледовая нагрузка lmax известна только за ограниченное число лет.

Среднее значение годовых максимальных ледовых нагрузок Imm рассчитывают как 0,4 Imax, а коэффициент вариации vI как 0,7.

Экстремальную ледовую нагрузку в соответствии с B.3 выше следует рассчитывать с n = 10 лет наблюдения.

В.5.4 Годовая максимальная ледовая нагрузка, lm, по метеорологическим анализам

Значения данных о ледовой нагрузке для использования статистических методов настоящего стандарта могут быть установлены с помощью модели обледенения. Результат такой модели следует использовать для нахождения среднего значения Imm и коэффициента вариации vI (см. B.4.2, B.4.4 и B.4.5).

Модель обледенения такого типа должна анализировать метеорологические данные за период 20 и более лет. В дополнение к стандартным параметрам метеорологических наблюдений, требуются данные, не входящие в стандартные метеорологические наблюдения (содержание жидкой воды, размеры капель, интенсивность осадков и т. д.).

Если данные, характерные для расположения воздушной ЛЭП, отсутствуют, можно настроить программу измерений либо для измерения параметров, либо для непосредственного измерения ледовых нагрузок. В последнем случае, их следует проводить с дополнительными метеорологическими измерениями и сбором данных.

Для правильной калибровки модели обледенения, требуется не менее 5-10 хорошо задокументированных случаев обледенения. Во многих районах может быть несколько сезонов без обледенения. Динамические ряды для метеорологических измерений должны выполняться не менее чем за два сезона, но предпочтительно за 5 лет и более. Если планируется прокладка новой воздушной ЛЭП в районе, где имеется мало информации об обледенении, или если линия проходит по особенно незащищенной местности, следует как можно раньше рассмотреть возможную программу измерений.

Приложение С

(справочное)

Примеры применения ветровых нагрузок - Специальные нагрузки

С.1 Примеры применения расчета ветровых нагрузок согласно 4.3 и 4.4

С.1.1 Пример 1: Типовая промежуточная опора деревянного столба 24 кВ

Описание:

- 1 цепь

- Типовой расчетный пролет: 100 м

- Провод: ACSR 99 мм 2 типа Голубь

Диаметр: 12,8 мм

- При +50 °С Самый низкий провод около 7 м над уровнем земли

- При 0 °С Постоянная цепной линии = 1322 м

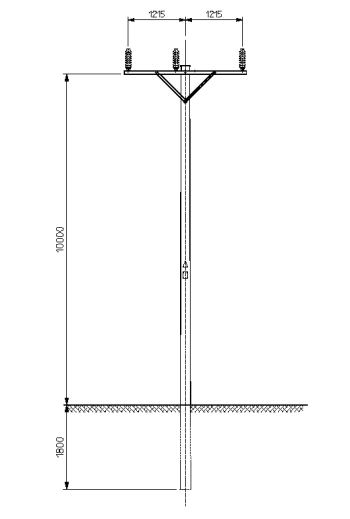


Рисунок С.1 — Типовая промежуточная опора деревянного столба 24 кВ

Данные и расчет шаг за шагом

Vb,0 = 25 m s-1 Базовая скорость ветра (4.3.2)

z0 = 0,05 м Коэффициент шероховатости для II категории рельефа местности (4.3.2)

kr = 0,189 Фактор рельефа местности для категории рельефа местности II (4.3.2)

h = 10 m Базовая высота над землей (4.3.2)

Для линий до 45 кВ переменного тока, h может приниматься равным 10 м независимо от фактической высоты при условии, что высота конструкции не превышает 20 м.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C0 =1 | Коэффициент топпографии местности | (4.3.2) |
| cdir =1 | Коэффициент направления ветра | (4.3.2) |
| Vh (h) = Vb0 cdir co kr ln (h/z0) = 25 m s-1 | Средняя скорость ветра | (4.3.3) |
| ρ = 1,225 кг/м-3 | Плотность воздуха | (4.3.3) |
| qh (h) = 1/2 ρ V2h (h) = 383 Па | Среднее давление ветра | (4.3.4) |
| Iv(h) = 1/[ c0 ln (h/z0 ) ] = 0,189 | Интенсивность турбулентности | (4.3.4) |
| qp(h) = [1 + 7 Iv(h)] qh(h) = 890 Па | Пиковое давление | (4.4.L2) |
| L1 = 120 м | Длина смежного пролета перед столбом | (4.4.L2) |
| L2 = 80 м | Длина смежного пролета после столба | (4.4.L2) |
| Lm= (L1 + L2)/2 = 100 м | Средний пролет | (4.4.12) |
| L(h)=300= 63,1 м | Масштаб турбулентности | (4.4.1.2) |
|  | Фоновый фактор | (4.4.1.2) |
| kp = 3 | Пиковый фактор | (4.4.1.2) |
| R2 = 0 | Коэффициент резонанса | (4.4.1.2) |
|  | Структурный коэффициент | (4.4.1.2) |
| ПРИМЕЧАНИЕ: Значение, указанное в таблице 6.4.с, равно 0,70 для z0 = 0,05 м, Lm=100 м = 10 м | | |
| Φ=0 | Угол встречи | (6.4.1.2) |
| Cc = 1 | Коэффициент сопротивления среды провода | (6.4.1.3 Метод 1) |
| d = 12,8 мм (0,0128 м) | Диаметр провода | (6.4.1.1) |
|  | Ветровая нагрузка на опору от каждого провода | (6.4.1.1) |
| dins=150 мм | Диаметр изолятора | (4.4.2) |
| hins=305 мм | Высота изолятора | (4.4.2) |
| Ains=0,046 m2 | Площадь изолятора (dins xhins ) | (4.4.2) |
| Cins = 1,2 | Коэффициент сопротивления среды изолятора | (4.4.2) |
| Gins=1 | структурный коэффициент изолятора | (4.4.2) |
| QWins = qp(h) Gins Cins Ains =49Н | Ветровая нагрузка с каждого изолятора | (4.4.2) |
| dtople =15 см | Диаметр вершины столба |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| dgroundpole=25 см | Диаметр столба на уровне земли |  |
| Hpole=10 м | Высота столба над уровнем земли |  |
| Apol=2m2 | Расчетная площадь столба (Hpole (dtoppole + dgroundpole) / 2) | (4.4.4) |
| Gpol = 1 | Структурный коэффициент для столбов | (4.4.4) |
| Cpol = 0,9 | Коэффициент сопротивления среды для деревянных столбов | (4.4.4) |
| QWp=qp(h) Gpol Cpol Apol=1602 Н | Ветровая нагрузка на опору в центре тяжести столба | (4.4.4) |

С.1.2 Пример 2: Типовая подвесная решетчатая опора 225 кВ

Описание:

- 2 цепи

- Типовой расчетный пролет: 400 м

- Провод: AAAC 570 мм 2 (ASTER)

Диаметр: 31,05 мм

- Заземляющий проводник: AACSR 147,6 мм2

Диаметр: 15,6 мм

- При +75 °С Самый нижний провод около 8 м над уровнем земли

- При 15 °С Постоянная цепной линии = 2000 м

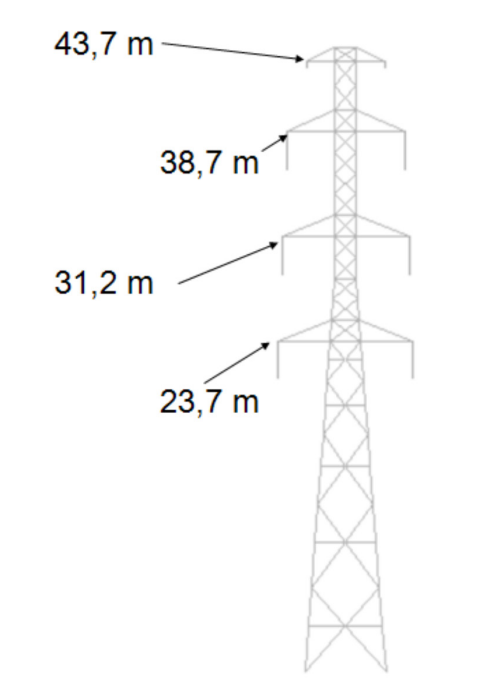


Рисунок С.2 — Типовая подвесная решетчатая опора 225 кВ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Vb0=24 мс-1 | | Основная скорость ветра | | | | | (4.3.2) |
| z0=0,05 м | | Коэффициент шероховатости для II категории рельефа местности | | | | | (4.3.2) |
| kr=0,189 | | Фактор рельефа местности для II категории рельефа местности | | | | | (4.3.2) |
| co=1 | | Фактор рельефа местности | | | | | (4.3.2) |
| cdir=1 | | Коэффициент направления ветра | | | | | (4.3.2) |
| h=33 м | | Базовая высота над землей (метод 8)  [31,05·(23,7+31,2+38,7)+15,6·(43,7)]/[3·31,05+15,6] | | | | | (4.4.1.1) |
| vh(h)=vb,0 cdir co kr ln(h/z0)=29,5 мс-1 | | | | Средняя скорость ветра | | | (4.3.2) |
| ρ=1,25 кг·м-3 | | Плотность воздуха (консервативное значение из EN 1991-1-4) | | | | | (4.3.3) |
| qh(h)=1/2·ρV2h(h)=544 Па | | Среднее давление ветра | | | | | (4.3.3) |
| Iv(h)=1/[c0 ln(h/z0)]=0,154 | | Интенсивность турбулентности | | | | | (4.3.4) |
| qp(h)=[1+7Iv(h)] qh(h)=1130 Па | | Пиковое давление | | | | | (4.3.4) |
| Lm=400 м | | Средний пролет | | | | | (4.4.1.2) |
|  | | | | | Масштаб длины турбулентности | | (4.4.1.2) |
|  | | Фактор фона | | | | | (4.4.1.2) |
| kp=3 | | Пиковый коэффициент | | | | | (4.4.1.2) |
| R2=0 | | Коэффициент резонанса | | | | | (4.4.1.2) |
|  | | Структурный коэффициент | | | | | (4.4.1.2) |
| ПРИМЕЧАНИЕ: Значение, указанное в таблице 4.4.с, равно 0,66 для z 0 = 0,05 м, L m = 400 м и h = 30 м или 35 м. | | | | | | | |
| *Φ* = 0 | | | Угол встречи | | | (4.4.1.1) | |
| Cc=1 | Коэффициент сопротивления провода и заземляющего провода | | | | | (метод 4.4.1.3 Метод 1) | |
| d=31,05 мм (0,03105 м) | | | Диаметр провода | | | (4.4.1.1) | |
| QWc\_V=qp(h) Gc Cc d cos2φ Lm=9277 Н | | | Ветровая нагрузка на опору от каждого провода | | | (4.4.1.1) | |
| d = 15,6 мм (0,0156 м) | | | Диаметр провода заземления | | | (4.4.1.1) | |
| QWc\_v=qp(h) Gc Cc d cos2φ Lm=4661Н | | | Ветровая нагрузка ветра на опору от каждого провода заземления | | | (4.4.1.1) | |

Расчет ветровой нагрзуки на элемент (угол) этой опоры

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ht = 44,7 м | Общая высота башни | | (4.4.3.3) |
| h = 27 м | Базовая высота (60 % H t ) | | (4.4.3.3) |
| Vh(h)=Vb0 СdirСo kr ln(h/z0)=28,5 мс-1 | | Средняя скорость ветра | (4.3.2) |
| p = 1,25 кг м-3 | Плотность воздуха (консервативное значение из EN 1991-1-4) | | (4.3.3) |
| qh(h)=1/2 Vh2(h) = 508 Па | Среднее давление ветра | | (4.3.3) |
| lv(h)=1/[c0ln(h/z0)]=0,159 | Интенсивность турбулентности | | (4.3.4) |
| qp(h)=[1+7Iv(h)] qh(h)=1073 Па | Пиковое давление | | (4.3.4) |
| Cm=1,6 | Коэффициент сопротивления среды для угла | | (4.4.3.3) |
| Gm=1 | Структурный коэффициент для угла | | (4.4.3.3) |
| QWm=[qp(h) Gm Cm] Amcos2φm  QWm=1717 (Pa) Am cos2φm | Ветровая нагрузка на каждый угол  (функция A m и cos2( m ) | | (4.4.3.3) |

С.2 Специальные нагрузки

С.2.1 Определение символов, используемых в этом приложении С.2

Символ Значение

ISC2φ 2-фазный ток короткого замыкания

ISC3φ 3-фазный ток короткого замыкания

С.2.2 Нагрузки от токов короткого замыкания

Основная проблема во время короткого замыкания связана с неконтролируемым раскачиванием проводов, что приводит к возможному столкновению проводов и приводит к постоянной изоляции цепи после срабатывания автоматического выключателя в это время. Условия короткого замыкания также могут вызвать механические проблемы (на опорах), но они менее важны, чем проблемы, связанные с раскачиванием провода.

Возможное решение проблемы качающегося провода заключается в использовании межфазных прокладок, которые уменьшают перемещения, удерживая провода отдельно друг от друга (подавляя биение провода). Для расчета требуется программное обеспечение, способное моделировать нагрузки и движения проводов во время и после короткого замыкания.

Механический анализ воздушных ЛЭП под нагрузкой короткого замыкания может быть выполнен, если это указано в Проектной спецификации. Следует учитывать следующее.

• Уровень короткого замыкания должен быть указан в соответствии с уровнями, указанными для номинальных характеристик распределительного устройства.

Для информации, уровень короткого замыкания (ток короткого замыкания 3 фазы, ISC3φ) на подстанции может превышать следующие указанные уровни:

1) 40 кА для максимального напряжения сети 420 кВ;

2) 31,5 кА для максимального напряжения сети 245 кВ;

3) 20 кА для более низких напряжений.

• Ток короткого замыкания, используемый для проверки, является максимальным уровнем, допустимым для оборудования подстанции (даже если он не достигается на текущем этапе разработки системы передачи), чтобы способствовать дальнейшему развитию системы.

• Опоры вблизи подстанции должны быть проверены с учетом уменьшения тока короткого замыкания из-за сопротивления линии.

• Проверка опоры прекращается, когда ток короткого замыкания падает ниже указанного выше уровня.

Это правило следует применять для проверки от 5 до 10 пролетов от подстанции. Обычно чрезмерному раскачиванию подвергается только 1 пролет, а 1 или 2 опоры, прилегающие к подстанции, подвергаются механическим перегрузкам от коротких замыканий.

• Следует проверять только двухфазный ток короткого замыкания ISC2f как наиболее ограничивающий. В качестве приближения:

ISC2φ =ISC3φ

Снижение тока короткого замыкания со временем также следует учитывать в соответствии с электрическими характеристиками системы. Время повреждения следует рассматривать в соответствии с типом используемых реле защиты и возможностью покрытия отказа выключателя или нет (время срабатывания выключателя без отказа обычно оценивается в 80–200 мс при условии твердотельного реле).

С.2.3 Лавины, сползание снега

Кроме воздействия прямых лавин, нельзя пренебрегать воздействием лавин с противоположного склона долины на воздушные ЛЭП. Это может повлиять на провода и арматуру (особенно в случае порошкообразных лавин), опоры и фундаменты. Сползание снега следует учитывать с точки зрения дополнительных нагрузок на фундаменты и нижние части опор (особенно раскосы).

Принципы расчета нагрузок, вызванных лавинами или сползанием снега, не могут быть полностью определены и должны быть указаны в NNA или Проектной спецификации. Температура, совпадающая с лавинами, может быть в пределах от - 20 °С до + 10 °С.

Соответствующие допущения о нагрузке могут помочь уменьшить риск выхода из строя опор: например, в случае разрыва всех проводов и заземляющих проводников на одной стороне опоры, натяжения проводов и заземляющих проводников на оставшейся стороне должны приниматься равными к их прочности на разрыв.

Значения давления сползания снега на защитные устройства можно найти в Проектной спецификации. Меры защиты должны быть приняты в отношении соседних зданий, а также сооружений на противоположном склоне той же долины, на которые могут воздействовать отклоняющиеся лавины или снег.

С.2.4 Землетрясения

Поскольку ветровые нагрузки, как правило, более обременительны для опор воздушной ЛЭП решетчатого типа, сейсмические нагрузки, которые могут привести к дополнительным нагрузкам, можно ожидать только в очень сейсмоактивных зонах. Эти соображения могут включать в себя естественный период вибрации конструкции, коэффициент резонанса конструкции площадки (в зависимости от состояния грунта), а также высоту, вес и распределение массы опорной конструкции.

Так как частота опоры выше, чем у проводов, динамическая нагрузка от проводов не будет значительной. И наоборот, не следует ожидать каких-либо значительных эффектов от опоры по отношению к проводам.

Ускорение грунта из-за землетрясений может повлиять на конструкцию жестких и тяжелых бетонных конструкций. Воздействие землетрясений на оборудование (арматура, изоляторы и т.д.) в данном приложении не рассматривается.

Приложение D

(справочное)

Статистические данные для распределения экстремумов Гамбеля

D.1 Определение символов, используемых в этом приложении

|  |  |
| --- | --- |
| **Символ** | **Значение** |
| C1, C2 | Параметры в зависимости от длины серии измерений |
| **G** | Дополнительная вероятность, или риск экстремального значения, x i превышающего выбранное |
|  | значение, x в произвольном году |
| G1 | Кумулятивное распределение Гамбеля для экстремумов |
| i | Символ для обозначения произвольного года в серии |
| К | Коэффициент, зависящий от периода повторяемости, T, числа лет, n и коэффициента вариации, v |
| Kconv | Коэффициент пересчета для разных периодов повторяемости |
| n | Количество лет |
| v | Коэффициент вариации |
| xi | Экстремальное значение для переменной x в произвольном году |
|  | Среднее значение переменной, x |
| zi | Константа, рассчитанная для произвольного года, i в серии из n лет |
|  | Среднее значение z i равно C 2 |
| σ z | Стандартное отклонение z i равно C |
| y, α, μ, σ | Факторы, используемые при расчете распределения Гамбеля |

D.2 Распределение Гамбеля

D.2 Распределение Гамбеля

Хотя существует несколько функций, которые представляют экстремальные распределения, это приложение основано на распределении Гамбеля (Фишера Типетта или Гамбеля, тип II).

Кумулятивное распределение можно записать как

(D.1)

что дает вероятность того, что экстремальное значение xi для произвольного года меньше любого выбранного значения x. В этой формуле

(D.2)

(D.3)

(D.4)

где - среднее значение n годовых экстремумов xi и σ, стандартное отклонение или квадратный корень из отклонения

(D.5)

(D.6)

(D.7)

Вместо самого стандартного отклонения, более полезным в дальнейшем будет значение v на единицу. Его также называют коэффициентом вариации.

C1 и C2 в формулах (D.3) и (D.4) являются параметрами, зависящими от длины серии измерений, определяемой параметром n. Они приведены в таблице D.1.

Дополнительная вероятность или риск того, что экстремальное значение xj превысит выбранное значение x в произвольном году:

(D.8)

Период повторяемости T является обратным значением G(x), здесь записанным как T(x), чтобы подчеркнуть его зависимость от выбранного значения x:

(D.9)

Объединение формул (D.1), (D.8) и (D.9) дает

(D.10)

или

(D.11)

Видно, что существует однозначная связь между периодом повторяемости T и параметром y, не зависящим от и σ. Это показано в таблице D.2.

Таблица D.1 — Значения параметров С1 и С2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Длина серии измерений n | Параметры | |
| Годы | С1 | С2 |
| 10 | 0,949 6 | 0,495 2 |
| 11 | 0,967 6 | 0,499 6 |
| 12 | 0,983 3 | 0,503 5 |
| 13 | 0,997 1 | 0,507 0 |
| 14 | 1,009 5 | 0,510 0 |
| 15 | 1,020 6 | 0,512 8 |
| 16 | 1,030 6 | 0,515 4 |
| 17 | 1,039 7 | 0,517 7 |
| 18 | 1,048 1 | 0,519 8 |
| 19 | 1,055 7 | 0,521 7 |
| 20 | 1,062 8 | 0,523 6 |
| 21 | 1,069 4 | 0,525 2 |
| 22 | 1,075 5 | 0,526 8 |
| 23 | 1,081 2 | 0,528 2 |
| 24 | 1,086 5 | 0,529 6 |
| 25 | 1,091 4 | 0,530 9 |
| 26 | 1,096 1 | 0,532 1 |
| 27 | 1,100 5 | 0,533 2 |
| 28 | 1,104 7 | 0,534 3 |
| 29 | 1,108 6 | 0,535 3 |
| 30 | 1,112 4 | 0,536 2 |
| 35 | 1,128 5 | 0,540 3 |
| 40 | 1,141 3 | 0,543 6 |
| 45 | 1,151 8 | 0,546 3 |
| 50 | 1,160 7 | 0,548 5 |
| 55 | 1,168 2 | 0,550 4 |
| 60 | 1,174 7 | 0,552 1 |
| 65 | 1,180 3 | 0,553 5 |
| 70 | 1,185 4 | 0,554 8 |
| 75 | 1,189 8 | 0,555 9 |
| 80 | 1,193 8 | 0,556 9 |
| 85 | 1,197 4 | 0,557 8 |
| 90 | 1,200 7 | 0,558 6 |
| 95 | 1,203 7 | 0,559 3 |
| 100 | 1,206 5 | 0,560 0 |
| 250 | 1,242 9 | 0,568 8 |
| 500 | 1,258 8 | 0,572 4 |
| 750 | 1,265 2 | 0,573 8 |
| 1 000 | 1,268 5 | 0,574 5 |
| 10 000 | 1,280 3 | 0,576 8 |
| CO | 1,282 5 | 0,577 2 |

Таблица D.2 — Соответствующие значения периода повторяемости Т, риска превышения G и параметра у

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Период повторяемости | Риск превышения | Параметр |
| Т | G | y |
| Годы |  |  |
| 3 | 0,333 3 | 0,902 7 |
| 50 | 0,020 0 | 3,901 9 |
| 150 | 0,006 7 | 5,007 3 |
| 500 | 0,002 0 | 6,213 6 |

Формулу (D.2) можно записать:

(D.12)

и, используя (D.4) и (D.3)

(D.13)

Соблюдая формулу (D.7) и переставляя, поскольку y всегда > C2:

(D.14)

Формулу (D.14) можно записать

(D.15)

где K, функция v, T (поскольку y задается T) и n (поскольку C1 и C2 задаются n), определяется как:

(D.16)

В таблице D.3 приведены некоторые значения K для периодов повторяемости T (лет), периодов измерения n (лет) и коэффициентов вариации v, которые могут оказаться полезными.

Очень часто необходимо пересчитать данное климатическое значение с периодом повторяемости 50 лет в значение с 3, 150 или 500 годами. Такие коэффициенты пересчета могут быть рассчитаны с использованием тех же формул, что и выше. Таким коэффициентом будет:

(D.17)

который также является функцией периода повторяемости, коэффициента вариации и длины серии измерений n.

В таблице D.4 приведены коэффициенты пересчета экстремумов с периодом повторяемости 50 лет в экстремумы с периодами повторяемости 3, 150 и 500 лет в зависимости от измеренных значений коэффициента вариации и длины измеренных серий.

D.3 Пример использования C1 и C2

Пример использования C1 и C2 может быть полезен. Скорости ветра измерялись в течение 35 лет. Среднее значение годовых экстремумов составляет 33 м/с, а коэффициент вариации v = 0,12. Если выбран период повторяемости T = 50 лет, таблица D.2 дает y = 3,9019. Кроме того, таблица D.1 дает C1 = 1,1285 и C2 = 0,5403 для n = 35. Тогда формула (D.14) дает расчетную скорость ветра:

Так называемое идеальное распределение Гамбеля с C1 = 1,282 5 и C2 = 0,577 2 (на основе бесконечного периода измерения) даст:

Более реалистичное распределение дает расчетное значение на 3,5% выше, чем при «идеальном» распределении.

D.4 Расчет C1 и C2

При периоде измерения n лет, можно рассчитать n z-значений, пронумерованных от

(D.18)

где i принимает значения от 1 до n. Среднее значение этих значений z находится

(D.19)

Параметр C2 просто равен этому среднему значению:

(D.20)

Затем находится отклонение значений z:

(D.21)

где σz — стандартное отклонение zi. Параметр C1 просто равен этому стандартному отклонению:

(D.22)

С некоторой перестановкой, отклонение можно выразить следующим образом

(D.23)

Это упрощает вычисления, так как суммирование может быть выполнено до того, как станет известен z.

Пример показывает, как вычисляются C1 и C2 для n = 10.

Таблица D.3 — Коэффициенты для расчета проектных значений на основе средних значений годовых экстремумов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Период | Повторяемость  измерений n |  |  |  | Коэффициент вариации  v | | | |  |  |  |  |
| период  Т |  |  |  |  |  |  |
| Годы | Годы | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
|  | 10 | 1,04 | 1,05 | 1,06 | 1,07 | 1,08 | 1,09 | 1,13 | 1,17 | 1,21 | 1,26 | 1,30 |
|  | 15 | 1,04 | 1,05 | 1,05 | 1,06 | 1,07 | 1,08 | 1,11 | 1,15 | 1,19 | 1,23 | 1,27 |
|  | 20 | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,06 | 1,06 | 1,07 | 1,11 | 1,14 | 1,18 | 1,21 | 1,24 |
| 3 | 25 | 1,03 | 1,04 | 1,05 | 1,05 | 1,06 | 1,07 | 1,10 | 1,14 | 1,17 | 1,20 | 1,23 |
| 30 | 1,03 | 1,04 | 1,05 | 1,05 | 1,06 | 1,07 | 1,10 | 1,13 | 1,16 | 1,20 | 1,23 |
|  | 35 | 1,03 | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,06 | 1,06 | 1,10 | 1,13 | 1,16 | 1,19 | 1,22 |
|  | 40 | 1,03 | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,06 | 1,06 | 1,09 | 1,13 | 1,16 | 1,19 | 1,22 |
|  | CO | 1,03 | 1,03 | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,05 | 1,08 | 1,10 | 1,13 | 1,15 | 1,18 |
|  | 10 | 1,36 | 1,43 | 1,50 | 1,57 | 1,65 | 1,72 | 2,08 | 2,43 | 2,79 | 3,15 | 3,51 |
|  | 15 | 1,33 | 1,40 | 1,46 | 1,53 | 1,60 | 1,66 | 2,00 | 2,33 | 2,66 | 2,99 | 3,32 |
|  | 20 | 1,32 | 1,38 | 1,45 | 1,51 | 1,57 | 1,64 | 1,95 | 2,27 | 2,59 | 2,91 | 3,23 |
| 50 | 25 | 1,31 | 1,37 | 1,43 | 1,49 | 1,56 | 1,62 | 1,93 | 2,24 | 2,54 | 2,85 | 3,16 |
| 30 | 1,30 | 1,36 | 1,42 | 1,48 | 1,54 | 1,61 | 1,91 | 2,21 | 2,51 | 2,82 | 3,12 |
|  | 35 | 1,30 | 1,36 | 1,42 | 1,48 | 1,54 | 1,60 | 1,89 | 2,19 | 2,49 | 2,79 | 3,09 |
|  | 40 | 1,29 | 1,35 | 1,41 | 1,47 | 1,53 | 1,59 | 1,88 | 2,18 | 2,47 | 2,77 | 3,06 |
|  | C | 1,26 | 1,31 | 1,36 | 1,42 | 1,47 | 1,52 | 1,78 | 2,04 | 2,30 | 2,56 | 2,82 |
|  | 10 | 1,48 | 1,57 | 1,67 | 1,76 | 1,86 | 1,95 | 2,43 | 2,90 | 3,38 | 3,85 | 4,33 |
|  | 15 | 1,44 | 1,53 | 1,62 | 1,70 | 1,79 | 1,88 | 2,32 | 2,76 | 3,20 | 3,64 | 4,08 |
|  | 20 | 1,42 | 1,51 | 1,59 | 1,67 | 1,76 | 1,84 | 2,27 | 2,69 | 3,11 | 3,53 | 3,95 |
| 150 | 25  30 | 1,41 1,40 | 1,49 1,48 | 1,57 1,56 | 1,66 1,64 | 1,74 1,72 | 1,82 1,80 | 2,23 2,21 | 2,64 2,61 | 3,05 3,01 | 3,46 3,41 | 3,87 3,81 |
|  | 35 | 1,40 | 1,48 | 1,55 | 1,63 | 1,71 | 1,79 | 2,19 | 2,58 | 2,98 | 3,38 | 3,77 |
|  | 40 | 1,39 | 1,47 | 1,55 | 1,63 | 1,70 | 1,78 | 2,17 | 2,56 | 2,96 | 3,35 | 3,74 |
|  | C | 1,35 | 1,42 | 1,48 | 1,55 | 1,62 | 1,69 | 2,04 | 2,38 | 2,73 | 3,08 | 3,42 |
|  | 10 | 1,60 | 1,72 | 1,84 | 1,96 | 2,08 | 2,20 | 2,81 | 3,41 | 4,01 | 4,61 | 5,22 |
|  | 15 | 1,56 | 1,67 | 1,78 | 1,89 | 2,01 | 2,12 | 2,68 | 3,23 | 3,79 | 4,35 | 4,91 |
|  | 20 | 1,54 | 1,64 | 1,75 | 1,86 | 1,96 | 2,07 | 2,61 | 3,14 | 3,68 | 4,21 | 4,75 |
| 500 | 25  30 | 1,52 1,51 | 1,62 1,61 | 1,73 1,71 | 1,83 1,82 | 1,94 1,92 | 2,04 2,02 | 2,56 2,53 | 3,08 3,04 | 3,60 3,55 | 4,12 4,06 | 4,64 4,57 |
|  | 35 | 1,50 | 1,60 | 1,70 | 1,80 | 1,90 | 2,01 | 2,51 | 3,01 | 3,51 | 4,02 | 4,52 |
|  | 40 | 1,50 | 1,60 | 1,70 | 1,79 | 1,89 | 1,99 | 2,49 | 2,99 | 3,48 | 3,98 | 4,48 |
|  | C | 1,44 | 1,53 | 1,62 | 1,70 | 1,79 | 1,88 | 2,32 | 2,76 | 3,20 | 3,64 | 4,08 |

Таблица D.4 - Коэффициенты пересчета для расчета проектных значений на основе соответствующих значений с 50-летним периодом повторяемости

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Период | Повторяемость  измерений n |  |  |  | Коэффициент вариации  v | | | |  |  |  |  |
| период  Т |  |  |  |  |  |  |  |
| Годы | Годы | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
|  | 10 | 0,77 | 0,74 | 0,71 | 0,68 | 0,65 | 0,63 | 0,54 | 0,48 | 0,43 | 0,40 | 0,37 |
|  | 15 | 0,78 | 0,75 | 0,72 | 0,69 | 0,67 | 0,65 | 0,56 | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 |
|  | 20 | 0,79 | 0,75 | 0,73 | 0,70 | 0,68 | 0,65 | 0,57 | 0,50 | 0,46 | 0,42 | 0,39 |
| 3 | 25 | 0,79 | 0,76 | 0,73 | 0,71 | 0,68 | 0,66 | 0,57 | 0,51 | 0,46 | 0,42 | 0,39 |
| 30 | 0,79 | 0,76 | 0,73 | 0,71 | 0,69 | 0,66 | 0,58 | 0,51 | 0,46 | 0,43 | 0,39 |
|  | 35 | 0,80 | 0,77 | 0,74 | 0,71 | 0,69 | 0,67 | 0,58 | 0,51 | 0,47 | 0,43 | 0,40 |
|  | 40 | 0,80 | 0,77 | 0,74 | 0,71 | 0,69 | 0,67 | 0,58 | 0,52 | 0,47 | 0,43 | 0,40 |
|  |  | 0,81 | 0,79 | 0,76 | 0,74 | 0,71 | 0,69 | 0,60 | 0,54 | 0,49 | 0,45 | 0,42 |
| 50 | Все | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
|  | 10 | 1,09 | 1,10 | 1,11 | 1,12 | 1,13 | 1,14 | 1,17 | 1,19 | 1,21 | 1,22 | 1,23 |
|  | 15 | 1,08 | 1,09 | 1,10 | 1,11 | 1,12 | 1,13 | 1,16 | 1,19 | 1,20 | 1,22 | 1,23 |
|  | 20 | 1,08 | 1,09 | 1,10 | 1,11 | 1,12 | 1,13 | 1,16 | 1,18 | 1,20 | 1,21 | 1,23 |
| 150 | 25  30 | 1,08 1,08 | 1,09 1,09 | 1,10 1,10 | 1,11 1,11 | 1,12 1,12 | 1,13 1,12 | 1,16 1,16 | 1,18 1,18 | 1,20 1,20 | 1,21 1,21 | 1,22 1,22 |
|  | 35 | 1,08 | 1,09 | 1,10 | 1,11 | 1,11 | 1,12 | 1,16 | 1,18 | 1,20 | 1,21 | 1,22 |
|  | 40 | 1,07 | 1,09 | 1,10 | 1,11 | 1,11 | 1,12 | 1,15 | 1,18 | 1,20 | 1,21 | 1,22 |
|  | C | 1,07 | 1,08 | 1,09 | 1,10 | 1,11 | 1,11 | 1,15 | 1,17 | 1,19 | 1,20 | 1,21 |
|  | 10 | 1,18 | 1,20 | 1,23 | 1,25 | 1,27 | 1,28 | 1,35 | 1,40 | 1,44 | 1,46 | 1,49 |
|  | 15 | 1,17 | 1,19 | 1,22 | 1,24 | 1,26 | 1,27 | 1,34 | 1,39 | 1,43 | 1,45 | 1,48 |
|  | 20 | 1,17 | 1,19 | 1,21 | 1,23 | 1,25 | 1,27 | 1,33 | 1,38 | 1,42 | 1,45 | 1,47 |
| 500 | 25  30 | 1,16 1,16 | 1,19 1,18 | 1,21 1,20 | 1,23 1,22 | 1,25 1,24 | 1,26 1,26 | 1,33 1,33 | 1,38 1,38 | 1,42 1,41 | 1,45 1,44 | 1,47 1,47 |
|  | 35 | 1,16 | 1,18 | 1,20 | 1,22 | 1,24 | 1,26 | 1,32 | 1,37 | 1,41 | 1,44 | 1,46 |
|  | 40 | 1,16 | 1,18 | 1,20 | 1,22 | 1,24 | 1,26 | 1,32 | 1,37 | 1,41 | 1,44 | 1,46 |
|  | C | 1,14 | 1,17 | 1,19 | 1,20 | 1,22 | 1,24 | 1,30 | 1,35 | 1,39 | 1,42 | 1,45 |

Первая сумма в таблице D.5 дает:

а потом последовательно

И

Можно показать, что если n → ∞ тогда C1 → π / √6 = 1,282549 и C2 → 0,577216. Последнее называется постоянной Эйлера.

Таблица D.5 — Расчет и суммирование z и z 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| i | z | z2 |
| 1 | -0,874 6 | 0,764 9 |
| 2 | -0,533 4 | 0,284 5 |
| 3 | -0,261 8 | 0,068 5 |
| 4 | -0,011 5 | 0,000 1 |
| 5 | 0,237 7 | 0,056 5 |
| 6 | 0,500 7 | 0,250 7 |
| 7 | 0,794 1 | 0,630 6 |
| 8 | 1,144 3 | 1,309 4 |
| 9 | 1,606 1 | 2,579 5 |
| 10 | 2,350 6 | 5,525 4 |
| ∑ | 4,952 1 | 11,470 2 |

Приложение Е

(обязательное)

Теоретический метод расчета минимальных воздушных зазоров

Е.1 Определение символов, используемых в этом приложении

ПРИМЕЧАНИЕ: Это приложение не применимо к линиям с номинальным напряжением системы до 45 кВ переменного тока включительно.

Символ Значение

De Минимальный воздушный зазор, необходимый для предотвращения пробивного разряда между фазными проводами и объектами с потенциалом земли во время быстрого или медленного фронта перенапряжения

Dpp Минимальный воздушный зазор, необходимый для предотвращения пробойного разряда между фазными проводами во время быстрого или медленного фронта перенапряжения

D50Hz\_p\_e Минимальный воздушный зазор, необходимый для предотвращения пробивного разряда при напряжении промышленной частоты между фазным проводом и объектами с потенциалом земли

D50Hz\_p\_p Минимальный воздушный зазор, необходимый для предотвращения пробивного разряда при напряжении промышленной частоты между фазными проводами

d Безопасное расстояние промежутка

dis Безопасное расстояние между концами гирлянды изолятора.

Kcs Коэффициент статистической координации

Kg Коэффициент зазора

Kg\_ff Коэффициент зазора воздушного промежутка для перенапряжений с быстрым фронтом

Kgff\_ff\_is Коэффициент зазора гирлянд изоляторов для перенапряжений с быстрым фронтом.

Kg\_pf Коэффициент зазора воздушного промежутка для напряжений промышленной частоты

Kg\_sf  Коэффициент зазора воздушного промежутка для перенапряжений с медленным фронтом

Kz Коэффициент отклонения

Kzff Коэффициент отклонения распределения выдерживаемого напряжения воздушного зазора при быстром фронте перенапряжения

Kz\_pf Коэффициент отклонения распределения выдерживаемого напряжения воздушного зазора для напряжений промышленной частоты

Kzsf Коэффициент отклонения распределения выдерживаемого напряжения воздушного зазора при медленном фронте перенапряжения

ka Атмосферный фактор

N Количество стандартных отклонений, соответствующих Urw

U2%\_sf 2 % перенапряжение медленного фронта, нагружающее воздушный зазор

U e2 %\_ sf 2 % перенапряжение медленного фронта "фаза-земля"

U p2 %\_ sf 2 % перенапряжение медленного фронта между фазами

U 100 % 100 % выдерживаемое напряжение воздушного зазора

U 50 % 50 % выдерживаемое напряжение воздушного зазора

U 50rp 50 % выдерживаемое напряжение зазора "стержень-плоскость"

U 50rp \_ sf 50 % выдерживаемое напряжение зазора "стержень-плоскость" для перенапряжений медленного фронта

U 50rp \_ ff 50 % выдерживаемое напряжение зазора "стержень-плоскость" для перенапряжений быстрого фронта

U 50rp \_ 50Hz 50 % выдерживаемое напряжение зазора "стержень-плоскость" для напряжений промышленной частоты

U 90 % 90 % выдерживаемое напряжение воздушного зазора

U 90 %\_ff\_is 90 % выдерживаемое напряжение гирлянд изоляторов, установленных на линии быстрого фронта перенапряжения

Ucw Координация выдерживаемого напряжения

Un Номинальное напряжение системы

Urp Репрезентативное напряжение или перенапряжение

Urw Требуемое выдерживаемое напряжение воздушного зазора

Us Максимальное напряжение системы

Z Среднеквадратичное отклонение

z Коэффициент вариации

Е.2 Координация изоляции

Е.2.1 Разработка теоретических формул для расчета электрических расстояний

Теоретический метод, приведенный в Е.2, используется для получения минимального воздушного зазора. Таблицы с 5.3 по 5.5, содержащие Del, Dpp, D50Hz\_p\_e, D50Hz\_p\_p в 5.5.2.

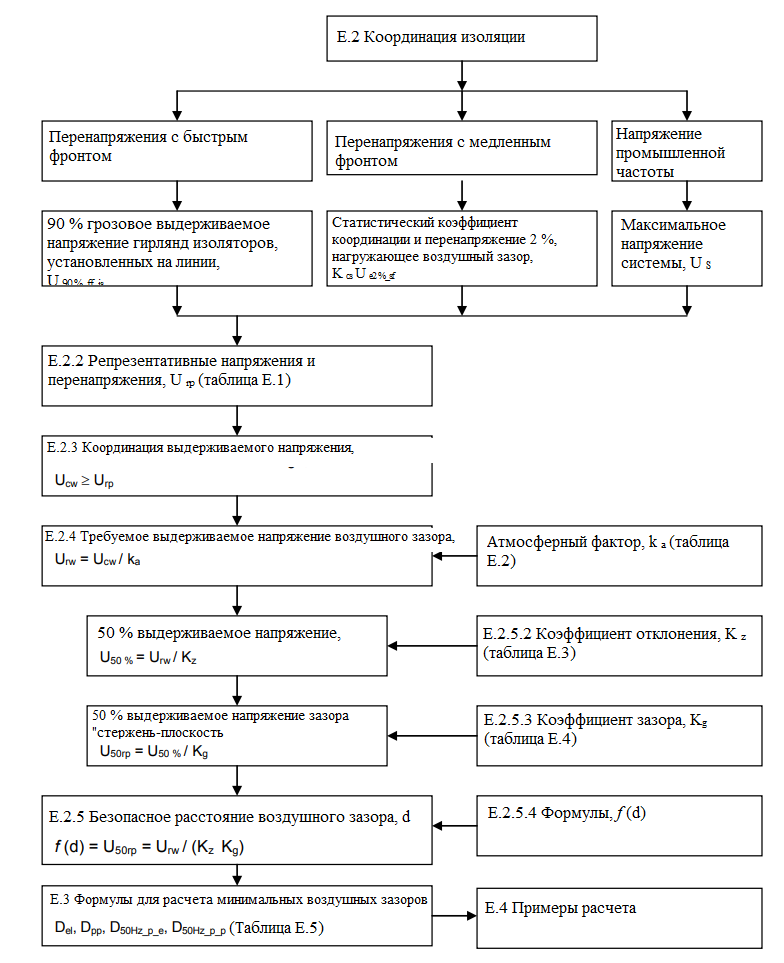
Расчетные формулы приведены в Е.3 (таблица Е.5), а некоторые примеры применения приведены в Е.4.

Блок-схема E.1 показывает структуру этого Приложения E.

Этот теоретический метод основан на работе ENV 50196, подкрепленной информацией из EN 60071-1, EN 60071-2 и отчета CIGRE 72 «Руководство по оценке диэлектрической прочности внешней изоляции».

Значения атмосферного фактора взяты из EN 61472. Если указано в NNA, различные этапы координации изоляции, описанные в приложении E, могут быть заменены методологией и терминологией, приведенными в EN 60071-2.

ПРИМЕЧАНИЕ: EN 60071-2 рассматривает поправочный коэффициент высоты Ka. Инверсия этого коэффициента 1/Ka соответствует атмосферному фактору ka по EN 61472. Поправочный коэффициент высоты в EN 60071-2 различен для напряжения промышленной частоты, перенапряжений с медленным фронтом и быстрым фронтом.

****

Блок-схема E.1 — Структура Приложения E по теоретическому методу определения минимальных расстояний воздушного зазора

Е.2.2 Репрезентативные напряжения и перенапряжения Urp

Перенапряжения с быстрым фронтом, вызванные молнией, должны учитываться при расчете воздушных зазоров в системах диапазона I (US выше 1 кВ до 245 кВ включительно) и II (US выше 245 кВ) по EN 60071-1.

перенапряжения с медленным фронтом, вызванные переключением, должны учитываться при расчете воздушных зазоров в системах диапазона II (US выше 245 кВ) по EN 60071-1.

Репрезентативные напряжения и перенапряжения, Urp, которые необходимо учитывать, следующие (таблица E.1):

Перенапряжения с быстрым фронтом

Для целей определения воздушных зазоров репрезентативным перенапряжением, Urp считается то, которое может распространяться за пределы нескольких опор от точки удара молнии.

• Для расстояний между фазой и землей за U90%\_ ffJs должно приниматься 90 % выдерживаемое грозовым разрядом напряжение гирлянд изоляторов, установленных на линии.

• Для межфазных зазоров принимается 1,20 U90 %\_ff\_is.

Перенапряжения с медленным фронтом

Упрощенный статистический метод для перенапряжений с медленным фронтом, пригодный для координации изоляции воздушных ЛЭП, можно использовать, если предположить, что распределение перенапряжения и прочности изоляции можно определить по точке на каждой из этих кривых.

Распределение перенапряжения определяется статистическим перенапряжением, воздействующим на воздушный зазор, U2%\_sf, которое представляет собой перенапряжение с вероятностью превышения 2 %. Прочность изоляции определяется статистическим выдерживаемым напряжением, то есть напряжением, при котором изоляция демонстрирует 90 % вероятность сопротивления. Репрезентативное перенапряжение Urp получается путем умножения статистического перенапряжения на статистический коэффициент координации Kcs:

• "фаза-земля" K cs Ue2%\_ sf;

• между фазами Kcs Up2 %\_sf = 1,4 Kcs Ue2 %\_sf.

Вероятность отказа связана со статистическим коэффициентом координации Kcs. Для определения электрических зазоров, Kcs можно принять равным 1,05, что соответствует вероятности отказа порядка 1,0 x 10 -3.

Напряжение промышленной частоты

В целях проектирования и координации изоляции, репрезентативное длительное напряжение должно рассматриваться как постоянное и равное максимальному напряжению системы, US:

"фаза-земля" (пиковое значение);

между фазами (пиковое значение).

Таблица Е.1 — Репрезентативные напряжения и перенапряжения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Репрезентативное напряжение или перенапряжение  Urp | |
| "Фаза-земля" | Между фазами |
| Перенапряжения с быстрым фронтом (молния) | U90 %\_ff\_is | 1,2 U90 %\_ff\_is |
| Перенапряжения с медленным фронтом (переключение) | Kcs Ue2 %\_sf | 1,4 Kcs Ue2 %\_sf |
| Напряжение промышленной частоты |  |  |
| U90 %\_ff\_is — максимальное из 90 % перенапряжений с быстрым фронтом гирлянд изоляторов на линии (\*);  Ue2 %\_sf — 2 % перенапряжение с медленным фронтом "фаза-земля", нагружающее воздушный зазор (т. е. перенапряжение с медленным фронтом с вероятностью превышения 2 %);  Us — максимальное напряжение системы (кВ, среднеквадратичное значение). | | |

(\*) Значение U90%\_ ff\_is может быть неизвестно некоторым утилитам. В этом случае, U90%\_ff\_is может быть получено из значений зазора гирлянд изоляторов и их коэффициентов зазора.

где:

K z \_ ff - коэффициент отклонения (Kz = 0,961);

Kg\_ff\_is — коэффициент зазора гирлянд изоляторов для перенапряжений с быстрым фронтом;

dis — зазор между концами гирлянды изолятора.

Е.2.3 Координация выдерживаемого напряжения Ucw

Используемая координация выдерживаемого напряжения Ucw должна быть больше или равна репрезентативному перенапряжению Urw:

Е.2.4 Требуемое выдерживаемое напряжение воздушного зазора, Urw

Требуемое выдерживаемое напряжение воздушного зазора Urw определяется из согласованного выдерживаемого напряжения с учетом поправочного коэффициента, связанного с атмосферными условиями. Диэлектрическая прочность изоляции линии зависит от высоты над уровнем моря. Этот эффект, который в некоторой степени зависит от длины воздушного зазора, объясняется атмосферным фактором, ka, зависящим от значения рассматриваемой координации выдерживаемого напряжения.

Атмосферный фактор ka обычно применим для высот до 1000 м над уровнем моря. Все значения ka указаны в таблице E.2. ka имеет разные значения для перенапряжений с быстрым и медленным фронтом и для напряжений промышленной частоты, а также для их зазоров "фаза-земля" и "фаза-фаза".

Связь между требуемым выдерживаемым напряжением и безопасным расстоянием воздушного зазора описана в Е.2.5.

Таблица Е.2 — Атмосферный фактор, к а зависимости от рассматриваемой координации выдерживаемых напряжений

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Атмосферный **фактор**, kа | | | | | |
| Высота (м) | до 200 кВ | от 201 кВ до 400 кВ | от 401 кВ до 700 кВ | от 701 кВ до 1 100 кВ | свыше 1 100 кВ |
| 0 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 100 | 0,994 | 0,995 | 0,997 | 0,998 | 0,999 |
| 300 | 0,982 | 0,985 | 0,990 | 0,993 | 0,996 |
| 500 | 0,970 | 0,975 | 0,982 | 0,987 | 0,992 |
| 1 000 | 0,938 | 0,946 | 0,959 | 0,970 | 0,978 |
| 1 500 | 0,904 | 0,915 | 0,934 | 0,948 | 0,960 |
| 2 000 | 0,870 | 0,883 | 0,906 | 0,923 | 0,938 |
| 2 500 | 0,834 | 0,849 | 0,875 | 0,896 | 0,913 |
| 3 000 | 0,798 | 0,815 | 0,844 | 0,867 | 0,885 |
| Если указано в NNA, ka может быть принят равным 1,0 для перенапряжения с быстрым фронтом.  ПРИМЕЧАНИЕ: Значения ka взяты из документа EN 61472. | | | | | |

Е.2.5 Связь с безопасным расстоянием воздушного зазора

Е.2.5.1 Статистический подход

Способность самовосстанавливающейся изоляции выдерживать диэлектрические напряжения, вызванные приложением импульса заданной формы, может быть описана в статистических терминах. Для данной изоляции и для импульсов заданной формы и различных пиковых значений напряжения, вероятность разряда Р может быть связана с любым возможным значением напряжения. Функция P обычно задается математической функцией, которая полностью описывается параметрами U50%, Z и N.

EN 60071-2 рекомендует использовать модифицированную функцию распределения Вейбулла, параметры которой определяются таким образом, чтобы соответствовать функции Гаусса для вероятности пробоя 50 % и 16 % и усекать распределение при U50 % - 3 Z.

Требуемое выдерживаемое напряжение воздушного зазора Urw может быть выражено как функция 50 % выдерживаемого напряжения воздушного зазора U50 %:

где

U90% – выдерживаемое 90 % напряжение воздушного зазора;

U50% — выдерживаемое 50 % напряжение воздушного зазора;

Z — стандартное отклонение;

N — количество стандартных отклонений, соответствующих U rw.

Переходные перенапряжения

Для переходных электрических напряжений (перенапряжения с быстрым и медленным фронтом), требуемое статистическое выдерживаемое напряжение Urw равно 90 % выдерживаемому напряжению воздушного зазора U90%. В зависимости от выдерживаемого 50 % напряжения воздушного зазора, U50%, оно определяется по следующей зависимости:

Напряжение промышленной частоты

Для напряжений промышленной частоты, требуемое выдерживаемое напряжение воздушного зазора Urw считается детерминированным:

Е.2.5.2 Коэффициенты отклонения

Стандартное отклонение Z может быть выражено через выдерживаемое напряжение 50 %, U50%:

Z = z U50 %

Обычно рассматриваются следующие коэффициенты вариации z и стандартные отклонения Z:

• для перенапряжений с быстрым фронтом: z = 0,03 и Z = 0,03 U 50 %;

• для перенапряжений с медленным фронтом: z = 0,06 и Z = 0,06 U 50 %;

• для напряжений промышленной частоты: z = 0,03 и Z = 0,03 U 50 %.

В приведенных выше значениях условных отклонений учитывается влияние атмосферных условий.

Требуемое выдерживаемое напряжение воздушного зазора Urw может быть выражено с помощью коэффициента отклонения Kz.

Полученные коэффициенты отклонения Kz приведены в таблице Е.3:

Таблица Е.3 — Коэффициенты отклонения K z

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип перенапряжения | Требуемое выдерживаемое напряжение воздушного зазора  Urw | Стандартное отклонение Z | Коэффициент отклонения Kz |
| Перенапряжение с быстрым фронтом | Urw = U90 % = U50 % - 1,3 Z | 0,03 U50 % | Kz\_ff = 0,961 |
| Перенапряжение с медленным фронтом | Urw = U90 % = U50 % - 1,3 Z | 0,06 U50 % | Kz\_sf = 0,922 |
| Промышленная частота | Urw = U100 % = U50 % - 3 Z | 0,03 U50 % | Kz\_pf = 0,910 |

Е.2.5.3 Коэффициенты зазора

Как правило, конфигурация воздушного зазора влияет на его диэлектрическую прочность. Для данной конфигурации, 50 % выдерживаемое напряжение воздушного зазора U50% может быть выражено как функция 50 % выдерживаемого напряжения зазора "стержень-плоскость" U50rp:

где

Kg – коэффициент зазора.

Для каждого типа нагрузки по напряжению, коэффициент зазора может быть выражен через коэффициент зазора для перенапряжений с медленным фронтом, Kg\_sf:

• перенапряжения с медленным фронтом: Kg\_sf

• перенапряжения с быстрым фронтом:

• напряжения промышленной частоты:

Требуемое выдерживаемое напряжение воздушного зазора Urw может быть выражено с помощью коэффициента зазора Kg.

Значения коэффициентов зазора Kg\_sf, которые следует использовать для перенапряжений с медленным фронтом, зависят от конфигурации. В таблице E.4 рассматриваются четыре типа конфигурации.

Коэффициенты зазора в таблице E.4 являются только типичными значениями. На практике, могут использоваться другие значения, подтвержденные экспериментами. Типичные значения коэффициента зазора можно получить из EN 60071-2:1997, приложение G.

Таблица Е.4 — Коэффициенты зазора для перенапряжений с медленным фронтом

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Природа воздушного зазора | Конфигурация | Коэффициент зазора для перенапряжений с медленным фронтом  Kg\_sf = Kg |
| Внешние зазоры | Провод - препятствие (безопасные расстояния). | 1,30 |
| Внутренние зазоры | проводник-окно  например, конфигурация воздушного зазора между проводником внутри окна опоры и конструкцией опоры  • вертикальная гирлянда или V-образная гирлянда внутри окна | 1,25 |
|  | провод-конструкция  например, воздушный зазор между проводом, соединенным со свободно качающейся гирляндой изоляторов на конце траверсы, и конструкцией опоры. | 1,45 |
|  | • вертикальная гирлянда на конце траверсы |  |
|  | • V-образные гирлянды |  |
|  | провод-провод. | 1,60 |

Е.2.5.4 Реакция изоляции на перенапряжения

EN 60071-2 дает формулы, описывающие реакцию зазора "стержень-плоскость" на перенапряжения, в которых 50 % выдерживаемое напряжение зазора "стержень-плоскость", U50rp, дается в зависимости от безопасного расстояния воздушного зазора, d:

U50rp = f (d)

Следовательно, требуемое выдерживаемое напряжение воздушного зазора U rw может быть выражено в зависимости от безопасного расстояния воздушного зазора d:

Uw = Kz Kg f (d)

Перенапряжения с быстрым фронтом

Для стандартных импульсов молнии, прикладываемых к зазорам "стержень-плоскость" до 10 м, пробойная прочность положительной полярности определяется выражением:

U50rp\_ff = 530 d [kV crest]; d (m)

Перенапряжения с медленным фронтом

При медленных перенапряжениях, данная самовосстанавливающаяся изоляция проявляет заметно меньшее выдерживаемое напряжение, чем при быстрых перенапряжениях той же полярности. На практике, для зазоров "стержень-плоскость" до 25 м, положительная полярность для критического пикового времени определяется выражением:

U50rp\_sf = 1 080 ln (0,46 d + 1) [kV crest]; d (m)

Напряжение промышленной частоты

Напряжение пробоя 50 % для зазора "стержень-плоскость" можно аппроксимировать следующей формулой:

Е.3 Формулы расчета минимальных воздушных зазоров

Для каждого типа перенапряжения, согласованное выдерживаемое напряжение воздушного зазора Ucw (приведенное в E.2.3) должно быть выше или равно репрезентативному перенапряжению Urp (приведенное в E.2.2), поэтому что частота отказов является приемлемой.

С учетом атмосферного фактора ka, который необходимо учитывать для коррекции координации, необходимого выдерживаемого напряжения воздушного зазора Ucw (приведенное в E.2.4) и формулировки, описывающей связь с безопасным расстоянием воздушного зазора d (приведенное в E.2.5), следующее:

Расчетные формулы, приведенные в таблице Е.5 для использования минимальных воздушных зазоров, могут быть выведены из этих выражений.

Таблица Е.5 — Формулы для расчета минимальных воздушных зазоров, Del, Dpp, D50Hzp\_e, D50Hz\_p\_p

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | "Фаза-земля" | Между фазами |
|  | Del | Dpp |
| Для перенапряжения  с быстрым фронтом |  |  |
| d – зазор между концами гирлянды изоляторов;  К g \_ ff - коэффициент промежутка грозового импульса воздушного зазора, выраженный через коэффициент промежутка коммутационного импульса, Kg, Kgff = 0,74 + 0,26Kg sf;  Kg\_ff\_is – коэффициент промежутка грозового импульса гирлянды изоляторов;  K z ff - коэффициент отклонения распределения выдерживаемого напряжения воздушного зазора при перенапряжении с быстрым фронтом, K z ff = 0,961; k a — атмосферный фактор по таблице Е.2;  U90 %\_ ff \_ является максимальным выдерживаемым напряжением 90 % грозовых импульсов гирлянд изоляторов на линии. | | |
| Del | | Dpp |
| Для перенапряжения с медленным фронтом |  |  |
| K cs – координационный статистический фактор;  K g \_ sf - коэффициент коммутационного импульса воздушного зазора, K g sf = K g , по таблице Е.4;  K z sf - коэффициент отклонения распределения выдерживаемого напряжения воздушного зазора при перенапряжении с медленным фронтом, K z sf = 0,922;  k a — атмосферный фактор по таблице Е.2;  U e2 %\_ sf — 2 % перенапряжение с медленным фронтом "фаза-земля", нагружающее воздушный зазор (т. е. перенапряжение с медленным фронтом с вероятностью превышения 2 %). | | |
| D50Hz\_p\_e | | D50Hz\_p\_p |
| Для напряжений  промышленной  частоты |  |  |
| K g \_ pf - - коэффициент зазора промышленной частоты воздушного зазора, выраженный через коэффициент зазора коммутационного импульса, K g , K gpf = 1,35 K g sf - 0,35 K g sf 2 ;  K z pf - коэффициент отклонения распределения выдерживаемого напряжения воздушного зазора для напряжений промышленной частоты, K z pf = 0,91;  - атмосферный фактор по таблице Е.2;  U s — максимальное напряжение системы (kV rms). | | |

Е.4 Примеры расчета Del, Dрр и D50 Hz для различных напряжений **Us** (информативно)

Е.4.1 Диапазон I: система 90 кВ, оснащенная гирляндами изоляторов, состоящими из 6 блоков.

Следующий пример иллюстрирует расчет минимальных воздушных зазоров для системы 90 кВ, оснащенной гирляндами изоляторов, состоящими из 6 блоков, для линий на высоте 1000 м над уровнем моря.

• Максимальное напряжение системы Us = 100 кВ.

• Для этого самого высокого напряжения в системе нет необходимости учитывать перенапряжение с медленным фронтом.

• Для целей данного примера считается, что при использовании гирлянд изоляторов, состоящих из 6 блоков, значение перенапряжения с быстрым фронтом, которое необходимо учитывать, составляет:

"фаза-земля": U90 %\_ff\_is = 385 кВ.

• В соответствии с указанным выше перенапряжением и таблицей E.2, атмосферные факторы, которые следует использовать на высоте 1000 м над уровнем моря, будут следующими:

перенапряжения с быстрым фронтом:

"фаза-земля" ka = 0,946;

"фаза - фаза" ka = 0,959.

напряжения промышленной частоты:

"фаза-земля" и "фаза-фаза" ka = 0,938.

• Следует учитывать следующие факторы отклонения:

перенапряжения с быстрым фронтом K z \_ ff = 0,961;

напряжения промышленной частоты K z \_ pf = 0,910.

• Для четырех конфигураций воздушного зазора, учитываемых в настоящем стандарте, коэффициенты зазора (Kg \_ sf), определенные в таблице E.4, для перенапряжений с медленным фронтом следующие:

"провод-препятствие" 1,30;

"провод-окно" 1,25;

"провод-конструкция" 1,45;

"провод-провод" 1,60.

Значения минимальных расстояний воздушного зазора затем рассчитываются с использованием формул, определенных в Таблице Е.5.

Конфигурация "провод-провод" (Kg sf = 1,60):

для перенапряжений с быстрым фронтом



для напряжения промышленной частоты



Таблица Е.6 — Минимальные воздушные зазоры — система 90 кВ, оборудованная гирляндами изоляторов, состоящими из 6 блоков

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | провод a - препятствие  (Kg\_sf = 1,30) | провод a - окно  (Kg\_sf = 1,25) | провод a - конструкция  (Kg\_sf = 1,45) | провод a -провод  (Kg\_sf = 1,60) |
| Del и Dpp | Del = 0,74 м | Del = 0,75 м | Del = 0,71 м | Dpp = 0,82 м |
| D50Hz | - | D50Hz\_p\_e = 0,21 м | D50Hz\_p\_e = 0,19 м | D50Hz\_p\_p = 0,30 м |
| a провод: провод. | | | | |

Е.4.2 Диапазон I: система 90 кВ, оснащенная гирляндами изоляторов, состоящими из 9 блоков.

Следующий пример иллюстрирует расчет минимальных воздушных зазоров для системы 90 кВ, оснащенной гирляндами изоляторов, состоящими из 9 блоков, для линий на высоте 1000 м над уровнем моря.

• Максимальное напряжение системы такое же, как и в предыдущем примере. Тогда минимальные воздушные зазоры, необходимые для выдерживания напряжения промышленной частоты, одинаковы.

• Выдерживаемое напряжение 90 % для перенапряжения изоляции линии с быстрым фронтом намного выше, когда гирлянды изоляторов состоят из 9 блоков, чем когда они состоят только из 6 блоков. Для целей данного примера считается, что при использовании гирлянд изоляторов, состоящих из 9 блоков, значение перенапряжения с быстрым фронтом, которое необходимо учитывать, составляет:

"фаза-земля": U90 %\_ffjs = 557 кВ.

• В соответствии с указанным выше перенапряжением, атмосферный фактор, который следует использовать на высоте 1 000 м над уровнем моря, будет равен:

"фаза-земля" и "фаза-фаза": k a = 0,959.

• Если другие факторы такие же, как и в предыдущем примере, значения минимальных воздушных зазоров затем рассчитываются с использованием формул, определенных в E.3, Таблица E.5:

Провод - конфигурация окна (K g sf = 1,25):

• для перенапряжений с быстрым фронтом



Для конфигураций "провод-конструкция" и "провод-препятствие", расчет такой же, за исключением значения коэффициента зазора. Минимальные воздушные зазоры приведены в таблице E.7.

Провод - конфигурация провода (Kg\_sf = 1,60):

• для перенапряжений с быстрым фронтом



Таблица Е.7 — Минимальные воздушные зазоры — система 90 кВ, оборудованная гирляндами изоляторов, состоящими из 9 блоков

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | провод a - окно  (Kg\_sf = 1,25) | провод a - конструкция  (Kg\_sf = 1,45) | провод a - препятствие  (Kg\_sf = 1,30) | провод a -провод  (Kg\_sf = 1,60) |
| Del и Dpp | Del = 1,07 м | Del = 1,02 м | Del = 1,06 м | Dpp = 1,18 м |
| a провод: провод. | | | | |

Значения воздушных зазоров, полученные в этих двух примерах, показывают, что для заданного номинального напряжения системы, минимальные воздушные зазоры могут сильно отличаться от одной сети к другой в зависимости от изоляции линии. Это оправдывает то, что в таблице 5.3 приведены значения зазоров для каждого стандартного выдерживаемого напряжения грозового импульса. Кроме того, следует соблюдать осторожность, используя Таблицу 5.6, в которой указано уникальное типовое значение зазора в зависимости от самого высокого напряжения системы.

Е.4.3 Диапазон II: система 400 кВ

Следующий пример иллюстрирует расчет минимальных воздушных зазоров для системы 400 кВ на высоте 1000 м над уровнем моря.

• Наибольшее напряжение системы U s = 420 кВ.

• Для целей данного примера считается, что при использовании гирлянд изоляторов, состоящих из 19 блоков, значение перенапряжения с быстрым фронтом, которое необходимо учитывать, составляет:

"фаза-земля": U90 %\_ff\_is = 1 550 кВ.

• Для целей данного примера считается, что значение перенапряжения с медленным фронтом, которое необходимо учитывать, равно:

"фаза-земля": K cs U 2 %\_ sf = 1,05 x 1 050 = 1 103 кВ;

"фаза-фаза": 1,40K cs U 2 %\_ sf = 1,40 x 1,05 x 1 050 = 1 544 кВ.

• В соответствии с вышеупомянутым перенапряжением, атмосферные факторы, которые следует использовать на высоте 1000 м над уровнем моря, будут следующими:

перенапряжения с быстрым и медленным фронтом:

"фаза-земля" и "фаза-фаза" k a = 0,978.

напряжения промышленной частоты:

"фаза-земля" ka = 0,946;

"фаза - фаза" ka = 0,959.

• Следует учитывать следующие факторы отклонения:

перенапряжения с быстрым фронтом K z \_ ff = 0,961;

перенапряжения с медленным фронтом K z \_ sf = 0,922;

напряжения промышленной частоты K z \_ pf = 0,910.

Значения минимальных расстояний воздушного зазора затем рассчитываются с использованием формул, определенных в Таблице Е.5.

Провод - конфигурация окна (Kgsf = 1,25):

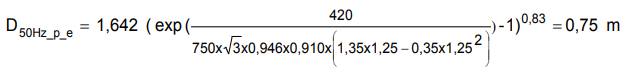
• для перенапряжений с быстрым фронтом



• для перенапряжений с медленным фронтом



• для напряжения промышленной частоты



Для конфигураций "провод-конструкция" и "провод-препятствие", расчет такой же, за исключением значения коэффициента зазора. Минимальные значения воздушных зазоров приведены в таблице Е.8.

Конфигурация "провод-провод" (Kg sf = 1,60):

• для перенапряжений с быстрым фронтом



• для перенапряжений с медленным фронтом



• для напряжения промышленной частоты



Наибольшие зазоры даются перенапряжениями с медленным фронтом, за исключением внутреннего зазора Del, который при Kg\_sf = 1,45 определяется перенапряжением с быстрым фронтом.

Таблица Е.8 — Минимальные воздушные зазоры — система 400 кВ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | провод a - окно  (Kg\_sf = 1,25) | провод a - конструкция  (Kg\_sf = 1,45) | провод a - препятствие  (Kg\_sf = 1,30) | провод a -провод  (Kg\_sf = 1,60) |
| Быстрый фронт: D el и D pp | Del = 2,92 м | Del = 2,78 м | Del = 2,89 м | Dpp = 3,23 м |
| Медленный фронт: D el и D pp | Del = 3,20 м | Del = 2,57 м | Del = 3,02 м | Dpp = 3,68 м |
| D50Hz | D50Hz\_p\_e  = 0,75 м | D50Hz\_p\_e  = 0,70 м | - | D50Hz\_p\_p  = 1,17 м |
| a провод: провод. | | | | |

Приложение F

(справочное)

Эмпирический метод расчета зазоров между пролетами

F.1 Эмпирический метод определения зазоров в пролете

Следующий метод расчета определяет минимальные зазоры в середине пролета в неподвижном воздухе с учетом угла поворота провода при расчетных ветровых условиях. Эмпирический метод, подробно описанный ниже, должен применяться всякий раз, когда альтернативный метод расчета интервалов не указан в NNA.

В случае расчетных условий ветровой нагрузки, минимальные зазоры, требуемые между фазными проводами или между фазным проводом и заземленным металлом, связаны со значениями минимальных воздушных зазоров Dpp и Del соответственно, как указано в таблице 5.6. Затем эти значения умножаются на коэффициент k 1 , который в данном расчете равен 0,75 или как указано в NNA.

При определенных экстремальных ветровых условиях следует ссылаться на NNA.

При использовании этого метода расчета расстояния, минимальное расстояние с между проводами в середине пролета в неподвижном воздухе должно быть не менее:

в m, но не менее k в случае фазного провода к фазному проводу;

в m, но не менее k при соединении фазного провода с заземляющим проводником,

где

f - провисание провода в m при температуре +40°С;

lk — длина в m той части любого комплекта изоляторов, которая раскачивается перпендикулярно направлению линии;

k - коэффициент по таблице F.1;

Dpp — минимальный воздушный зазор (фаза-фаза) в m по табл. 5.6;

Del — минимальный воздушный зазор (фаза-земля) в m в соответствии с таблицей 5.6.

Если цепи с разными рабочими напряжениями проходят параллельно на одних и тех же конструкциях, то следует использовать наиболее неблагоприятное значение D pp или D el.

Угол поворота, указанный в таблице F.1, получают из отношения горизонтальной силы ветра QWc , действующей на провод в соответствии с 4.4.1, и вертикального собственного веса провода GK, исходя из весового пролета. Угол поворота 9 рассчитывается по формуле:



где в выражении QWc пиковое ветровое давление qp (h) может быть заменено средним ветровым давлением q h (h) в соответствии с 4.3.5. Ветровые нагрузки для определения электрических зазоров используются со скоростью ветра, усредненной за 10-минутный период, с консервативным значением Gx = 1.

Экстремальная скорость ветра при 40°C должна быть определена в NNA. В противном случае должна применяться номинальная скорость ветра.

Для систем с изолированными проводами, расстояние между проводами в пролете должно составлять одну треть расстояния, рассчитанного для эквивалентной линии с неизолированным проводом.

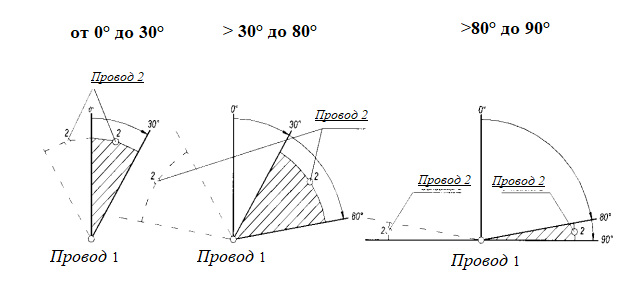
****

Рисунок F.1 — Положение провода «2» относительно вертикальной оси, проходящей через провод «1»

Таблица F.1 — Значения коэффициента k

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Коэффициент k | | |
|  | | Угол между проводами 1 и 2, соответствующий рисунку F.1 | | |
| от 0° до 30° | > 30° до 80° | > 80° до 90° |
| Диапазон угла поворота провода | ≥ 65,1° | 0,95 | 0,75 | 0,70 |
| 55,1° to 65,0° | 0,85 | 0,70 | 0,65 |
| 40,1° to 55,0° | 0,75 | 0,65 | 0,62 |
| ≤ 40,0° | 0,70 | 0,62 | 0,60 |

F.2 Приблизительный метод для проводов с различными поперечными сечениями, материалами или провесами

В случае проводов с разными поперечными сечениями, материалами или провесами в разных фазах, для определения зазоров в соответствии с F.1 следует использовать более высокий коэффициент k из таблицы F.1 и большее провисание.

Помимо зазоров для проводов в неподвижном воздухе, в этом случае также должны быть исследованы зазоры между качающимися проводами. Должно быть доказано, что при действии на отдельные провода динамического давления ветра, отличающегося на 40 %, сохраняется зазор не менее k 1 D pp или k 1 D el.

F.3 Вклад комплекта изоляторов в определение зазоров в опорах

При оценке зазоров у опоры по 5.8 ,следует учитывать угол поворота комплекта изоляторов, который получается из отношения ветровой нагрузки, действующей на провод и комплект изоляторов, к собственному весу провода и комплекта изоляторов.

Ветровую нагрузку следует рассчитывать по 4.4.1, принимая cos 2 φ = 1, а ветровую нагрузку на изолятор задавать по 4.4.2. Таким образом, пиковое давление ветра может быть заменено средним давлением ветра в соответствии с F.1.

В случае угловых подвесных опор, помимо силы ветра, действующей на провод, следует учитывать равнодействующую сил растяжения провода под действием ветровой нагрузки и при температуре +5 °С.

Кинематическая функция комплектов изоляторов должна изучаться и оцениваться независимо от проверки необходимых электрических зазоров.

Собственный вес провода следует определять исходя из весового пролета в точке подвеса при +5 °С. Также могут учитываться дополнительные постоянные вертикальные нагрузки, такие как собственный вес изолятора.

Приложение G

(обязательное)

Методы расчета систем заземления

G.1 Определение символов, используемых в этом приложении

Символ Значение

A Площадь поперечного сечения заземляющего проводника или заземляющего электрода

G Плотность тока короткого замыкания для заземляющего провода

I Ток провода (значение rms)

I B Ток, протекающий через тело

Id Непрерывный ток в заземляющем проводе

K Постоянная, зависящая от материала токонесущего элемента

Ra Дополнительное электрическое сопротивление

Ra1 Сопротивление, например, обуви

Ra2 Сопротивление заземлению точки опоры

s Окружность проводника прямоугольного профиля

tF Длительность тока короткого замыкания

UD Разность напряжений, выступающая в качестве источника напряжения в цепи прикосновения с ограниченным значением, гарантирующим безопасность человека при использовании дополнительных известных сопротивлений (например, обувь, изолирующий материал поверхности стояния)

UT Напряжение прикосновения

U Tp Допустимое напряжение прикосновения, т.е. напряжение вдоль тела человека

ZB Общее сопротивление человеческого тела

β Обратная температурному коэффициенту сопротивления токонесущего компонента при 0 °C

θi Начальная температура заземляющего электрода

θF Конечная температура заземляющего электрода

ρE Удельное сопротивление грунта вблизи поверхности

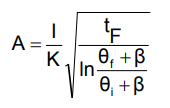
G.2 Минимальные размеры заземляющих электродов

**Таблица G.1 — Минимальные размеры материалов заземляющих электродов, обеспечивающие механическую прочность и коррозионную стойкость**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | | Тип заземляющего электрода | Минимальный размер | | | | |
| Сердцевина | | | Покрытие/оболочка | |
| ­ Диаметр (мм) | Поперечное сечение (мм 2 ) | Толщина­(мм) | Одиночное  значение (мм) | Средние значения (Мм) |
| Сталь | горячеоцинкованная | Полоса b | - | 90 | 3 | 63 | 70 |
| Профиль (включая пластины) | - | 90 | 3 | 63 | 70 |
| Труба | 25 | - | 2 | 47 | 55 |
| Круглый стержень для заземляющего электрода | 16 | - | - | 63 | 70 |
| Круглый стержень для поверхностного заземляющего электрода | 10 | - | - | - | 50 |
| со свинцовой оболочкой | Круглый провод для поверхностного заземления | 8 | - | - | 1 000 | - |
| с экструдированной медной оболочкой | Круглый стержень для заземляющего электрода | 15 | - | - | 2 000 | - |
| с электролитической медной оболочкой | Круглый стержень для заземляющего электрода | 14,2 | - | - | 90 | 100 |
| Медь | неизолированная | Полоса | - | 50 | 2 | - | - |
| Круглый провод для поверхностного заземления | - | 25 с | - | - | - |
| Многожильный кабель | 1,8 d | 25 с | - | - | - |
| Труба | 20 | - | 2 | - | - |
| облуженный | Многожильный кабель | 1,8 d | 25 с | - | 1 | 5 |
| оцинкованный | Полоса b | - | 50 | 2 | 20 | 40 |
| со свинцовой оболочкой | Многожильный кабель | 1,8 d | 25 с | - | 1 000 | - |
| Круглая проволока | - | 25 с | - | 1 000 | - |
| a Не подходит для непосредственной заделки в бетон.  b Полоса, прокатанная или срезанная с закругленными краями.  c В условиях, когда опыт показывает, что риск коррозии и механического повреждения чрезвычайно низок, можно использовать сечение 16 мм 2.  d Диаметр одинарной проволоки. | | | | | | | |

G.3 Расчет номинального тока

Для токов короткого замыкания, которые прерываются менее чем за 5 секунд, поперечное сечение заземляющего электрода или заземляющего проводника должно быть рассчитано по следующей формуле (см. IEC 60724):



где

А – площадь поперечного сечения в мм 2;

I — ток провода в А (значение rms);

tF – продолжительность тока короткого замыкания в с;

K – постоянная величина в As1/2/мм2, которая зависит от материала токонесущего компонента. В таблице G.2 приведены значения для наиболее распространенных материалов;

β — величина, обратная температурному коэффициенту сопротивления токонесущего элемента при 0 °С (см. таблицу G.2), выраженная в °С;

θi — начальная температура в °C. Значения могут быть взяты из IEC 60287-3-1. Если значение не указано в Проектной спецификации или NNA, то принимается 20 °C в качестве температуры окружающего воздуха у поверхности земли на глубине 1 м;

θf – конечная температура в °C.

Таблица G.2 — Константы материала

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал | β в °С | K в As1/2/мм2 |
| Медь | 234,5 | 226 |
| Алюминий | 228,0 | 148 |
| Сталь | 202,0 | 78 |

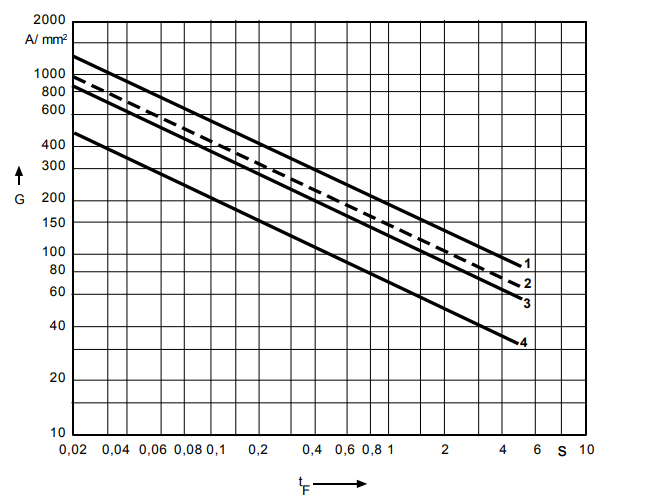
Для обычных условий, когда заземляющий проводник находится в воздухе, а заземляющий электрод находится в грунте, плотность тока короткого замыкания G может быть взята из рисунка G.1 для начальной температуры 20 °С и конечной температуры до 300 °С.

Для токов короткого замыкания, протекающих в течение более длительного времени (как в системах с изолированной нейтралью или с резонансным заземлением), рекомендуемые сечения показаны на рисунке G.2. Если конечная температура отличается от 300 °С (см. рисунок G.1, кривые 1, 3 и 4), ток можно рассчитать с коэффициентом, выбранным из таблицы G.3.

Например, для изолированных проводов и проводов, залитых бетоном, рекомендуются более низкие конечные температуры.

Таблица G.3 — Коэффициенты пересчета постоянного тока из конечной температуры 300 °С в другую конечную температуру

|  |  |
| --- | --- |
| Конечная температура  °С | Коэффициент пересчета |
| 400 | 1,20 |
| 350 | 1,10 |
| 300 | 1,00 |
| 250 | 0,90 |
| 200 | 0,80 |
| 150 | 0,70 |
| 100 | 0,60 |



1 Медь, без покрытия или оцинкованная

2 Медь, луженая или со свинцовой оболочкой

3 Заземляющие проводники только из алюминия

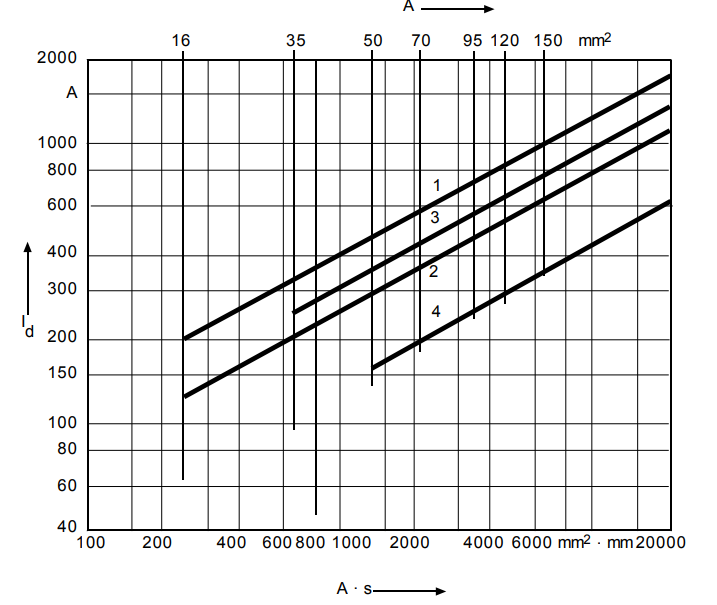
4 Оцинкованная сталь

Кривые 1, 3 и 4 относятся к конечной температуре 300 °C, кривая 2 относится к конечной температуре 150 °C. Таблица G.3 содержит коэффициенты для пересчета плотности тока короткого замыкания относительно других конечных температур.

**Рисунок G.1 — Плотность тока короткого замыкания G для заземляющих проводников и электродов в зависимости от длительности тока короткого замыкания, tF**

A: площадь поперечного сечения круглого

провода.



A s : произведение площади поперечного сечения на длину окружности прямоугольного провода.

1 Медь, без покрытия или оцинкованная

2 Медь, луженая или со свинцовой оболочкой

3 Алюминий

4 Оцинкованная сталь

Кривые 1, 3 и 4 относятся к конечной температуре 300 °C, кривая 2 относится к конечной температуре 150 °C. Таблица G.3 содержит коэффициенты для пересчета в другие конечные температуры.

Рисунок G.2 — Длительный ток I d для заземляющих проводников круглого и прямоугольного сечения

G.4 Напряжение прикосновения и ток, протекающий через тело

G.4.1 Эквивалентность между напряжением прикосновения и током, протекающим через тело

Для расчета допустимых значений напряжения прикосновения для высоковольтных установок, сделаны следующие допущения:

• путь тока от одной руки к ноге;

• коэффициент вероятности 50 % для сопротивления тела;

• 5 % вероятность фибрилляции желудочков;

• отсутствие дополнительных сопротивлений.

ПРИМЕЧАНИЕ: Эти допущения приводят к кривой напряжения прикосновения с оцененным допустимым риском, принимая во внимание редкое возникновение замыканий на землю в высоковольтных системах и небольшую вероятность присутствия людей в то же время.

Предполагая, что основой расчета тока, протекающего через тело, является IEC/TS 60479-1:2005, редакция 2 раздела 2, и принимая во внимание допустимый предел тока, кривую c2 на рисунке 5 (вероятность фибрилляции желудочков менее 5 %, путь тока от левой руки к ногам), результаты в следующей таблице:

**Таблица G.4 — Допустимый ток, протекающий через тело IB в зависимости от его длительности, tF**

|  |  |
| --- | --- |
| **Длительность, tF**  **s** | **Ток, протекающий через тело, IB мА** |
| 0,05 | 900 |
| 0,10 | 750 |
| 0,20 | 600 |
| 0,50 | 200 |
| 1,00 | 80 |
| 2,00 | 60 |
| 5,00 | 51 |
| 10,00 | 50 |

Чтобы получить соответствующее допустимое напряжение прикосновения, необходимо определить общее сопротивление тела человека. Это сопротивление зависит от напряжения прикосновения и от пути тока; значения для прохождения тока от руки к руке или от руки к ноге указаны в IEC/TS 60479-1, из которого взята следующая таблица G.5 (вероятность 50 % того, что общее сопротивление тела меньше или равно заданному значению).

**Таблица G.5 — Общее сопротивление тела человека Z B , связанное с напряжением прикосновения, U T для прохождения тока от руки к руке или от руки к ноге**

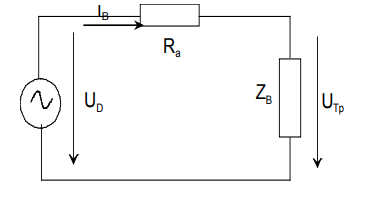
|  |  |
| --- | --- |
| **Напряжение прикосновения, UT**  **V** | **Общее сопротивление тела человека, ZB**  **Ω** |
| 25 | 3 250 |
| 50 | 2 625 |
| 75 | 2 200 |
| 100 | 1 875 |
| 125 | 1 625 |
| 220 | 1 350 |
| 700 | 1 100 |
| 1 000 | 1 050 |

Принимая во внимание путь тока от руки к ноге, следует применять поправочный коэффициент 0,75 для сопротивления тела. Объединив две таблицы с учетом этого поправочного коэффициента, можно с помощью итеративного процесса рассчитать предел напряжения прикосновения UTp для каждого значения продолжительности короткого замыкания tF. Если указано в NNA, таблица G.6 может быть заменена таблицей B.3 из EN 50522:2010.

Таблица G.6 — Продолжительность неисправности, связанная с напряжением прикосновения, UTp

|  |  |
| --- | --- |
| Длительность неисправности, тF | Допустимое напряжение прикосновения, UTp |
| s | V |
| 0,05 | 735 |
| 0,10 | 633 |
| 0,20 | 528 |
| 0,50 | 204 |
| 1,00 | 107 |
| 2,00 | 90 |
| 5,00 | 81 |
| 10,00 | 80 |

G.4.2 Расчет с учетом дополнительных сопротивлений



где

UТр – допустимое напряжение прикосновения, напряжение на теле человека;

Z b – сопротивление тела;

l B – ток, протекающий через тело;

UD - разность потенциалов, выступающая в качестве источника напряжения в цепи прикосновения с ограниченной величиной, гарантирующей безопасность человека при использовании дополнительных известных сопротивлений (например, обувь, изолирующий материал поверхности стояния и т. д.);

R a - добавочное сопротивление (R a = R a1 + R a2 );

R a1 представляет собой, например, сопротивление обуви;

Ra2 — сопротивление заземления точки стояния.

Рисунок G.3 — Эквивалентная схема для расчета напряжения прикосновения и тока, протекающего через тело

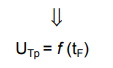
Таблица G.7 - Значения для расчета

|  |  |
| --- | --- |
| Тип контакта | Левая рука - Обе ноги |
| Коэффициент вероятности того, что значение Z b не будет превышено | 50 % |
| Кривая I B = f (t) | c2 на рисунке 14 стандарта IEC/TS 60479-1:2005. |
| Сопротивление цепи | Zb (50 %) + Ra |
| Дополнительное сопротивление |  |
| (\*) pE — удельное сопротивление грунта у поверхности (Q м) (см. Н.2.1) | |

**Метод расчета:**

Длительность неисправности.



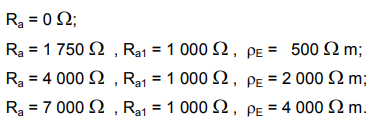
 По таблице G.4 и таблице G.6 с использованием интерполяции или непосредственно из кривой UD1 на рисунке 6.1

По таблице G.4 и таблице G.6 с использованием интерполяции.

По определению.



На диаграмме рис. 6.1 показаны кривые UD = f (tF) для 4-ех значений Ra:



Приложение H

(справочное)

Установка и измерения систем заземления

H.1 Определение символов, используемых в этом приложении

Символ Значение

D Диаметр кольцевого заземляющего электрода

d Диаметр многожильного заземляющего электрода или половина ширины заземляющей полосы / Диаметр заземляющего стержня

l 0 Ток нулевой последовательности при отказе

IE Ток на землю при отказе

I EW Ток в заземляющем проводнике (в симметричном каскаде)

lm Измеренный испытательный ток

L Длина полосы заземления/длина заземляющего стержня

RE Сопротивление на землю

R t Сопротивление основания опоры

r Приведенный коэффициент для заземляющих проводников

UE Повышение потенциала земли

Uem Измеренное напряжение между системой заземления и датчиком в зоне контрольной земли

Z e Сопротивление на землю

Zew-e Собственное сопротивление заземляющего проводника

Zml-ew Взаимное сопротивление между фазными проводами и заземляющим проводником

Z s Полное сопротивление заземляющего проводника одного пролета

pE Удельное сопротивление грунта

3 l o Сумма токов нулевой последовательности

Н. 2 Основание для верификации

H.2.1 Удельное сопротивление грунта

Удельное сопротивление грунта ρE значительно различается в разных местах в зависимости от типа почвы, размера гранул, плотности и влажности (см. таблицу H.1).

**Таблица Н.1 — Удельное сопротивление грунта для токов переменной частоты (диапазоны часто измеряемых значений)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Тип почвы** | **Удельное сопротивление грунта p E** |
|  | **Ω м** |
| Болотистая почва | от 5 до 40 |
| Суглинок, глина, гумус | от 20 до 200 |
| Песок | от 200 до 2 500 |
| Гравий | от 2 000 до 3 000 |
| Выветренная порода | в основном ниже 1000 |
| Песчаник | от 2 000 до 3 000 |
| Гранит | до 50 000 |
| Морена | до 30 000 |

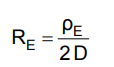
Изменения влажности могут вызывать временные колебания удельного сопротивления грунта на глубине нескольких метров. Кроме того, следует учитывать, что удельное сопротивление грунта может значительно изменяться с глубиной из-за отчетливо различимых слоев грунта, которые обычно присутствуют.

**Н.2.2 Сопротивление на землю**

Сопротивление на землю RE заземляющего электрода зависит от удельного сопротивления грунта ρE, а также от размеров и расположения заземляющего электрода. Это зависит в основном от длины заземляющего электрода и в меньшей степени от поперечного сечения. На рисунках Н.1 и Н.2 показаны значения сопротивления на землю для поверхностных заземляющих электродов или заземляющих стержней, соответственно, относительно общей длины.

В случае очень длинных поверхностных заземляющих электродов (например, кабелей с эффектом заземляющего электрода) сопротивление на землю уменьшается с увеличением длины, но приближается к конечному значению. Заземляющие электроды фундамента можно рассматривать как заземляющие электроды, поргруженные в окружающий грунт.

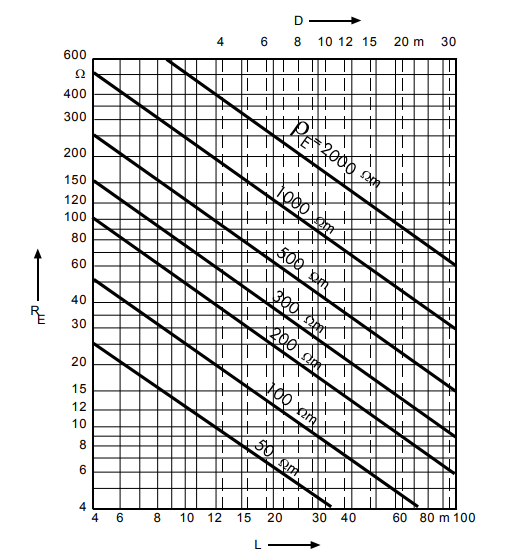
Сопротивление заземления RE сетчатого заземляющего электрода приблизительно равно:



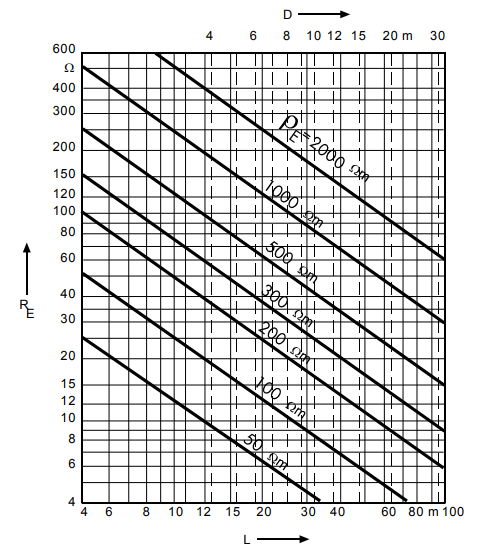
где

D — диаметр в м окружности той же площади, что и сетчатый заземляющий электрод;

ρE – удельное сопротивление грунта в Q m.



**Рисунок Н.1 — Сопротивление на землю RE поверхностных заземляющих электродов (из полосового, круглого материала или многожильного провода) для прямого или кольцевого расположения в однородном грунте**

****

**Рисунок Н.2 — Сопротивление на землю RE заземляющих стержней, вертикально заглубленных в однородный грунт**

Расчетные значения по следующей формуле:



где

L – длина заземляющего стержня, м;

d — диаметр заземляющего стержня в м (здесь предполагается 20 мм);

ρE – удельное сопротивление грунта в Ω m.

Н.3 Установка заземляющих электродов и заземляющих проводников

Н.3.1 Установка заземляющих электродов

Н.3.1.1 Заземляющие электроды

Система заземления обычно состоит из одного или нескольких горизонтальных, вертикальных или наклонных заземляющих электродов, заглубленных или забитых в почву силой. Также она может состоять из прямой закладной опоры.

Использование химикатов для снижения удельного сопротивления грунта не рекомендуется, так как это увеличивает коррозию, требует периодического обслуживания и недолговечно. Однако в особых случаях использование химикатов может быть оправдано.

Горизонтальные заземляющие электроды обычно заглубляют на глубину от 0,5 м до 1 м ниже уровня земли. Это обеспечивает достаточную механическую защиту. Рекомендуется, чтобы заземляющий электрод располагался ниже линии замерзания.

В случае вертикальных забивных стержней, верхняя часть каждого стержня обычно располагается ниже уровня земли. Вертикальные или наклонные забивные стержни особенно выгодны, когда удельное сопротивление грунта уменьшается с увеличением глубины.

Н.3.1.2 Горизонтальные заземляющие электроды

Горизонтальные заземляющие электроды обычно укладывают на дно траншеи или котлована фундамента. Рекомендуется:

• они окружены слегка утрамбованной почвой,

• камни или гравий не должны находиться в непосредственном контакте с заглубленными заземляющими электродами,

• местная почва, вызывающая коррозию используемого электродного металла, должна быть заменена подходящей обратной засыпкой.

Н.3.1.3 Вертикальные или наклонные забивные стержни

Вертикальные или наклонные забивные стержни забиваются в почву с усилием и должны быть разделены расстоянием не менее длины стержня.

Следует использовать соответствующие инструменты, чтобы избежать повреждения электродов во время их забивания в почву.

Н.3.1.4 Соединение заземляющих электродов

Соединения, используемые для соединения токопроводящих частей сети заземляющих электродов (сетки) внутри самой сети, должны иметь достаточные размеры для обеспечения электрической проводимости, а также механической и термической прочности, эквивалентных самим электродам.

Заземляющие электроды должны быть устойчивы к коррозии и не должны вносить вклад в гальванические элементы.

Соединения, используемые для сборки стержней, должны иметь такую же механическую прочность, что и сами стержни, и должны выдерживать механические нагрузки при забивке. Если необходимо соединить различные металлы, образующие гальванические элементы, которые могут вызвать гальваническую коррозию, соединения должны быть защищены прочными средствами от контакта с электролитами в их окружении.

Н. 3.2 Монтаж заземляющих проводников

Н.3.2.1 Общие положения

Как правило, путь заземляющих проводников должен быть как можно короче.

Н.3.2.2 Установка заземляющих проводников

Можно рассмотреть следующие способы установки:

• подземные заземляющие проводники: требуется только защита от механических повреждений,

• доступные заземляющие проводники: над землей заземляющие проводники должны быть установлены таким образом, чтобы они оставались доступными. Если существует риск механического повреждения, заземляющий проводник должен быть надлежащим образом защищен,

• заземляющие проводники в бетоне: заземляющие проводники также могут быть залиты бетоном. На обоих концах должны быть доступны легкодоступные клеммы.

Особое внимание следует уделить тому, чтобы избежать коррозии там, где незащищенный заземляющий проводник входит в почву или бетон.

Н.3.2.3 Соединение заземляющих проводников

Соединения должны иметь хорошую электрическую непрерывность для предотвращения любого недопустимого повышения температуры в условиях тока короткого замыкания.

Соединения не должны разболтаться и должны быть защищены от коррозии. Когда необходимо соединить различные металлы, которые образуют гальванические элементы и могут вызвать гальваническую коррозию, соединения должны быть защищены прочными средствами от любого контакта с электролитами в их окружении.

Для подключения заземляющего проводника к заземляющему электроду, к главной клемме заземления и к любой металлической детали должны использоваться подходящие соединители.

Разборка соединений без инструментов невозможна.

Н.4 Измерения для систем заземления и на них

Н.4.1 Измерение удельного сопротивления грунта

Измерения удельного сопротивления грунта ρE для предварительного определения сопротивления на землю RE или полного сопротивления относительно земли ZE следует проводить в соответствии с четырехзондовым методом (например, методом Веннера), по которому можно определить удельное сопротивление грунта для разных глубин

Н.4.2 Измерение напряжения прикосновения

Для измерения напряжения прикосновения следует использовать метод подачи тока (см. H.4.3). Есть два альтернативных приемлемых метода:

1) Напряжение прикосновения определяется исходя из сопротивления человеческого тела, равного 1 kΩ.

Измерительный(-ые) электрод(-ы) для имитации ступней должен иметь общую площадь 400 см 2 и должен быть прижат к земле с минимальной общей силой 500 N. В качестве альтернативы вместо измерительного электрода можно использовать зонд, погруженный в землю не менее чем на 20 см. Для измерения напряжения прикосновения в любой части установки, электрод должен располагаться на расстоянии 1 м от открытой части установки: для бетона или высохшего грунта - на влажной ткани или водяной пленке. Наконечник-электрод для имитации руки должен надежно прокалывать лакокрасочное покрытие (не действовать как изоляция). Один вывод вольтметра подключается к ручному электроду, другой - к ножному электроду. Достаточно провести такие измерения в качестве выборочного испытания.

ПРИМЕЧАНИЕ: Для быстрого определения верхнего предела напряжения прикосновения,

Часто бывает достаточно измерения вольтметром с высоким внутренним сопротивлением и зондом, заглубленным на 10 см.

2) Напряжение прикосновения определяется путем измерения управляющего напряжения UD (рисунок G.3) используя вольтметр с высоким сопротивлением и вычисляя напряжение прикосновения, как описано в G.4.2. Для измерения управляющего напряжения в любой части установки, электрод должен располагаться на расстоянии 1 м от открытой части установки.

Одна клемма вольтметра подключается к открытой части, а другая клемма к нижнему электроду, который представляет собой зонд, погруженный в землю не менее чем на 20 см.

**Н.4.3 Измерение сопротивлений относительно земли и полных сопротивлений относительно земли**

Сопротивления относительно земли RE и полные сопротивления относительно земли ZE можно определить разными способами. Какой метод подходит, зависит от протяженности системы заземления, а также степени помех и их напряжений.

Следует обратить внимание на тот факт, что во время проведения измерений и подготовки, даже при отключении, но особенно во время измерения на заземленных частях и между ними (например, между опорой и отсоединенным заземляющим проводником), могут возникать опасные напряжения прикосновения.

Примеры подходящих методов измерений и типов инструментов:

а) Метод падения потенциала с измерителем заземления

Этот прибор используется для заземляющих электродов и систем заземления малой или средней протяженности, например, одностержневых заземляющих электродов, полосовых заземляющих электродов, заземляющих электродов опор воздушных ЛЭП с отсоединенными или присоединенными заземляющими проводниками, систем заземления высокого напряжения и разделения систем заземления низкого напряжения. Частота используемого переменного напряжения не должна превышать 150 Гц.

Испытуемый заземляющий электрод, зонд и вспомогательный электрод должны лежать на одной прямой как можно дальше друг от друга. Расстояние от зонда до испытуемого заземляющего электрода должно быть не менее 2,5 максимальной длины испытуемого заземляющего электрода (в направлении измерения), но не менее 20 м; расстояние вспомогательного электрода должно быть не менее 4-кратного, но не менее 40 м.

b) Высокочастотный измеритель заземления

Этот прибор позволяет без снятия заземляющего проводника измерять сопротивление относительно земли одиночной опоры. Частота измерительного тока должна быть настолько высокой, чтобы сопротивление цепи заземляющего проводника и соседних опор стал высоким, представляя собой практически незначительную шунтирующую цепь к заземлению единственной опоры воздушной ЛЭП.

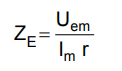
c) Метод сильноточной инжекции

Этот метод используется, в частности, для измерения полного сопротивления относительно земли больших систем заземления, а также если необходимо учитывать передаваемые потенциалы (например, металлические трубы) и, следовательно, необходимы большие расстояния между системой заземления соответствующей опоры и удаленным заземляющим электродом.

При подаче переменного напряжения примерно с частотой системы между системой заземления и удаленным заземляющим электродом, в систему заземления вводится испытательный ток Im, что приводит к измеримому повышению потенциала системы заземления.

Заземляющие проводники и оболочки кабелей с эффектом заземляющего электрода, которые функционально подсоединены к системе заземления, не должны отсоединяться для проведения измерений.

Модуль полного сопротивления относительно земли ZE определяется по формуле:



где

Uem — измеренное напряжение между системой заземления и зондом в области контрольной земли (удаленной земли) в В;

Im — измеренный испытательный ток в А;

r — приведенный коэффициент заземляющих проводников.

Приведенный коэффициент может быть определен расчетным путем (см. Н.4.5) или путем измерения. Для воздушных ЛЭП без заземляющих проводников r = 1.

Заземляющие проводники линий, которые проходят на отдельных опорах параллельно испытательной линии между системой заземления и удаленным заземляющим электродом, должны учитываться, если они подключены к испытуемой системе заземления.

Расстояние между испытуемой системой заземления и удаленным заземляющим электродом должно быть по возможности не менее 5 км. Испытательный ток должен быть, насколько это возможно, достаточно высоким, чтобы измеренные напряжения превышали возможные помехи и напряжения помех. Обычно это обеспечивается для испытательных токов выше 50 А. Внутреннее сопротивление вольтметра должно быть не менее чем в 10 раз больше сопротивления зонда относительно земли.

Для небольших систем заземления может быть достаточно меньших расстояний и испытательных токов. Следует учитывать возможные помехи и напряжения помех.

Н.4.4 Определение повышения потенциала земли

Повышение потенциала земли, UE определяется по формуле:



где

I E — ток на землю;

Z E — полное сопротивление относительно земли, например, полученное в результате измерения или расчета.

Приблизительный расчет ZE с учетом заземляющих проводников и влияния смежных опор можно выполнить по следующей формуле:



где

Zs – полное сопротивление заземляющего проводника одного пролета;

Rt — сопротивление фундамента опоры.

Ток на землю во время короткого замыкания определяется по формуле:

IE = r 3 I0

где

r — приведенный коэффициент заземляющих проводников;

I0 — ток нулевой последовательности при отказе.

Приведенный коэффициент может быть определен расчетным путем (см. Н.4.5) или путем измерения.

Н.4.5 Приведенный коэффициент для заземляющих проводников воздушных ЛЭП

Н.4.5.1 Общие положения

Заземляющие провода воздушных ЛЭП несут или передают часть токов замыкания соответствующей цепи. Установка высоковольтной системы заземления будет более эффективной во время разряда тока замыкания на землю. Степень этого повышения эффективности описывается приведенным коэффициентом r.

Для заземляющего проводника (проводников) трехфазной воздушной ЛЭП, приведенный коэффициент r представляет собой отношение тока к земле к сумме токов нулевой последовательности трехфазной цепи.



где

I EW – ток в заземляющем проводнике (в уравновешенном каскаде);

I E — ток на землю;

3 I o – сумма токов нулевой последовательности.

Для сбалансированного распределения тока воздушной ЛЭП, приведенный коэффициент r заземляющего проводника (проводников) может быть рассчитан на основе собственного сопротивления заземляющего проводника Z EW-E и взаимного сопротивления между фазными проводами и заземляющим проводником, ZMi\_ -EW:



Наиболее важной характеристикой для Z ML-EW является среднее расстояние между фазными проводами и заземляющим проводником, а для Z EW-Ei - сопротивление заземляющего проводника. Из этого следует, что эффект приведения заземляющего проводника (проводников) по отношению к току заземления увеличивается (r имеет тенденцию быть небольшим) с меньшим расстоянием между фазными проводами и заземляющим проводником и с более низким сопротивлением заземляющего проводника.

Н.4.5.2 Значения приведенного коэффициента воздушной ЛЭП

Значения приведенных коэффициентов r варьируются в пределах от 0,2 до 1 и зависят от нескольких параметров, например: геометрии линии, расположения заземляющего проводника (проводников) к фазным проводам, удельного сопротивления грунта, количества заземляющих проводников и их сопротивления.

Приложение J

(обязательное)

Углы в решетчатых стальных опорах

J.1 Определение символов, используемых в этом приложении

Символ Значение

Общая площадь поперечного сечения

A eff Эффективная площадь поперечного сечения

A gv Общая площадь поперечного сечения для расчета прочности блока на разрыв

Anet Площадь поперечного сечения в отверстиях, нетто

Ant Площадь поперечного сечения для расчета прочности блоков на разрыв, нетто

As Площадь растягивающего напряжения болта

c Расстояние между пластинами обрешетки

d Диаметр болта

d 0 Диаметр отверстия

E Модуль упругости

e1 Конечное расстояние от центра отверстия до смежного окончания в углу

e2 Расстояние от центра отверстия до смежной кромки в углу

F Концентированная горизонтальная нагрузка

F bRd Несущая способность на болт

F tRd Прочность на растяжение на болт

F vRd Сопротивление сдвигу на плоскость сдвига

f u Предел прочности при растяжении

f ub Предел прочности на растяжение для болта

f y Предел текучести

i Радиус вращения вокруг соответствующей оси

k Приведенный коэффициент

L Длина продольного изгиба

L Длина элемента

Leff Эффективная приведенная длина

Lth Длина горизонтального элемента

m Количество углов

NEd Расчетное значение усилия сжатия

Nb,Rd Расчетное сопротивление продольному изгибу

Nd Сила сжатия

Nu,Rd Расчетное предельное сопротивление

n Количество болтов

P 1 Расстояние между 2 отверстиями в направлении передачи нагрузки

P 1 Сжимающая нагрузка

P2 Растягивающая нагрузка

Sd Сила натяжения

Sd Нагрузка в опорном элементе (растяжение или сжатие)

t Толщина

V effiRd Сопротивление сдвигу блока

a Фактор несовершенства

ηi Приведенный коэффициент

γM1 Частный коэффициент сопротивления элемента изгибу или растяжению или короблению

γM2 Частный коэффициент сопротивления сечения сетки в отверстиях под болты

γMb Частный коэффициент сопротивления болтовых соединений

λ Гибкость для соответствующей нагрузки на изгиб

 Эффективная безразмерная гибкость

 Безразмерная гибкость

λ 1 Гибкость одного под-элемента

λz Гибкость одного полного элемента

χ Приведенный коэффициент для соответствующего режима потери устойчивости

J.2 Общие положения

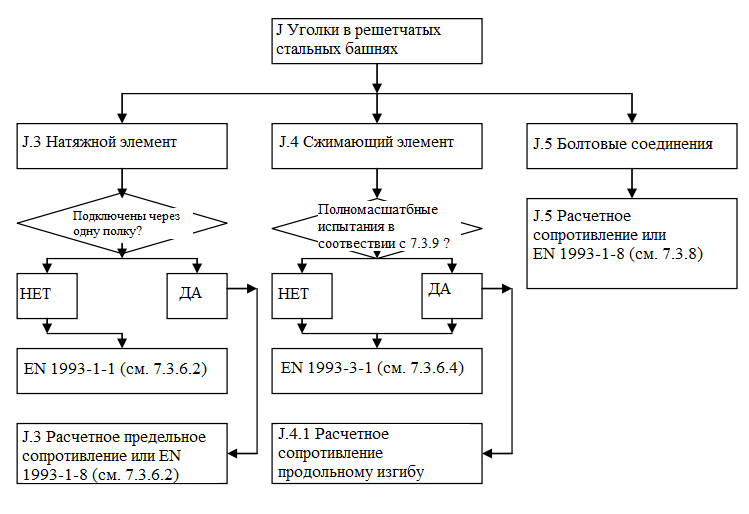
Методы расчета уголков в решетчатых стальных опорах с болтовыми соединениями, предлагаемые в этом приложении, в основном основаны на публикации ECCS: «Рекомендации для углов в решетчатых передаточных опорах» (публикация № 39: 1985 г.).

Согласно 7.3.6.2, сопротивление растяжению уголков, соединенных через одну полку, следует рассчитывать с использованием положений EN 1993-1-8 или Приложения J.3.

В соответствии с 7.3.6.4, Приложение J.4 по сопротивлению продольному изгибу элементов при сжатии применимо только к конструкциям решетчатых стальных башен, которые подтверждены испытаниями опор. Для конструкций опор, не подтвержденных испытаниями, применяются требования EN 1993-3-1.

Согласно 7.3.8, болтовые соединения в решетчатых стальных башнях должны быть спроектированы с использованием положений Приложения J.5 или EN 1993-1-8.

Блок-схема J.1 обобщает структуру Приложения J.



**Блок-схема J.1 — Структура Приложения J по углам в решетчатых стальных башнях**

J.3 Сопротивление растяжению уголков, соединенных через одну полку (см. 7.3.6.2)

Один угол на растяжение, соединенный одним рядом болтов в одной полке, см. рисунок J.1, может рассматриваться как концентрически нагруженный на эффективной площади поперечного сечения Anet, для которой следует определить расчетное предельное сопротивление NuRd следующим образом:

а) Случай одной полки, соединенной 1 болтом



b) Случай, когда одна полка соединена 2 или более болтами



гле

b1, b2 определены, как на рисунке J.1;

d0 — диаметр отверстия, см. рисунок К.1;

т - толщина;

fu — предел прочности при растяжении;

γM2 — частный коэффициент сопротивления сечения сетки, как определено в 7.3.6.1.

Блок-схема J.2 обобщает структуру этого Приложения J.3.

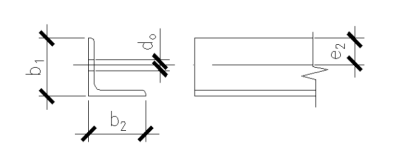
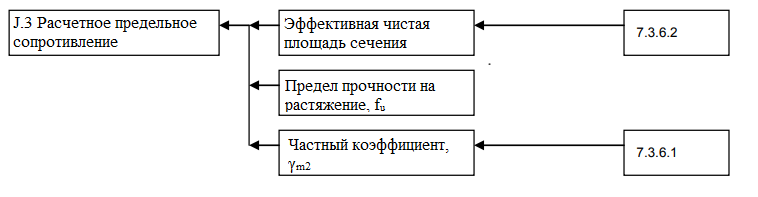


Рисунок J.1 — Угол с одной соединенной полкой

****

Блок-схема J.2 — Структура Приложения J.3 по элементам на растяжение

J.4 Сопротивление продольному изгибу уголков при сжатии (см. 7.3.6.4)

J.4.1 Сопротивление продольному изгибу

Угол сжатия (горячекатаный или холодногнутый угол) должен быть проверен на коробление следующим образом:



где

NEd – расчетное значение усилия сжатия;

Nb,Rd — расчетное сопротивление продольному изгибу сжимающего элемента.

Расчетное сопротивление продольному изгибу элемента на сжатие следует принимать следующим образом:

 для поперечных сечений класса 1, 2 и 3

 для поперечных сечений класса 4

где

χ — приведенный коэффициент для соответствующей формы потери устойчивости;

A - площадь поперечного сечения брутто;

Aeff – эффективная площадь поперечного сечения;

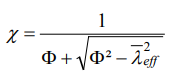
f y – предел текучести;

γM1 — частный коэффициент сопротивления элемента изгибу или растяжению или потере устойчивости, как определено в 7.3.6.1.

При определении А и Аeff, отверстия для крепежа на концах колонны учитывать не нужно.

ПРИМЕЧАНИЕ: Уголки относятся к классу 3 или 4 в соответствии с 5.5 EN 1993-1-1:2005.

Для осевого сжатия в углах значение х следует определять по формуле:

 но 

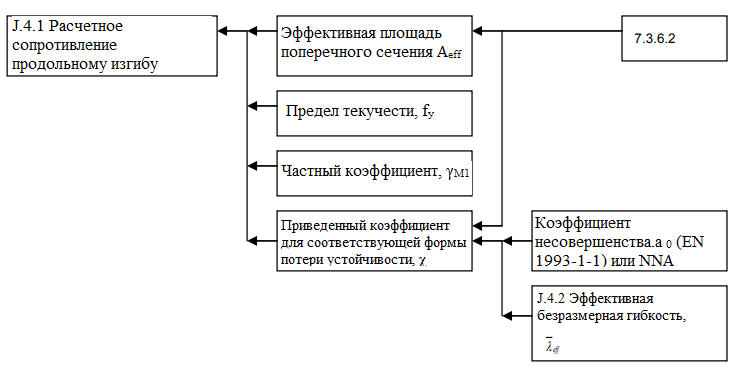
где

— эффективная безразмерная гибкость, как определено в J.4.2.4;

*α* – коэффициент несовершенства, который следует принимать равным 0,13.

Выбор этого значения коэффициента несовершенства соответствует кривой потери устойчивости a0 согласно EN 1993-1-1. Выбор более консервативного значения из таблицы 6.1 EN 1993-1-1:2005 может быть указан в NNA.

Блок-схема J.3 обобщает структуру этого Приложения J.4.1 по расчетному сопротивлению продольному изгибу сжимаемого элемента.



Блок-схема J.3 — Структура Приложения J.4.1 по расчетному сопротивлению продольному изгибу сжимаемого элемента

J.4.2 Эффективная безразмерная гибкость для потери устойчивости при изгибе

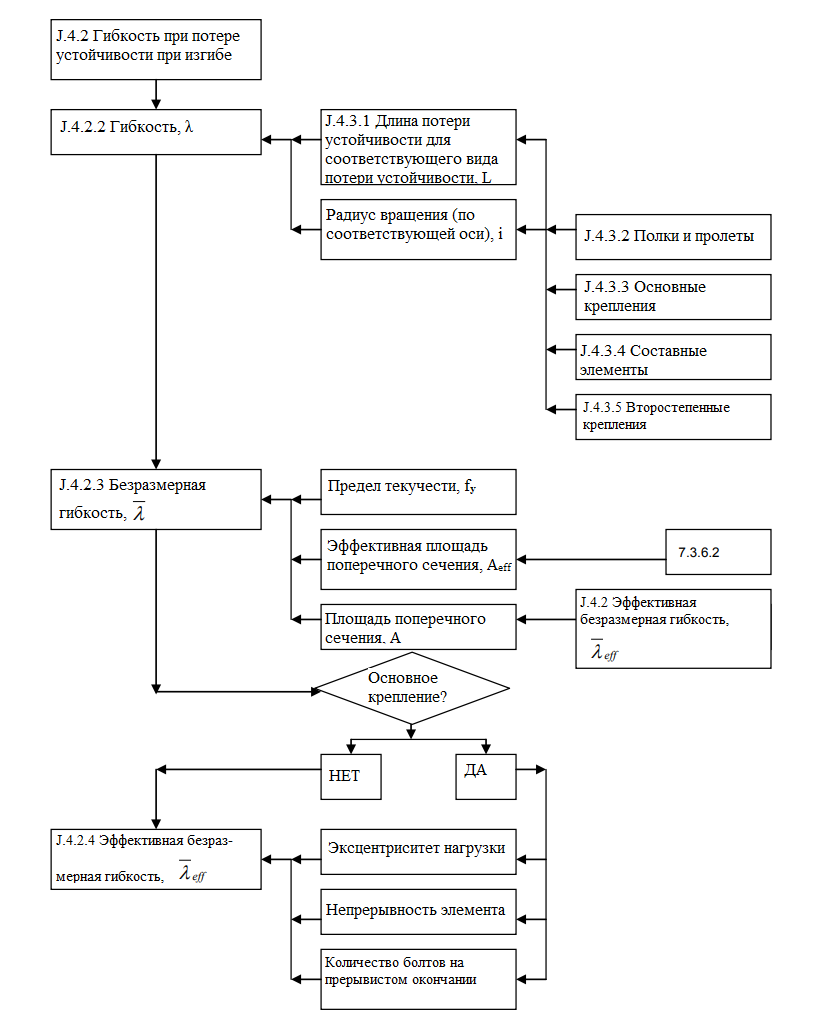
J.4.2.1 Общие положения

Эффективная безразмерная гибкость , используемая для определения расчетного сопротивления продольному изгибу сжимаемого элемента в Приложении J.4.1, представляет собой линейное преобразование безразмерной гибкости , как описано в Приложении J.4.2..4.

Безразмерная гибкость зависит от коэффициента гибкости λ, как описано в Приложении J.4.2.3.

Гибкость А определена в Приложении J.4.2.2.

Блок-схема J.4 резюмирует структуру Приложения J.4.2 по эффективной безразмерной гибкости.

****

Блок-схема J.4 — Структура Приложения J.4.2 по эффективной безразмерной гибкости

J.4.2.2 Гибкость, **λ**

Гибкость λ равна:



с

L длина потери устойчивости в рассматриваемой плоскости потери устойчивости, принятая как расстояние между пересечениями осевых линий;

i радиус вращения вокруг соответствующей оси, определяемый с использованием свойств общего поперечного сечения.

Соответствующая гибкость x определяется в соответствии с различными конфигурациями креплений, описанными в J.4.3, для:

• Элементов полок и пролетов (J.4.3.2);

• Схем основных креплений (J.4.3.3);

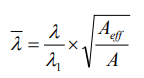
• Составных элементов (J.4.3.4);

• Второстепенных (или резервных) раскосов (J.4.4).

Также указана рекомендуемая максимальная гибкость.

J.4.2.3 Безразмерная гибкость, 

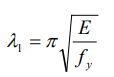
 для поперечного сечения класса 3

 для поперечного сечения 4 класса

где

A - площадь поперечного сечения брутто;

Aeff – эффективная площадь поперечного сечения;



с

fy предел текучести;

E модуль упругости (210 000 Н/мм 2 ).

J.4.2.4 Эффективная безразмерная гибкость, 

Эффективная безразмерная гибкость определяется следующим образом:

а) Для элементов полок: 

b) Для раскосов следует рассмотреть 5 случаев. Выбор случая зависит от гибкости каждого элемента, эксцентриситета нагрузки, непрерывности элемента и количества болтов на прерывистом окончании. Выбор должен быть сделан в соответствии с таблицей J.1. 5 случаев (5 линейных преобразований) приведены в таблице J.2.

Таблица J.1 — Выбор случая потери устойчивости

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ось потери устойчивости | Безразмерное условие гибкости | Состояние эксцентриситета нагрузки | Условие непрерывности элемента | Количество болтов  в прерывистом окончании | Случай |
|  |  | 1 окончание | - | - | 2 |
| 2 окончания | - | - | 3 |
|  | - | 2 окончания | - | 3 |
| - | 1 окончание | 2 болта | 3 |
| - | 1 окончание | 1 болт | 1 |
| - | 0 окончаний | 2 болта | 3 |
| - | 0 окончаний | 1 болт | 1 |
|  |  | 1 окончание | - | - | 3 |
| 2 окончания | - | - | 4 |
|  | - | 2 окончания | - | 1 |
| - | 1 окончание | 2 болта | 3 |
| - | 1 окончание | 1 болт | 1 |
|  | - | 0 окончаний | 2 болта | 4 |
| - | 0 окончаний | 1 болт | 5 |
| ПРИМЕЧАНИЕ Условия непрерывности элемента:  2 окончания = элемент непрерывен с обоих концов  1 окончание = стержень непрерывен только с одного конца  0 окончаний = один элемент пролета | | | | | |

Таблица J.2 — Случаи потери устойчивости

|  |  |
| --- | --- |
| Случай | Линейное преобразование |
| 1 |  |
| 2 |  |
| 3 |  |
| 4 |  |
| 5 |  |

J.4.3 Гибкость элементов

J.4.3.1 Общие положения

Существует несколько различных конфигураций креплений, которые обычно используются в решетчатых опорах, и каждая требует отдельного рассмотрения.

Длина изгиба элемента и его радиус вращения зависят от типа крепления, используемого для стабилизации элемента.

Соответствующая гибкость X для соответствующего режима потери устойчивости должна быть определена в соответствии с Приложением J.4.3.2 — Приложением J.4.3.5.

J.4.3.2 Элементы полок и пролетов

Рекомендуемая максимальная гибкость полок и пролетов не должна превышать 120.

Поперечное сечение элементов обычно состоит из одного профиля. Для составных элементов следует сделать ссылку на Приложение J.4.3.4.

Необходимо рассмотреть несколько случаев, как показано на рисунке J.2, и гибкость уголков следует принимать как:

|  |  |
| --- | --- |
| Полка с симметричным креплением (а) (b)  Полка с промежуточной поперечной опорой (в)  Полка со смещенным креплением (d) |  |

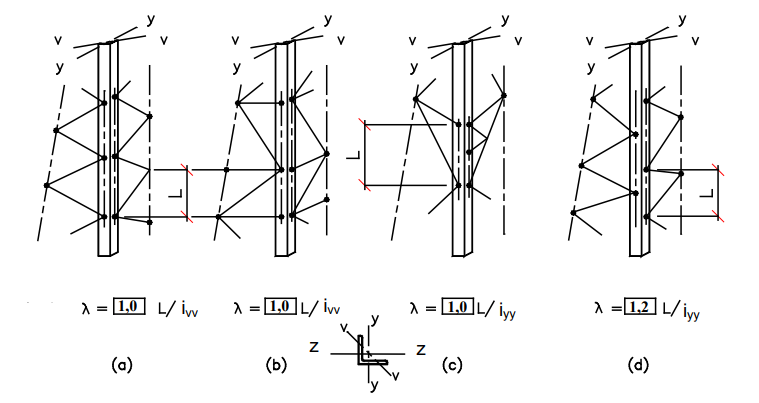


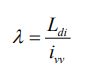
Рисунок J.2 — Симметричное и смещенное крепление к полкам

J.4.3.3 Схемы основных креплений

J.4.3.3.1 Общие положения

Следующие правила следует использовать для типичных схем основных креплений, показанных на рисунке H.1 EN 1993-3-1:2006. Второстепенные или резервные крепления могут использоваться для разделения основных креплений или элементов основных полок, как показано, например, на рисунках H.1 (IA, IIA, IIIA, IVA) и H.2 в EN 1993-3.­ 1:2006.

Гибкость X для раскосов следует принимать как:



для углов, где Ldi указано на рисунке H.1 EN 1993-3-1:2006.

Гибкость X основных раскосов обычно не должна превышать |180|, а для второстепенных раскосов не более 250. Для множественных решетчатых креплений (рисунок H.1(V) EN 1993-3-1:2006), общая гибкость обычно не должна превышать 350.

Сечение раскосов обычно состоит из одного профиля. Для составных элементов делается ссылка на Приложение J.4.3.4.

В случае протяженных элементов может быть целесообразно учитывать изгибающие напряжения, вызванные ветром, действующим на элементы, в дополнение к осевой нагрузке.

Угол между основным элементом и раскосом должен быть не менее 15°.

J.4.3.3.2 Одинарная решетка (рисунок H.1(I) EN 1993-3-1:2006)

Должны применяться положения, приведенные в H.3.2 EN 1993-3-1:2006.

J.4.3.3.3 Поперечные крепления (рисунок H.1(II) EN 1993-3-1:2006)

Должны применяться положения, приведенные в H.3.3 EN 1993-3-1:2006.

ПРИМЕЧАНИЕ: Нагрузку можно считать почти поровну разделенной на растяжение и сжатие до тех пор, пока S d / N d > 2/3.

с Sd = нагрузка в опорном элементе при растяжении,

Nd = усилие в сжимающем элементе.

Другой, более точный метод может быть предложен в NNA.

J.4.3.3.4 Растяжка (рисунок H.1(VI) EN 1993-3-1:2006)

Должны применяться положения, приведенные в H.3.4 EN 1993-3-1:2006.

J.4.3.3.5 Поперечные крепления с резервными элементами (рисунки H.1(IIA и IVA) и H.2(a) EN 1993-3-1:2006)

Должны применяться положения, приведенные в H.3.5 EN 1993-3-1:2006.

J.4.3.3.6 Прерывистое поперечное крепление с непрерывным горизонтальным элементом в центре пересечения (рисунок H.1(IV) EN 1993-3-1:2006)

Должны применяться положения, приведенные в H.3.6 EN 1993-3-1:2006.

J.4.3.3.7 Поперечные крепления с диагональными угловыми стойками (рисунок H.2(b) EN 1993-3-1:2006)

Должны применяться положения, приведенные в H.3.7 EN 1993-3-1:2006.

J.4.3.3.8 K-образный раскос (рисунки H.1(III), H.1(IIIA) и H.2.(c) EN 1993-3-1:2006)

Должны применяться положения, приведенные в H.3.8 EN 1993-3-1:2006.

J.4.3.3.9 Горизонтальные краевые элементы с горизонтальной диафрагмой

Должны применяться положения, приведенные в H.3.9 EN 1993-3-1:2006.

В качестве альтернативы H.3.9 (5) может быть выбран следующий метод: горизонтальные диафрагмы должны быть достаточно жесткими, чтобы предотвратить частичную потерю устойчивости. В случае сомнений правило проектирования из передовой практики выглядит следующим образом:

- горизонтальные диафрагмы, как показано на рисунке J.3, должны выдерживать концентрированную горизонтальную нагрузку F = 1,5 L в кН, расположенную посередине горизонтального элемента, где: горизонтальный краевой элемент в m.

- прогиб горизонтального крепления под этой нагрузкой ограничен L/1 000.

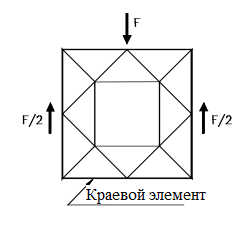


Рисунок J.3 — Типовая диафрагма

Более подробную информацию о проектировании диафрагм можно найти в Технической брошюре CIGRE № 196 «Диафрагмы для решетчатых стальных опор».

J.4.3.3.10 Горизонтальные краевые элементы без диагфрагм

Должны применяться положения, приведенные в H.3.10 EN 1993-3-1:2006.

Для потери устойчивости поперек рамы и когда горизонтальный элемент испытывает сжатие в одной половине своей длины и растяжение в другой, можно использовать эффективную приведенную длину Leff вместо Lth для определения x по следующей формуле:

Leff = k x Lth

с

L - длина горизонтального элемента (см. рисунок H.4 (a) EN 1993-3-1:2006).

приведенный коэффициент k, зависящий от отношения силы сжатия P 1 к силе растяжения P2, определяется по формуле:



Эта формула согласуется со значениями таблицы G.3 стандарта EN 1993-3-1:2006.

Прямоугольный радиус инерции (iyy) следует использовать для потери устойчивости поперек рамы на этой эффективной длине Leff.

J.4.3.3.11 Коленчатый K-образный раскос

Должны применяться положения, приведенные в H.3.11 EN 1993-3-1:2006.

J.4.3.3.12 Портальная рама

Должны применяться положения, приведенные в H.3.12 EN 1993-3-1:2006.

J.4.3.3.13 Множественные решетчатые раскосы (рисунок H.1(V) EN 1993-3-1:2006)

Должны применяться положения, приведенные в H.3.13 EN 1993-3-1:2006.

J.4.3.4 Составные элементы

J.4.3.4.1 Общие положения

Составные элементы могут быть выполнены с двумя встречными угловыми профилями (рисунок J.4) или с двумя, тремя или четырьмя уголками крестообразного сечения (рисунок J.5).

При непрерывной сварке (рисунок J.5.(a)), их можно считать полностью составными.

Для ажурных сжимаемых элементов следует ссылаться на 6.4.2 EN 1993-1-1:2006.

J.4.3.4.2 Детали

Гибкость подэлемента должна быть 

Если используются пластины обрешетки, они должны располагаться, по крайней мере, в третьих точках общей длины изгиба и на концах элементов.

Если элементы, состоящие из двух угловых профилей, соединены с общей фасонкой, отдельные пластины обрешетки на концах элементов не требуются.

Каждая пластина обрешетки должна быть соединена с каждым подэлементом с помощью болтов или эквивалентного сварного шва. На концах элементов для каждого из этих соединений должен быть предусмотрен один дополнительный соединительный элемент.

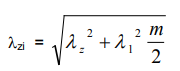
В случае крестообразного составного элемента, требуется минимум два болта для каждого элемента на каждой пластине обрешетки.

J.4.3.4.3 Конструкция

Когда конструкция соответствует приведенным выше требованиям, элементы могут быть рассчитаны в соответствии со следующими правилами:

Составные элементы, которые состоят из m под-элементов и имеют главную ось материала yy, могут быть рассчитаны на потрею устойчивости поперек этой оси материала как единый сжатый элемент.

Что касается потери устойчивости поперек нематериальной главной оси zz, элемент можно рассматривать как единый сжатый элемент с фактической гибкостью:



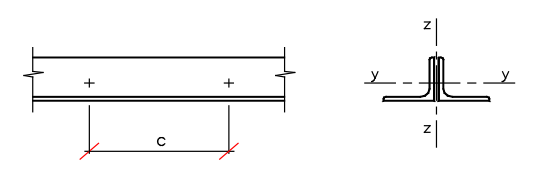
где

m - количество углов;

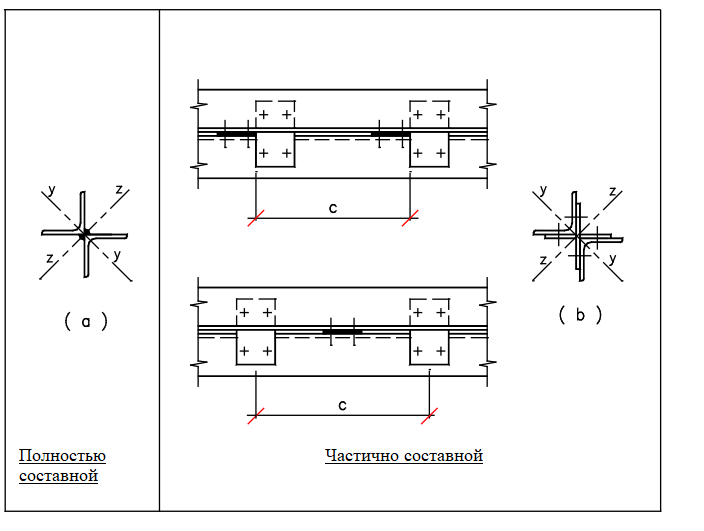
λz — гибкость полных элементов, как определено в J.4.3.2 и J.4.3.3 соответственно;

λ1 — гибкость одного под-элемента, равная c/i vv ;

c — расстояние между пластинами обрешетки согласно рисунку J.4 и рисунку J.5.



**Рисунок J.4 — Угловой профиль "встречное соединение"**

****

**Рисунок J.5 — Крестообразные угловые профили**

J.4.4 Второстепенные (или резервные) раскосы

Должны применяться положения, приведенные в H.4 EN 1993-3-1:2006.

Угол между резервным и основным элементом должен быть не менее 15°. Процент p Н.4(2) может быть определен по альтернативной следующей формуле:



J.5 Расчетное сопротивление болтовых соединений (см. 7.3.8)

J.5.1 Общие положения

Расчетное сопротивление отдельного крепления при сдвиге и/или растяжении приведено в таблице J.3.

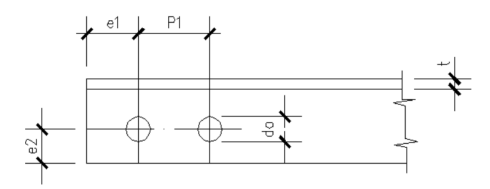


Рисунок J.6 — Расположение болтов в уголке, соединенном одной полкой

Когда для уплотнения используется наполнитель, расчетное сопротивление болтов сдвигу должно быть уменьшено в соответствии с 3.6.1 (12) и (13) EN 1993-1-8:2005.

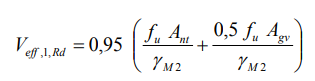
Таблица J.3 — Расчетное сопротивление отдельных креплений при сдвиге и/или растяжении

|  |
| --- |
| Сопротивление сдвигу на плоскость сдвига :  Если плоскость сдвига проходит через часть болта без резьбы:    Если плоскость сдвига проходит через резьбовую часть болта:  FvRd = 0,6 fub AS / ym2 для классов 4.6 - 5.6 - 6.6 - 8.8  FvRd = 0,5 fub AS / ym2 для классов 4.8 - 5.8 - 6.8 - 10.9 |
| Несущая способность на болт :    где а - наименьшее значение:  n1 3; n2 1,20 (e1/d0); n3 1,85 (e1/d0 - 0,5); n4 0,96 (P1/d0 - 0,5); n5 2,3 (e2/d0 - 0,5)  ni – приведенные коэффициенты.  Значение по умолчанию для каждого n равно 1, но в NNA может быть определено меньшее (более консервативное) значение.  Значение a остается действительным в случае расположения болтов в два или более ряда, если P1, e1 и e2 определены как:  P1 — минимальное межцентровое расстояние между двумя последовательными отверстиями в одном ряду;  e1 — минимальное расстояние до ближайшего к концу болта;  e2 — минимальное расстояние до ближайшего к краю болта.  Расчетное сопротивление группы креплений может быть принято как сумма расчетных сопротивлений смятию F bRd отдельных креплений при условии, что расчетное сопротивление сдвигу F vRd каждого отдельного крепления больше или равно расчетному сопротивлению смятию, FbRd. В противном случае, расчетное сопротивление группы креплений следует принимать как число креплений, умноженное на наименьшее расчетное сопротивление любого из отдельных креплений. |
| Прочность на растяжение на болт : |
| fu - предел прочности при растяжении  fub — предел прочности болта на растяжение.  A - общая площадь поперечного сечения болта  A S - площадь растягивающего напряжения болта  d - диаметр болта  t , d0, e1, e2 , P1 определены на рисунке J.6.  γM2 соответствует определению в 7.3.6.1. |

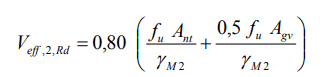
J.5.2 Блочное сопротивление разрыву болтовых соединений

Разрыв блока заключается в разрушении при сдвиге в ряду из 2 и более болтов по поверхности среза группы отверстий, сопровождающейся разрывом при растяжении по линии отверстий под болты на поверхности растяжения группы болтов. На рисунке J.7 показан разрыв блока для углового профиля.

Для фасонок с группой болтов, подверженных концентрической нагрузке, расчетное сопротивление сдвигу блока V eff1Rd определяется по формуле:



Для углового профиля с группой болтов, подверженной внецентренной нагрузке, расчетное сопротивление сдвигу блока Veff,2,Rd определяется по формуле:

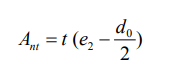


Символы в приведенных выше формулах:

– предел прочности при растяжении пластины или углового профиля;

Ant — чистая площадь поперечного сечения, подверженная растяжению.

Для углового профиля с одним рядом болтов и с использованием символов на рисунке J.6, площадь нетто, подверженную растяжению, следует рассчитывать следующим образом:



Agv — общая площадь поперечного сечения, подвергающегося сдвигу.

Для углового профиля с одним рядом болтов и с использованием символов на рисунке J.6, общая площадь поперечного сечения, подверженная сдвигу, должна быть рассчитана следующим образом:



где

n - количество болтов.

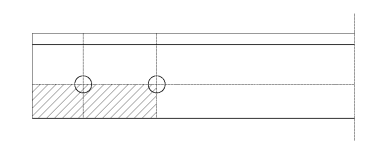


Рисунок J.7 — Разрыв блока угловых профилей

**Приложение K**

(обязательное)

Стальные столбы

K.1 Определение символов, используемых в этом приложении

Символ Значение

А Общая площадь поперечного сечения

Aeff Эффективная площадь поперечного сечения

As Зона растяжения анкерного болта

b Номинальная ширина

beff Эффективная ширина

d Наружный диаметр; наружный диаметр по углам многоугольника

FtSd Расчетная растягивающая нагрузка на болт для предельного состояния по несущей способности

fbd Напряжение сцепления стали с бетоном

fck Характерная прочность бетона на сжатие

fctm Средняя прочность бетона при растяжении

fctk0,05 Характерная прочность бетона при растяжении

fub Предел прочности на растяжение анкерного болта

fy Предел текучести

Msd Изгибающий момент в поперечном сечении

Nsd Осевая сила в поперечном сечении

n Количество сторон многоугольника

t Толщина

Weff Эффективный модуль поперечного сечения

Wei Модуль упругости сечения

ΔM Дополнительный момент

σ com,Ed Максимальное расчетное напряжение сжатия

σxEd Фактическое максимальное продольное напряжение

γc Частный коэффициент связывания

γM1 Частный коэффициент сопротивления

γMb Частный коэффициент сопротивления анкерного болта

 Гибкость пластины

ρ Приведенный коэффициент

ψ Коэффициент напряжения

K.2 Классификация поперечных сечений (EN 1993-1-1:2005 - 5.5)

Поперечные сечения относятся к классу 3, если толщина стенки позволяет расчетному напряжению в волокне предельного сжатия трубы достичь ее предела текучести. Все остальные сечения, в которых необходимо учитывать влияние локальной потери устойчивости при определении сопротивления моменту или сжатию, должны рассматриваться как класс 4 в соответствии с критериями, приведенными в таблице К.1.

Таблица K.1 — Классификация поперечных сечений труб при изгибе

|  |  |
| --- | --- |
| Тип сечения | Критерии для класса 4 |
|  | d/t > 176 82 |
|  | для n, равных от 6 до 18 сторон  b/t > 42 8 |
| где , а fy — номинальное значение предела текучести в Н/мм. | |

K.3 Поперечные сечения класса 4 (EN 1993-1-1:2005 - 6.2.2.5 и EN 1993-1-5:2006 - 4)

Свойства эффективного поперечного сечения поперечных сечений 4-го класса должны основываться на эффективной ширине (области, выделенные черным цветом) сжимаемых элементов, как показано на рисунке K.1.

|  |  |
| --- | --- |
| A eff под действием осевой силы | W eff при изгибающем моменте |
|  |  |

Рисунок K.1 — Характеристики эффективных сечений класса 4

Эффективная ширина плоских сжатых внутренних элементов должна быть рассчитана с использованием таблицы 5.2 EN 1993-1-1:2005 и раздела 4 EN 1993-1-5:2006. Отношение напряжений ψ, используемое в таблице 5.2 EN 1993-1-1 и в разделе 4 EN 1993-1-5:2006, может быть основано на свойствах поперечного сечения брутто.

Однако для большей экономии, гибкость пластины каждого элемента можно определить с помощью

максимального расчетного сжимающего напряжения, σcom;Ed в этом элементе вместо предела текучести f y при условии, что σcom;Ed определяется по эффективной ширине beff всех сжимающих элементов.

Эта процедура обычно требует итеративного расчета, в котором y снова определяется на каждом шаге из напряжений, рассчитанных в эффективном поперечном сечении, определенном в конце предыдущего шага, включая напряжения от дополнительного момента AM.

K.4 Сопротивление круглых поперечных сечений

Сопротивление круглого поперечного сечения без отверстия под действием преобладающего изгибающего момента обеспечивается, если фактическое максимальное продольное напряжение (включая одновременную осевую силу), рассчитанное для общего сечения, удовлетворяет следующим критериям:

с

для сечений 3 класса: ρ = 1,0

, c

На рисунке К.2 непосредственно показан приведенный коэффициент ρ как функция отношения d/t.

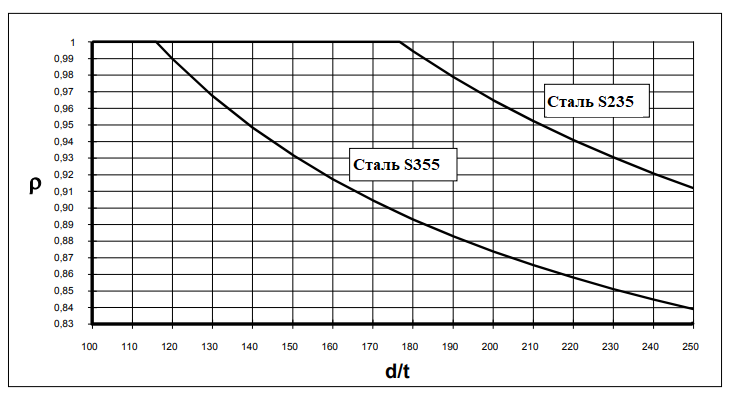


Рисунок K.2 — Приведенный коэффициент p

K.5 Сопротивление многоугольных поперечных сечений

K.5.1 Поперечные сечения класса 3 (EN 1993-1 -1:2005 - 6.2.9.2)

Сопротивление многоугольного поперечного сечения класса 3 будет удовлетворительным, если максимальное продольное напряжение, a , рассчитанное для общего сечения под действием преобладающего изгибающего момента и одновременной осевой силы, удовлетворяет критерию:

Для поперечных сечений без отверстия, вышеуказанный критерий принимает вид:

где

A - площадь поперечного сечения брутто;

Wel – модуль упругого сечения.

K.5.2 Поперечные сечения класса 4 (EN 1993-1-1:2005 - 6.2.9.3)

Многоугольное поперечное сечение класса 4 без отверстия считается удовлетворительным, если максимальное продольное напряжение, a , рассчитанное по эффективной ширине сжимаемых элементов, под действием преобладающего изгибающего момента и одновременной осевой силы, удовлетворяет критерию:

Для поперечных сечений без отверстия, вышеуказанный критерий принимает вид:

где

Aeff — эффективная площадь поперечного сечения при всестороннем сжатии;

Weff — эффективный модуль поперечного сечения, когда на него действует только момент относительно соответствующей оси.

ПРИМЕЧАНИЕ: Подробный метод расчета эффективных характеристик поперечных сечений класса 4 приведен в 6.2.2.5 EN 1993-1-1:2005. Кривые, показанные на рисунках К.3 и К.4, позволяют быстро определить Aeff и Weff для многоугольного поперечного сечения без отверстия.

К.6 Конструкция анкерных болтов

Расчет длины анкеровки анкерных болтов в бетон приведен в таблице К.2. Комбинированное расчетное сопротивление болтов сдвигу и растяжению или сжатию приведено в EN 1992-1-1.

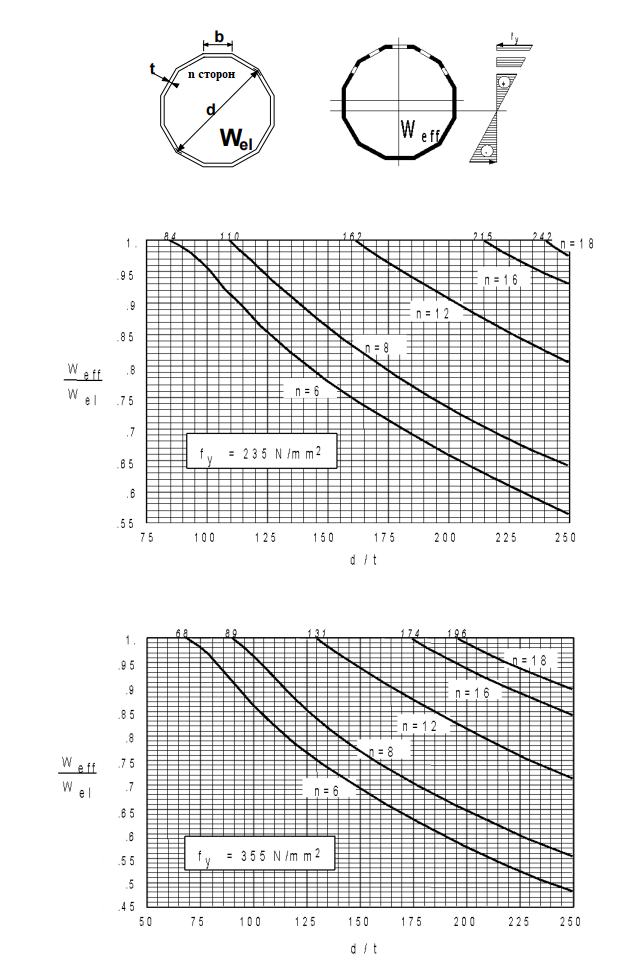


Рисунок К.3 — Многоугольные поперечные сечения класса 4

Эффективный модуль сопротивления сечения Weff

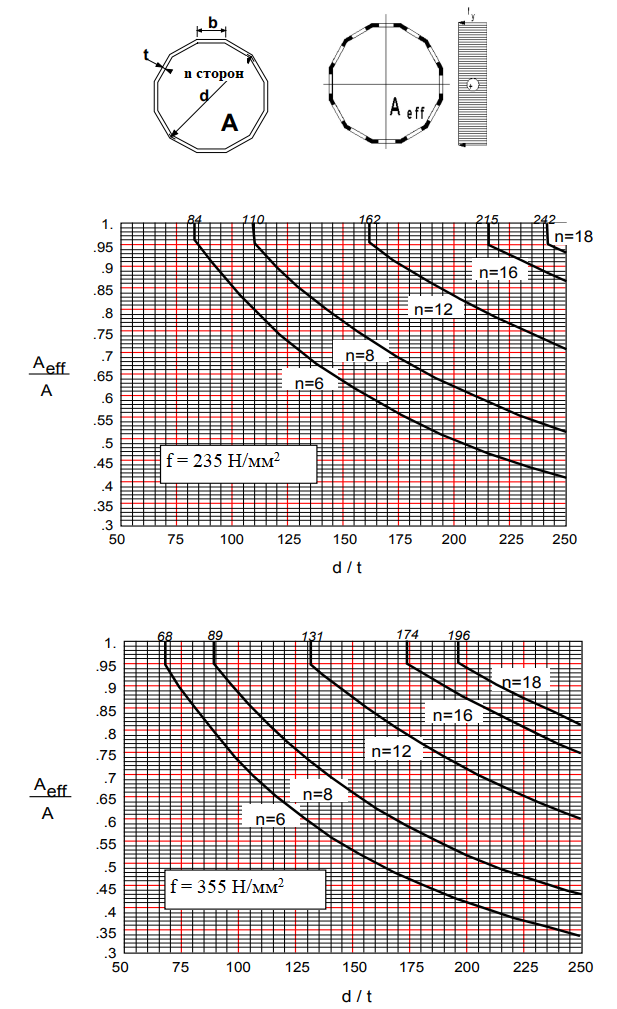


Рисунок К.4 — Многоугольные поперечные сечения класса 4

Эффективная площадь A eff

Таблица К.2 — Конструкция анкерных болтов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Прямой анкер | Анкер с изгибом | Анкер с пластиной |
|  |  |  |
|  | с | с |
| — напряжение сцепления стали с бетоном.  с для гладких стержней  для деформированных стержней  с и  где  *fck* – характерная прочность бетона на сжатие  *fctm* — средняя прочность бетона при растяжении.  – характерная прочность бетона при растяжении.  - частный коэффициент на связывание = 1,50  Например : для бетона C 20/25 *fck* = 20 Н/мм2, *fctm* = 2,2 Н/мм2, = 1,55 Н/мм2,  и = 1,1 Н/мм2 для гладких стержней или = 2,3 Н/мм2 для деформированных стержней  Длина анкеровки должна быть такой, чтобы:  где — расчетная растягивающая нагрузка на болт для предельного состояния по несущей способности.  Размер болта должен быть таким, чтобы:  где — предел прочности анкерного болта на растяжение.  - площадь растягивающего напряжения анкерного болта.  — частный коэффициент сопротивления анкерного болта = 1,25. | | |
| Согласно 6.5.5 (6) EN 1993-1-1:2005, когда резьба нарезается неспециализированным производителем болтов, соответствующее значение должно быть уменьшено путем умножения на коэффициент 0,85. | | |

**Приложение L**

(справочное)

Требования к конструкции опор и фундаментов

L.1 Структурное требование

Для проектирования опор и фундаментов, необходима следующая информация:

приложенные нагрузки, включая частные коэффициенты по воздействиям, в местах крепления изоляторов/проводов/ заземляющих проводников (в виде расположения поперечных (T), вертикальных (V) и продольных (L) нагрузок);

ветровые нагрузки на опоры;

сочетания нагрузок;

предельное предельное состояние для каждого сочетания нагрузок;

аварийное состояние эксплуатационной пригодности для каждого сочетания нагрузок (допустимые прогибы);

предпочтительная последовательность отказов;

эксплуатационные и строительные нагрузки.

L.2 Требования к конфигурации: типы опор и использование

Тип опоры, контур, расположение фазных проводов, межфазное расстояние, электрические зазоры и расположение заземляющих проводников должны соответствовать Проектной спецификации.

В качестве руководства, можно использовать следующие таблицы.

Таблица L.1 — Тип опоры и ее использование

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип опоры | Описание | Углы отклонения или входа в линию | Тип изолятора |
| …… | …… | …… | …… |

Таблица L.2 — Диапазон удлинений

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип опоры | Диапазон удлинения | Описание |
|  | Минимальная высота Максимальная высота x постепенное удлинение  (м) |  |
| …… | …… | …… |
| В колонке описания должно быть указано, являются ли удлинения отдельными удлинениями или комбинациями удлинений корпуса и полки. Следует указать последнюю высоту удлинения корпуса и диапазон удлинения полки. Кроме того, должны быть четко указаны ограничения использования, взаимозаменяемость, уровни соединения и максимально допустимая разница в высоте между отдельными удлинениями полок. | | |

Таблица L.3 — Особенности конструкции линии

|  |
| --- |
| Количество под-проводов на фазу  Размер и тип под-проводов  Расположение под-проводов  Расстояние между под-проводами (по горизонтали и вертикали)  Количество и тип заземляющих проводников  Размер заземляющих проводников  Стандартная длина пролета для стандартной высоты опоры  Стандартная высота опоры  Максимальный угол экранирования заземляющего проводника сверху/снаружи  Фазный провод, неподвижный воздух (градусы)  Максимальная длина одного пролета  Максимальная сумма длин смежных пролетов  Максимальный весовой пролет, нормальные условия  Максимальный весовой пролет, неравновесное состояние  Минимальный весовой пролет в нормальных условиях с максимальным ветровым пролетом  Минимальный весовой пролет, неравновесное состояние  Максимальный весовой пролет для концевых опор |

Таблица L.4 — Детали гирлянды изолятора

|  |
| --- |
| Минимальная/максимальная длина комплекта изоляторов  Комплект подвески  Комплект штыревых изоляторов  Пилотный комплект подвески  Комплект натяжения внутренней гирлянды  Комплект натяжения внешней гирлянды  Комплект для низких нагрузок, с регулировкой или без нее  Количество гирлянд на фазу  Подвеска  Натяжение  Низкая нагрузка  Минимальный зазор от металла под напряжением до стальной опоры или заземленной арматуры  Предполагаемый максимальный угол поворота комплекта подвески (градусы)  Гирлянды подвесного изолятора:  (a) Наклон от 0° до.... градусов от вертикали  (b) Наклон от.... градусов до максимума от вертикали  Гирлянда натяжного изолятора:  (a) Петля перемычки, подвешенной вертикально  (b) Петля перемычки наклонена... градусов от вертикали  Нагруженная гирлянда пилотной подвески :  (a) Предполагаемое начальное отклонение в условиях неподвижного воздуха.... градусов  (b) Максимальное отклонение.... градусов с перемычкой в положении максимального отклонения  По возможности, должен быть предоставлен чертеж комплекта изоляторов с дугогасительными устройствами, регулировкой провисания и деталями крепления опор.  Если используются V-образные гирлянды, следует указать длину гирлянды между креплениями или угол прилегания, а также способность V-образной гирлянды выдерживать сжимающую нагрузку. Если используются штыревые изоляторы, следует указать наклон штыря к горизонтали. |

Таблица L.5 — Пространственное расстояние

|  |
| --- |
| Расположение фазных проводов, вертикальное  Расположение фазных проводов, горизонтальное  Расположение фазных проводов, дельта  Минимальная высота фазных проводов на опорах стандартной высоты  Максимальное отклонение заземляющих проводников от вертикали (градусы)  Минимальное расстояние по вертикали между соседними фазными проводами одной цепи  Минимальное проектируемое горизонтальное расстояние между соседними фазными проводами одной цепи  Минимальное расстояние по вертикали между фазным и заземляющим проводами |

L.3 Крепление фазового провода и заземляющего проводника

Детали крепления фазного провода и изолятора заземляющего проводника к опорным траверсам/корпусу должны быть такими, как указано в Проектной спецификации или согласованы с заказчиком до начала детального проектирования.

L.4 Стальные конструкции фундамента

Детали предлагаемого метода соединения между опорой и фундаментом, например, столбики и кляммеры, анкерные болты или встроенные секции, должны быть такими, как указано в Проектной спецификации или согласованы с заказчиком.

L.5 Объекты монтажа/обслуживания

Предоставление средств для монтажа и последующего технического обслуживания, которые имеют последствия для проекта, должно быть четко указано в Проектной спецификации или в соответствии с 9.12 настоящего стандарта, например:

обеспечение объектов технического обслуживания;

обеспечение объектов навески ;

учет особенностей рельефа местности при монтаже;

обеспечение транспортных возможностей;

обеспечение средств маркировки;

обеспечение требований к заземлению.

L.6 Ограничения по массе и длине

Любые специальные ограничения либо на общую конфигурацию опоры, либо на процесс изготовления, которые имеют последствия для конструкции, должны быть четко указаны в Проектной спецификации, например:

ограничения по габаритной базовой ширине опоры;

ограничения по габаритным размерам панелей;

ограничения по габаритным размерам или массе отдельных элементов;

ограничения на сварку на месте;

ограничения на предлагаемые методы монтажа.

**Приложение М**

(справочное)

Геотехническое и структурное проектирование фундаментов

М.1 Типовые значения геотехнических параметров грунтов и горных пород

М.1.1 Общие положения

Значения геотехнических параметров, приведенные ниже, следует использовать, когда результаты геотехнических исследований недоступны. Они не должны заменять исследование грунта, и указанные значения должны быть подтверждены во время строительства.

Если возникают какие-либо сомнения относительно отнесения данного грунта к одной из категорий, представленных в следующих таблицах, должно быть принято более пессимистическое значение.

В таблице M.1, некоторые из наиболее часто встречающихся грунтов описаны в соответствии с их происхождением и оценены с точки зрения их пригодности в качестве слоя фундамента.

Следующие две таблицы М.2 и М.3 дают для основных категорий связных и несвязных грунтов и горных пород диапазоны значений геотехнических параметров, необходимых для расчетных формул фундамента.

М.1.2 Определения

Классификация почвы по размеру частиц

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Размер частиц в мм | | | | Определение |
|  | d | > | 200 | Валуны |
| 200 | > d | > | 20 | Галька, булыжники |
| 20 | > d | > | 2 | Гравий |
| 2 | > d | > | 0,2 | Песок (крупный) |
| 0,2 | > d | > | 0,06 | Песок (мелкий) |
| 0,06 | > d | > | 0,002 | Ил |
|  | d | < | 0,002 | Глина |

М.1.3 Условные обозначения, определения и единицы измерения некоторых параметров грунта

Почвы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| γ | Плотность веса | кН/м3 |
| γ' | Эффективная плотность веса (под грунтовыми водами) | кН/м3 |
| φ’ | Угол внутреннего трения или сопротивление сдвигу | степень |
| с' | Эффективное сцепление | кН/м3 |
| cu | Недренированное сцепление или недренированная прочность на сдвиг | кН/м3 |
| qu | Неограниченная прочность на сжатие | кН/м3 |

Согласно EN 1997-2:2007 (подпункт 7.8.4 Испытание на неограниченное сжатие), прочность на сдвиг в недренированном состоянии cu может быть определена как половина измеренной прочности на сжатие без ограничения, qu.

Горные породы

Rc : Прочность на раздавливание, МН/м2

Rt : Прочность на растяжение, МН/м2

E : Модуль Юнга МН/м2.

Таблица М.1 — Обычно встречающиеся почвы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Тип почвы | Способ формирования | Описание | Технические характеристики и пригодность в качестве слоя фундамента |
| 1 | Боковая морена, гравийная | Песчано-гравийные отложения ледникового происхождения, отложившиеся на краю ледника. | Песчано-гравийный материал с широким диапазоном размеров частиц. Очень неоднородный | Плотность от средней до высокой, низкая сжимаемость, проницаемость. Очень хороший слой фундамента. |
| 2 | Ледниковый до (несортированный) | Несортированные ледниковые отложения от глины до гравия, обычно в плотном состоянии. Обычно покрывают молассовые слои или коренные породы. | Гравийный материал в илисто-глинистой матрице с широким диапазоном размеров частиц. | Высокая плотность, низкая сжимаемость, непроницаемость. Хороший слой фундамента. |
| 3 | Ледниковые наносы, отсортированные по рекам | Песчано-гравийный слой из моренного аллювия | Песчано-гравийный материал, без крупной гальки, глинистый, с небольшим содержанием ила. | Среднее уплотнение, средняя до высокой сжимаемость, водопроницаемый. Хороший слой фундамента. |
| 4 | Ледниковая глина | Очень мелкозернистый материал из моренных элювий и отложений в озерах. | Разнообразные глины с прослойками ила и мелких песков. Возможно наличие торфа и ила | Низкое уплотнение, пластичность от средней до высокой, сжимаемый, непроницаемый. Плохая почва для фундамента. |
| 5 | Аллювиальная почва | Отложения в поймах и эстуариях. | Чередование илисто-песчаных и щебнистых отложений. Возможно наличие торфа и ила | Переменная плотность и водопроницаемость,  неоднородный грунт. От плохой до хорошей почвы для фундамента. |
| 6 | Валуны | Куча валунов у подножия скалы | Отдельные угловатые обломки породы разного размера. | Низкая плотность, высокая проницаемость. Приемлемо для фундаментов, хотя и неустойчиво. |
| 7 | Переуплотненные грунты | Осадочные почвы подверглись большим пластовым нагрузкам, чем в настоящее время. | Глины  Пески  Илы | Обычно приемлемо для фундаментов. |
| 8 | Мягкие породы (от выветрившихся до не-выветрившихся) | Осадочные грунты и т.п. подвержены большему пластовому давлению, чем Переуплотненные грунты. | Аргиллит (в т.ч. мергель)  Песчаник  Мел | Выветрившиеся породы должны оцениваться от случая к случаю. В остальном, хорошо подходит для фундамента. |

Таблица М.2 — Геотехнические характеристики некоторых стандартных грунтов (определения приведены в М.1.2 и М.1.3)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Грунт | γ  кН/м3 | γ'  кН/м3 | φ’  степень | c'  кН/м3 | cu  кН/м3 |
| мергель, компактный | 20 ± 2 | 11 ± 2 | 25 ± 5 | 30 ± 5 | 60 ± 20 |
| мергель, измененный | 19 ± 2 | 11 ± 2 | 20 ± 5 | 10 ± 5 | 30 ± 10 |
| Гравий, сортированный | 19 ± 2 | 10 ± 2 | 38 ± 5 | - | - |
| [рыхлый песок полуплотный плотный | 18 ± 2  19 ± 2  20 ± 2 | 10 ± 2  11 ± 2  12 ± 2 | 30 ± 5  32 ± 5  35 ± 5 | - | - |
| Песчаный ил | 18 ± 2 | 10 ± 2 | 25 ± 5 | 10 ± 5 | 30 ± 10 |
| Глинистый ил | 19 ± 2 | 11 ± 2 | 20 ± 5 | 20 ±10 | 40 ± 10 |
| Суглинок, Ил, ковкий | 17 ± 2 | 7 ± 2 | 20 ± 5 | - | 20 ± 10 |
| [мягкая глина <| полужесткая [ жёсткая | 17 ± 2  19 ± 2  20 ± 2 | 7 ± 2  9 ± 2  10 ± 2 | 12 ± 5  15 ± 5  20 ± 5 | 6 ± 2 11 ± 3  22 ± 8 | 19 ± 5 37 ± 12  75 ± 25 |
| Валунная глина | 20 ± 2 | 10 ± 2 | 30 ± 5 | 12 ± 7 | 400 ± 350 |
| Глина с органической добавкой | 15 ± 2 | 5 ± 2 | 15 ± 5 | - | - |
| Торф, болотный | 12 ± 2 | 2 ± 2 | - | - | - |
| Обратная засыпка, Насыпь, средней плотности | 19 ± 2 | 10 ± 2 | 25 ± 5 | - | 15 ± 5 |

Таблица М.3 — Механические свойства некоторых обычных горных пород

(Определения приведены в М.1.2 и М.1.3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Обозначение породы | Rc | Rt | Е |
|  | МН/м2 | МН/м2 | МН/м2 |
| Гранит-гнейс-базальт | 100 - 200 | 4 -10 | 20 000 - 70 000 |
| Глина - Сланец | 15 - 100 | 0 - 10 | 7 000 - 50 000 |
| Известняк, компактный | 50 - 100 | 5 - 7 | 30 000 - 60 000 |
| Известняк, мягкий | 10 - 20 | 1 - 3 | 4 000 - 20 000 |
| мергель, не-измененный | 10 -20 | 1 - 2 | 200 - 1 000 |
| Песчаник | 10 - 100 | 1 - 6 | 10 000 - 40 000 |
| Моласса | 2 - 10 | 0,2 - 1 | 1 500 - 5 000 |
| Гипс | 3 - 10 | 0,3 - 1 | 2 000 - 5 000 |
| ПРИМЕЧАНИЕ 1: Коэффициент Пуассона j обычно находится в пределах от 0,25 до 0,35.  ПРИМЕЧАНИЕ 2: Угол внутреннего трения φ’ обычно составляет от 35° до 45° и сильно зависит от степени и направления трещин. | | | |

М.2 Примеры аналитических моделей для расчета сопротивления отрыву

М.2.1 Общие положения

Несущая способность обычно является определяющим расчетным случаем слошных фундаментов.

Аналитические модели, представленные ниже, предназначены для бетонных ступенчатых блочных фундаментов в грунтах (не в горных породах) с подкапыванием (вариант а) или без подкапывания (вариант b), как показано на рисунке М.1.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| S (площадь нижней поверхности)  а - с подкапыванием | S (площадь нижней поверхности)  b - без подкапывания |

Рисунок М.1 — Бетонные ступенчатые блочные фундаменты

Общее сопротивление отрыву таких фундаментов представляет собой сумму двух сопротивлений отрыву.

RW – вес самого фундамента и вес вложенного грунта в объеме S x D (kN):

S – площадь нижней поверхности фундамента (м2);

D – глубина фундамента (м);

RS — сопротивление отрыву (боковое сопротивление) ((кН).

М.2.2 Расчет RW

Вес самого фундамента равен объему бетона Vc (м3), умноженному на плотность веса бетона γc (кН/м3).

Типичные значения плотности веса y c составляют 22 кН/м3 для бетона и 24 кН/м3 для железобетона. Другие значения могут быть указаны в NNA или проектной спецификации.

Значения γ (кН/м3) получены в результате геотехнических исследований в соответствии с EN 1997-2.

Плотность грунта y в многослойном грунте представляет собой средневзвешенное значение плотности отдельных грунтов по всей глубине фундамента.

Вес грунта – это объем грунта, умноженный на средневзвешенное значение плотности грунта. Учитываемый объем грунта Vs определяется по следующей формуле:

Vs = S x D - Vbc

где

Vbc – объем заглубленного бетона (м3).

Далее, RW (в кН) определяется по следующей формуле:

Плотность грунтовой засыпки следует рассматривать как эквивалентную плотности естественного грунта, если он состоит из того же грунта и хорошо уплотнен.

При наличии грунтовых вод, плотность грунта и бетона должна быть уменьшена на плотность воды (10 кН/м3) при наиболее неблагоприятном уровне грунтовых вод.

М.2.3 Расчет RS

Расчет бокового сопротивления RS зависит от типа фундамента.

Случай а : бетонный ступенчатый блочный фундамент с подкапыванием

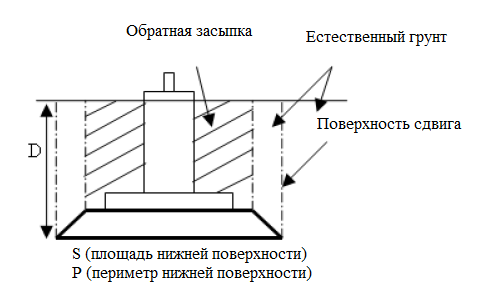


Рисунок М.2 — Бетонные ступенчатые блочные фундаменты с подкапыванием Поверхность сдвига в естественном грунте

Боковое сопротивление обусловлено сопротивлением сдвигу естественного грунта, которое определяется сцеплением c и углом сопротивления сдвигу φ (также называемым углом внутреннего трения) этого грунта.

Значения сцепления с и углов сопротивления сдвигу φ даны, исходя из геотехнических исследований в соответствии с EN 1997-2.

Геотехнические параметры учитывают в многослойном грунте средневзвешенное значение сцепления и средневзвешенное значение углов сопротивления сдвигу, возникающих по всей глубине фундамента.

В случае а, боковое сопротивление RS (в кН) определяется по следующей формуле:

Где

Р - периметр нижней поверхности фундамента (м);

D – глубина фундамента (м);

c – сцепление грунта (кПа);

K0 — коэффициент давления грунта в состоянии покоя, обычно равный 0,5;

Другое значение K0 , найденное в литературе, может быть указано в NNA или Проектной спецификации.

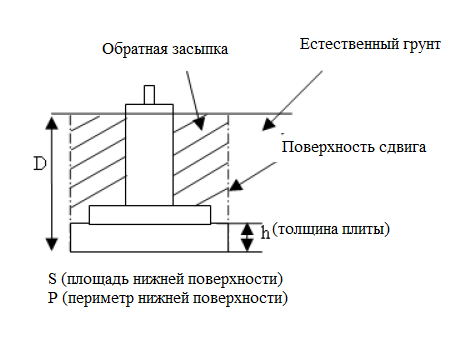
γ - плотность грунта (кН/м3);

φ – угол сопротивления грунта сдвигу.

В случае слоев с разными свойствами по глубине фундамента, учитываются средневзвешенные значения c и γ tan φ.

Случай b : бетонные ступенчатые блочные фундаменты без подкапывания

Поверхность сдвига предполагается вертикальной вдоль границы засыпки с естественным грунтом (см. рисунок М.3).

Рисунок М.3 — Бетонные ступенчатые блочные фундаменты без подкапывания Поверхность сдвига по границе засыпки с естественным грунтом

Боковое сопротивление представляет собой сумму двух составляющих:

• сопротивление сдвигу по границе раздела бетонной плиты с естественным грунтом: Rslab;

• сопротивление сдвигу по границе засыпки с естественным грунтом: Rbackfill.

Значения сцепления с и углов сопротивления сдвигу 4 даны, исходя из геотехнических исследований в соответствии с EN 1997-2.

Для расчета Rslab геотехнических параметров, учитывают в многослойном грунте средневзвешенное значение связей и средневзвешенное значение углов сопротивления сдвигу по толщине плиты, h.

Rslab находится по формуле:

Где

Р - периметр нижней поверхности фундамента (м);

h - толщина плиты (м);

Cs – сцепление грунта вдоль плиты (кПа);

К0 — коэффициент давления грунта в состоянии покоя, обычно равный 0,5;

Другое значение K0 , найденное в литературе, может быть указано в NNA или Проектной спецификации.

γ - плотность грунта, залегающего по всей глубине фундамента (кН/м3);

D – глубина фундамента (м);

φс - угол сопротивления грунта сдвигу вдоль плиты.

В случае слоев с разными свойствами по глубине фундамента, учитываются средневзвешенные значения cs и y tan φs.

Для расчета Rbackfill, геотехническими параметрами обратной засыпки считается в многослойном грунте средневзвешенное значение углов сопротивления сдвигу вдоль глубины фундамента D.

Rbackfill находится по формуле:

где

Р - периметр нижней поверхности фундамента (м);

D – глубина фундамента (м);

h - толщина плиты (м);

Ka – коэффициент активного бокового давления грунта, определяемый по формуле:

Ka = tan2( π/4 – φ/2)

γ - плотность грунта, залегающего по всей глубине фундамента (кН/м 3);

φb - угол сопротивления засыпки сдвигу.

В случае слоев с разными свойствами по глубине фундамента, учитывается средневзвешенное значение γ tan φb.

Угол сопротивления сдвигу обратной засыпки должен рассматриваться как эквивалентный углу сопротивления сдвигу естественного грунта, если он состоит из того же грунта и хорошо уплотнен.

ПРИМЕЧАНИЕ: В обратной засыпке считается, что сцепление пренебрежимо мало.

В случае b, боковое сопротивление RS (в кН) определяется по следующей формуле:

или:

В случае слоев с разными свойствами по глубине фундамента, рассматриваются средневзвешенные значения cs, γ tan φb и γ tan φb.

М.2.4 Аналитическая оценка Rd

Как указано в EN 1997-1:2004, раздел 6 (слошные фундаменты), необходимо учитывать аналитическую оценку краткосрочных и долгосрочных значений Rd, особенно в мелкозернистых грунтах.

Долгосрочная оценка

Геотехническими параметрами, которые следует использовать в этом случае, являются эффективное сцепление с' и эффективный угол сопротивления сдвигу,

Ледовую нагрузку следует рассматривать как создание долговременной силы отрыва на фундаменте.

Подход к проектированию 2 в соответствии с EN 1997-1 (частные коэффициенты, применяемые к сопротивлению) Rd оценивается по формуле:

где

γR — частный коэффициент, применяемый к сопротивлению отрыву фундамента (см. 10.2.2) Подход к проектированию 3 согласно EN 1997-1 (частные коэффициенты, применяемые к свойствам грунта)

Rd вычисляется по формуле:

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Согласно таблице 8.1: γc = γɸ = 1,25 и γy = 1.

Краткосрочная оценка

В этом случае следует использовать такие геотехнические параметры, как кажущееся сцепление cu (недренированное) и кажущийся угол сопротивления сдвигу φu

Ветровую нагрузку следует рассматривать как создание кратковременной силы отрыва на фундамент.

Подход к проектированию 2 в соответствии с EN 1997-1 (частные коэффициенты, применяемые к сопротивлению)

Rd оценивается по формуле:

где

γR — частный коэффициент, применяемый к сопротивлению отрыва фундамента (см. 10.2.2)

Подход к проектированию 3 согласно EN 1997-1 (частные коэффициенты, применяемые к свойствам грунта)

Rd вычисляется по формуле:

ПРИМЕЧАНИЕ 2: Согласно таблице 8.1: γcu = 1,4 и γy = 1.

М.3 Примеры полуэмпирических моделей для оценки сопротивления

М. 3.1 Геотехнический проект расчетным способом

М.3.1.1 Общие положения

Основание фундамента, передающее вертикальные нагрузки на грунт, должно быть заложено на морозостойкую глубину, но не менее 0,8 м ниже уровня земли.

Характерные давления грунта, приведенные в таблице М.4 (несущая способность, PRd на высоте 1,5 м), относятся к глубине не более 1,5 м и ширине основания фундамента более 1 м. При глубине закладки более 1,5 м со всех сторон основания фундамента, расчетное давление грунта может быть увеличено на величину, которая получается из надбавки грунта, связанной с дополнительной глубиной, умноженной на коэффициент k (см. столбец 6 таблицы М.4):

М.3.1.2 Моноблочные фундаменты

Моноблочные фундаменты могут быть спроектированы как со ступеньками, так и без них.

Допущения для проектирования

При проектировании моноблочных фундаментов должны учитываться нагрузки от опоры, а также собственная нагрузка фундамента и вертикальная надбавка от опирания грунта на основание фундамента. Кроме того, может учитываться статическая нагрузка земляной усеченной пирамиды, ограничивающие грани которой начинаются со всех сторон от нижних краев основания фундамента и наклонены под углом В наружу от вертикали. Величина угла В зависит, прежде всего, от угла внутреннего трения, а также от плотности связного грунта, от уплотнения грунта и от сцепления и связи между фундаментным блоком и грунтом (стандартные значения см. в таблице М. 4, столбец 10).

При расчете моноблочных фундаментов, боковое сопротивление грунта может учитываться по уплотнению и характеристикам грунта. Поэтому важно, чтобы грунт не удалялся ни постоянно, ни временно, пока действуют внешние нагрузки.

Условия стабильности

Уклон основания фундамента под действием расчетной нагрузки не должен превышать 1,5 %. Если момент сопротивления из-за бокового давления грунта превышает момент сопротивления из-за давления в основании фундамента, теоретического доказательства устойчивости 1,0 будет достаточно. Уменьшение доли поперечного сопротивления грунта в общей несущей способности фундамента требует постепенного увеличения требования к устойчивости, которое должно достигать 1,2, когда боковое сопротивление грунта падает до нуля. В NNA могут быть указаны другие условия.

Давление грунта должно быть проверено. Если по результатам исследования грунта не получено никаких других значений, расчетное давление грунта может быть взято из таблицы М.4.

Таблица М.4 — Характеристики грунтов для проектирования фундаментов по М.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | | | | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | | | | | 8 | 9 | | 10 |
| Тип грунтов | Удельный вес нагрузки | | | | | Угол  внутреннего трения | Несущая способность  pRd  на глубине  < 1,5 м | | Коэффициент  к | Угол усечения земли | | | | | | | | |
|  |  | | | | |  |  | |  | Po  Тип фундамента в соотвествии с рисунком 8.5.2 | | | | | | | | P |
|  | естественно влажный | | | с плавучестью | |  |  | |  |  | | | | | | | |  |
|  |  | | |  | |  |  | |  | B | | А | | | | S | | Моноблок |
|  | (Характерные значения) | | | | | (Расчетные значения) | | | | | | | | | | | | |
|  | кН/м3 | кН/м3 | | | | Степень | | кН/м3 | - | | Степень | | | | | | | |
| НЕНАРУШЕННЫЙ ГРУНТ |  | |  | | |  | |  |  | |  | |  | | |  |  | |
| Несвязные грунты |  | |  | | |  | |  |  | |
| Песок, сыпучий | 17 | | 9 | | | 30 | | 270 | 4,7 | | \_ | | 18до 21 | | | 16 до 18 | 5 до 10 | |
| Песок, полусыпучий | 18 | | 10 | | | 32,5 | | 405 | 5,4 | | от 38 до 49 | | 20 до 23 | | | 18до 20 | 5 до 10 | |
| Песок, плотный | 19 | | 11 | | | 35 | | 540 | 6,7 | | 41 до53 | | 22до25 | | | 20до22 | 8до 10 | |
| Гравий, валуны, | 17 | | 9 | | | 35 | | 540 | 6,7 | | 41 до53 | | 22до25 | | | 20до22 | 8до 12 | |
| однородный | 18 | | 10 | | | 35 | | 540 | 6,7 | | 41 до53 | | 22до25 | | | 20до22 | 8до 12 | |
| Гравийно-песчаный, сортированный  валуны, камни,  щебень сортированный | 18 | | 10 | | | 35 | | 540 | 8,1 | |  | | 22до25 | | | 20до22 | 8до 12 | |
| Связные грунты |  | |  | | |  | |  |  | |  | | |  | |  |  | |
| очень мягкий | 16 | | 8 | | | 0 | | 0 | 1,3 | | 0 | | 0 | 0 | |
| мягкий (легко сгибается), полностью связанный | 18 | | 9 | | | 15 | | 54 | 2,7 | |  | | | 9до10 | | 6до8 | 4 | |
| мягкий, с не-связующими добавками | 19 | | 10 | | | 17,5 | | 54 | 3,4 | |  | | | 11до13 | | 8до10 | 4 | |
| твердый (тяжело сгибается), полностью связанный | 18 | | 9 | | | 17,5 | | 135 | 3,4 | | с 21 по27 | | | 11до15 | | 8до11 | 6 | |
| твердый, с не-  связующими добавками | 19 | | 10 | | | 22,5 | | 135 | 4,0 | | от 26 до34 | | | 13до17 | | 10до13 | 6 | |
| жесткий, полностью связанный | 18 | | 10 | | | 22,5 | | 270 | 4,0 | | от 26 до  34 | | | 15до23 | | 11до19 | 8 | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| жесткий, с не-связанными  добавками | 19 | 11 | | 25 | | 270 | | 4,7 | | от 29 до38 | | 17до26 | | 13до21 | | 8 |
| жесткий, полностью связанный | 18 |  | | 27,5 | | 540 | | 4,7 | | от 32 до42 | | 23до28 | | 19до23 | | 10 |
| жесткий, с несвязующими добавками | 19 |  | | 30 | | 540 | | 5,4 | | от 35 до46 | | 26до28 | | 21до23 | | 10 |
| Органические грунты  и грунты с органическими  добавками | от 5 до 16 | от 0 до 7 | | 15 | |  | | 1,6 | |  | |  | | 0 | | 0 |
| Камень |  |  | |  | | Независимо от глубины | |  | |  | |  | |  | |  |
| со значительным растрескиванием или неблагоприятным расслоением | 20 |  | |  | | до 1350 | |  | |
| в хорошем, неразделенном  состоянии с небольшим растрескиванием или благоприятным расслоением | 25 |  | |  | | до 4050 | |  | |
| НАСЫПНОЙ ГРУНТ И ЗАСЫПКА | В зависимости от состояния и толщины пластов основания, а также плотности и равномерности их расслоения, могут быть использованы определенные выше значения. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Неуплотненная насыпь | от 12 до 16 | | от 6 до 10 | | от 10 до 25 | | от 40 до 135 | | 2,7 | |  | |  | | 6до13 | 4 до 10 |
| Уплотненная насыпь | Классификация по типу грунта, плотности слоистости и консистенции соответственно | | | | | | | | | | | | | | | |

М.3.1.3 Плитные фундаменты

Допущения при проектировании

Если корпус опоры или столба опирается на фундаментный блок, образованный плитой, при этом боковым ограничением грунта можно пренебречь, необходимо принять во внимание нагрузку опоры, а также статическую нагрузку фундаментного блока и вертикальную надстройку грунта, лежащую на фундаментном блоке.

Надежность против опрокидывания

Доказательство надежности от опрокидывания осуществляется путем ограничения эксцентриситета результирующей суммарной вертикальной нагрузки в нижней части фундамента.

Эксцентриситет результирующей общей вертикальной нагрузки может стать настолько большим, что нижняя часть фундамента все еще будет нагружена давлением вплоть до центра тяжести.

Доказательство считается выполненным, если эксцентриситет результирующей полной вертикальной нагрузки удовлетворяет следующим условиям:

Для прямоугольных подграней (см. рисунок М.4):

где

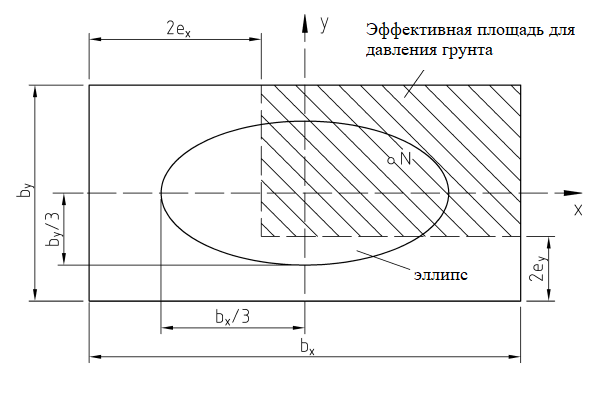


Рисунок М.4 — Допустимая площадь прямоугольного основания фундамента для положения е х , е у силы N, возникающей вследствие полной вертикальной нагрузки

Надежность при нарушении несущей способности грунта

Достаточную надежность в отношении потери несущей способности можно считать доказанной, если теоретическое давление грунта р не превышает расчетную несущую способность.

Если исследования грунта не дают других значений, расчетную несущую способность PRd можно взять из таблицы М.4.

При определении теоретического давления грунта, учитывается только та часть основания фундамента, на которую результирующая суммарная вертикальная нагрузка действует в центре тяжести.

В случае прямоугольных плит шириной bx и by и заданными эксцентриситетами ex и ey, эффективная площадь давления грунта составляет (см. рисунок М.4):

М.3.1.4 Плитные фундаменты ростверкового типа

Если фундамент ростверкового типа спроектирован таким образом, что все опоры связаны одним ростверком из поперечин, то устойчивость можно доказать по описанной выше методике. При этом, допускается учитывать общую площадь ростверка, если промежуточное пространство между поперечинами не превышает 1/3 их ширины.

Уплотнение обратной засыпки должно производиться тщательно.

Элементы опоры, заглубленные в землю и наклоненные более чем на 15° от вертикали, следует считать дополнительно нагруженными опирающимся на них грунтом. Предполагаемая дополнительная нагрузка должна соответствовать, по крайней мере, нагрузке призматического заземляющего массива, в три раза превышающего ширину элемента, и с вертикальными гранями, расположенными вертикально над элементом.

М.3.1.5 Односвайные фундаменты

Если основание столба снабжено коробом фундамента, состоящим из одной опоры или сваи, при расчете фундамента необходимо учитывать нагрузки опоры, статическую нагрузку фундамента, а также боковое закрепление сваи по компактности или жесткости и характеристикам грунта.

Предполагаемые нагрузки передаются на грунт в основном за счет бокового сопротивления грунта. Должны учитываться характеристики грунта, а также смещения сваи в горизонтальном направлении.

Расчет односвайного фундамента может быть выполнен квалифицированным методом.

М.3.1.6 Отдельные ступенчатые блочные фундаменты, грибовидные фундаменты

Допущения для проектирования

По способу установки и работе под нагрузкой, ступенчатые блочные фундаменты (рисунок М.5) классифицируются как:

- Фундамент типа А: нижняя ступень забетонирована до ненарушенного грунта;

- Фундамент типа S: нижняя ступень забетонирована до опалубки.

Если фундаментная плита выступает во все стороны не менее чем на 0,20 м, то в дополнение к постоянной нагрузке фундаментного блока, действующей против силы отрыва, учитывается собственная нагрузка грунта, приложенного углом, усеченного грунта согласно рисунка M.5, могут быть приняты во внимание. Сопротивление, рассчитанное с использованием угла, представляет собой расчетное значение.

Угол можно рассчитать по формуле:

где

— угол усечения земли при b/t=1 по таблице М.4, столбцы 8 и 9;

b — ширина самой нижней ступени (рисунок М.5);

t – глубина усечения земли (рисунок М.5).

В случае фундаментов с круглой нижней поверхностью, диаметр основания должен быть указан вместо ширины. В случае прямоугольной подграни среднее геометрическое

принимается за теоретическую ширину. Это применимо, когда b1/b2 ≤ 1,4, где b1 — большая ширина.

Описанный выше метод применим только к тем ступенчатым бетонным фундаментам, у которых отношение b/t больше 0,6.

Если b/t превышает значение 1, то для расчета следует принять G = G0. Угол усечения земли G не должен превышать 35°.

Как правило, указанное выше значение G0 относится к типам фундаментов A и s для фундаментов шириной от 1,5 м до 5,0 м. В пределах диапазонов, отнесенных к отдельным типам грунтов, нижние значения β0, приведенные в таблице М.4, можно принимать при большей ширине фундаментов, а верхние значения β0 — при малой ширине фундаментов. Значения между ними могут быть линейно интерполированы.

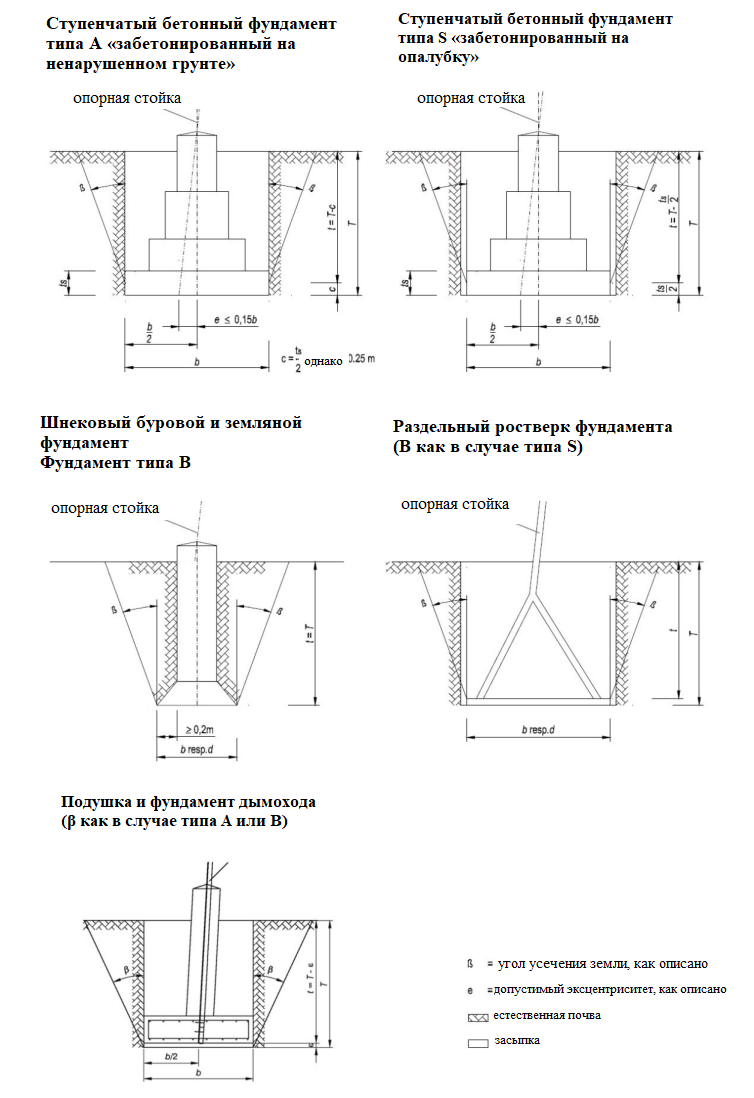


Рисунок М.5 — Допущения по проектированию ступенчатых бетонных фундаментов, шнековых буровых и земляных фундаментов, а также фундаментов с раздельными ростверками

Условия устойчивости при нагружении сжатием

В случае ступенчатых блочных фундаментов, нагруженных сжатием, должно быть доказано, что давления грунта, которые можно считать равномерно распределенными по основанию фундамента, не превышают расчетных давлений грунта по таблице М.4. Статическая нагрузка грунта, лежащего вертикально на основании фундамента, считается надбавкой. Влиянием горизонтальной нагрузки на давление грунта можно пренебречь по сравнению с преобладающим влиянием вертикальной нагрузки.

Условия устойчивости при загрузке подъемом

В случае ступенчатых блочных фундаментов при расчетной подъемной нагрузке частичный коэффициент γR от 1,1 против вытягивания должно быть доказано. Общий запас устойчивости является результатом частного коэффициента и расчетного значения Gd, которое включает дополнительные запасы прочности.

Дополнительные условия

В дополнение к указанной устойчивости должно быть доказано, что выполняется следующее условие:

- для фундамента типа А: G/Z > 0,67;

- Для типа фундамента S: G/Z > 0,80,

где

G — статическая нагрузка фундаментного блока и грунта, опирающегося вертикально на основание фундамента;

Z — вертикальная составляющая подъемной силы, действующей на фундамент.

Предельная способность фундаментов против поднятия в основном определяется плотностью и плотностью окружающего грунта. Могут быть учтены положительные результаты интенсивного искусственного уплотнения окружающего грунта (уплотнение вибрационным процессом или аналогичными методами).

Виртуальная точка проникновения опорного элемента через основание фундамента может отклоняться от центра основания фундамента не более чем на величину e, указанную на рисунке М.5.

М.3.1.7 Шнековые буровые и земляные фундаменты Допущения для проектирования

Фундаменты шнековые буровые и земляные (тип фундамента В по рисунку М.5) представляют собой фундаменты столбчатого типа из железобетона с расширенным основанием. Как правило, они воспринимают не только нагрузки и моменты, действующие в верхней части фундамента в осевом направлении, но и передают нагрузки, возникающие от горизонтальных нагрузок и изгибающих моментов, за счет боковой опоры вала на грунт.

Угол усечения земли, B d , можно определить по формуле:

где

β0 — угол усечения земли при b/t=1 по таблице М.4, столбец 7;

b — ширина фундамента (см. рисунок М.5);

t — глубина фундамента (см. рисунок М.5).

Угол усечения земли не должен превышать 35°.

Характеристики грунта можно взять из таблицы М.4. Как правило, значения , приведенные в таблице М.4, колонка 7, для типа фундамента В относятся к ширине фундамента от 1,2 м до 2,1 м. В пределах диапазонов, указанных для отдельных типов грунта, нижние значения B0 относятся к большей ширине фундамента, а верхние значения β0 - к малой ширине фундамента. Значения между ними могут быть интерполированы линейно.

В случае шнековых буровых и земляных фундаментов, передача горизонтальных нагрузок на основание (боковая опора), а также изгибающая нагрузка должны быть подтверждены общепринятым методом.

Условия устойчивости при нагружении сжатием

В случае фундаментов, нагруженных сжатием, должно быть доказано, что давление грунта, которое можно считать равномерно распределенным в пределах основания фундамента, не превышает расчетных давлений грунта в соответствии с таблицей М.4. При расчете давления грунта можно пренебречь статической нагрузкой короба фундамента, а также статической нагрузкой грунта, опирающегося вертикально на основание фундамента.

Условия устойчивости при загрузке подъемом

В случае фундаментов, нагруженных расчетной подъемной нагрузкой, должен быть доказан частный коэффициент γR, равный 1/1, против выдергивания. Аналитическое доказательство устойчивости может быть выполнено с использованием метода усечения земли. При этом, дополнительно к нагрузке короба фундамента, противодействующей поднятию, может учитываться статическая нагрузка основания грунта, образованная углом усечения В, приложенная к кромке забоя фундамента (см. рисунок М.5).

Дополнительные условия

Формула для определения угла усечения земли Bd действительна для фундаментов с размерами, соответствующими следующим граничным условиям:

Глубина фундамента от 1,8 до 7,0 м

Диаметр бетонной шахты от 0,7 до 1,5 м.

Ширина фундамента от 1,2 до 2,1 м

Выступ основания фундамента > 0,2 м

Отношение ширины фундамента к его глубине 0,25 ≤ b/t ≤ 0,7

Применительно к строительству, отношение проекции основания фундамента к высоте основания фундамента должно быть около 0,5 для связных грунтов и около 0,33 для несвязных грунтов.

М.3.1.8 Фундаменты раздельного ростверка

Проверку устойчивости фундаментов раздельного ростверка можно проводить методом усеченного грунта по М.3.1.6. Угол усечения грунта соответствует углу ступенчатого блочного фундамента, при этом самая нижняя ступень забетонирована до опалубки (тип S, рисунок М.5).

При нагружении расчетной подъемной нагрузкой, частный коэффициент γR = 1,35 против выдергивания должен быть доказан.

При нагружении на сжатие должно быть проведено испытание, предусмотренное для ступенчатых блочных фундаментов (см. М.3.1.6). Допускается учитывать общую площадь подкоса фундамента, если расстояние между отдельными поперечинами не превышает 1/3 ширины поперечен. Уплотнение обратной засыпки должно производиться тщательно.

Для оценки элементов опоры, заглубленных в грунт, см. M.3.1.4.

М.3.1.9 Свайные фундаменты

Как правило, свайные фундаменты должны проектироваться таким образом, чтобы нагрузки от опор передавались на грунт исключительно сваями. Свайные фундаменты должны проектироваться в соответствии с требованиями EN 1997-1:2004, пункт 7.

Значительным горизонтальным составляющим нагрузок может противодействовать конструкция свай, устойчивая к изгибу, в дополнение к набивному расположению свай (гребенчатые сваи, свайные группы).

Сваи фундамента должны быть нагружены в основном в направлении их осей. Должна быть доказана передача нагрузки от конструкции на сваи. По возможности, следует избегать плавающих свайных фундаментов. Они могут быть приняты, если упругие слои на увеличивающихся глубинах постепенно становятся более прочными, т.е. менее сжимаемыми, так что будут происходить меньшая осадка, чем в случае широкого неглубокого фундамента.

В раздельном свайном фундаменте для одной и той же статической функции (например, передачи подъемных или сжимающих усилий) должны применяться сваи, которые по способу установки, расположению и материалам обеспечивают примерно одинаковые характеристики по деформациям и осадке.

Если на протяженной площади, рассредоточенная нагрузка (например, от насыпи) действует на мягкий слой грунта над хорошим несущим грунтом вблизи свайного фундамента, могут возникать горизонтальные перемещения мягкого грунта. Затем сваи будут дополнительно нагружены за счет изгиба.

Внешние нагрузки на сваи возникают в результате нагрузок, действующих на опоры. При оценке свай необходимо учитывать эффекты плавучести и другие эффекты, снижающие устойчивость. В случае фундаментов, нагруженных сжатием, освобождающее действие плавучести можно не учитывать.

Сваи должны быть установлены минимальной длиной 6 м и должны быть заглублены в соответствии с требованиями EN 1997-1:2004, 7.6.2.

Параллельные, а также наклонные сваи должны быть снабжены достаточным расстоянием между их осями, чтобы ни при установке, ни после нагружения на соседние сваи не могли возникнуть неблагоприятные реакции. Это требование выполняется, если расстояние между осями сваи в острие сваи в грунте не менее чем в три раза превышает максимальный размер поперечного сечения сваи.

Прочность сваи зависит от строения грунта и его свойств, грунтово-водного режима, глубины проникновения в несущие слои грунта и их мощности, формы сваи и площади ее поперечного сечения, от материала сваи, от характера окружной поверхности и от конструкции точки сваи, от расположения сваи и расстояния между сваями, а также от способа установки. Кроме того, большое значение имеют мощность и прочность слоев вскрышного грунта. Кроме того, необходимо учитывать эффекты старения, отрицательного поверхностного трения и дополнительной боковой нагрузки.

Там, где поверхностное трение обеспечивает существенную часть общей несущей способности, прочность забивных свай может даже увеличиваться в течение более длительного времени после забивки, особенно в мелкопесчаных, илистых и глинистых грунтах.

Свая на сжатие может быть дополнительно нагружена отрицательным поверхностным трением, если верхние слои грунта осядут. Влияние отрицательного поверхностного трения на конструкцию можно уменьшить за счет подходящей конструкции свай и выбора большего расстояния между сваями. В случае подъемно-нагруженных свай, эффект высвобождения можно не учитывать.

Прочность групп свай может быть определена путем суммирования прочностных характеристик отдельных свай.

Теоретическое определение предельной растягивающей нагрузки сваи может быть выполнено с помощью поверхностного трения. Значения поверхностного трения должны быть рассчитаны для данных грунтовых условий и выбранного типа сваи на основе опыта работы с конкретным типом грунта. В качестве приближения, в случае слоев грунта с различным поверхностным трением, силы трения могут быть определены отдельно для каждого отдельного слоя, а предельная растягивающая нагрузка может быть рассчитана путем суммирования отдельных значений с учетом толщины слоев и последовательности слоев, а также уровня грунтовых вод.

Поскольку для свай следует ожидать большого разброса значений поверхностного трения, теоретическое доказательство устойчивости сваи при расчетной выносной нагрузке должно быть выполнено для частного коэффициента γR от 1,5. При проведении проверки нагрузочными испытаниями по 10.2.4, частный коэффициент γR от 1,1 будет достаточен.

При нормировании свай, нагруженных на сжатие, могут быть приняты во внимание, по крайней мере, те значения поверхностного трения, которые приняты для свай, нагруженных вздыблением, и сопротивления вершины сваи. Должен применяться частный коэффициент γR.

Устойчивость к продольному изгибу отдельно стоящих свай должна быть проанализирована с учетом длины потери устойчивости и условий ограничения. Сваи, заглубленные в грунт, обычно не склонны к короблению даже в очень мягких слоях грунта. Однако для тонких свай, установленных в слоях очень мягкого грунта, может потребоваться учитывать коробление, в зависимости от характерного значения сопротивления недренированному сдвигу окружающего грунта. Если иное не указано в NNA, в качестве ориентира можно использовать сопротивление сдвигу, указанное в EN 1997-1:2004 (7.8 (5)).

М.3.2 Структурное проектирование бетонных фундаментов

Оценка

Оценка и расчет нагрузок и изгибающих моментов, а также установка фундаментных блоков должны выполняться в соответствии с EN 1992-1-1, если в следующих пунктах не указано иное. Бетон, используемый для фундаментов, должен иметь прочность на сжатие не менее C20/25.

При ступенчатых фундаментах из неармированного бетона отношение n высоты ступеней к ширине выступа должно быть не менее 1,0. Свесы с отношением n < 1,4 должны быть усилены и проверены.

Спецификации материалов, используемых при строительстве фундамента, например, бетона и составляющих его материалов, конструкционной и арматурной стали, должны соответствовать EN 1992-1-1, EN 1993-1-1 и/или NNA. Для стальных и анкерных болтов следует учитывать рекомендации, приведенные в 9.2.

Интерфейс между опорой и фундаментом

Детали предлагаемого метода сопряжения между опорой и фундаментом должны быть указаны в NNA и/или в Проектной спецификации.

Следует уделить должное внимание конструкции интерфейса, на который влияет усталость.

Заделка стальных элементов в бетон с помощью анкерных элементов

Если общая растягивающая или сжимающая нагрузка стальных элементов, закрепленных в бетоне, передается на бетон с помощью анкерных скоб, анкерных пластин, проушин и т.п., то должно быть доказано, что сжимающие напряжения между анкерными элементами и бетоном не превышают значений, приведенных в таблице М.5, а касательные напряжения в контурной поверхности анкерных элементов не превышают значений, указанных в таблице М.5. Если эти значения превышаются, должна быть подтверждена стойкость к раскалывающим растягивающим усилиям.

За поверхность контура принимают минимальную огибающую анкерных элементов.

Заделка стальных элементов без анкерных элементов не допускается.

Стальные элементы в бетоне должны быть спроектированы в соответствии с EN 1993-1-1. Напряжение изгиба сварных швов анкерных скоб и анкерных пластин проверять не требуется.

Таблица М.5 — Расчетные значения напряжения сдвига и сжатия при анкеровке стальных элементов в бетоне

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Класс качества бетона по прочности | Касательное напряжение МН/м2 | Напряжение сжатия МН/м2 |
| С 20/25 | 2,3 | 14,0 |
| С 25/30 | 2,7 | 17,5 |
| С 30/37 | 3,0 | 21,0 |

**Приложение N**

(справочное)

Провода и воздушные заземляющие проводники

N.1 Спецификация проводов и заземляющих проводников

N.1.1 Факторы, влияющие на характеристики проводов и заземляющих проводников

Провода и заземляющие проводники для использования при строительстве воздушной ЛЭП спроектированы так, чтобы соответствовать применимым механическим и электрическим характеристикам, определенным проектными параметрами линии. Дополнительные факторы, связанные с эксплуатацией, техническим обслуживанием и воздействием на окружающую среду, возможно, потребуется учитывать при определении требований к проводам и заземляющим проводникам, используемым при строительстве линии.

N.1.2 Эксплуатационные факторы

Типичными факторами, влияющими на это, являются:

целевая надежность системы и время восстановления линии для различных категорий вынужденных отключений;

текущие несущие способности (постоянные и кратковременные);

ограничения на электрические потери (I2R и корона);

внутренние и внешние зазоры;

ограничения на электрические характеристики линии (последовательные реактивные сопротивления, шунтирующие сопротивления и т.д.);

требуемый срок службы.

N.1.3 Требования к техническому обслуживанию

Важным требованием является:

доступ вдоль проводов к арматуре внутри пролета (например, прокладкам и указателям видимости).

N.1.4 Параметры окружающей среды

Типичные задействованные параметры:

ветровые и/или ледовые нагрузки, влияющие на выбор прочности, провисание провода, вибрацию и "пляску" проводов;

загрязнение, влияющее на защиту от коррозии;

молния - влияет на характеристики заземляющего проводника и провода;

ограничения на радиопомехи (и другие);

ограничения акустического шума;

маркировка видимости для птиц и самолетов

эстетические аспекты (например, отделка поверхности проводов);

электрические и магнитные поля;

смазка для проводов (например, температура каплепадения и химический состав);

максимальная и минимальная температура окружающей среды.

N.2 Выбор проводов и заземляющих проводников

В дополнение к заданным характеристикам на основе расчетных параметров воздушной ЛЭП и факторов, подробно описанных в N.1, следует также учитывать выбор проводов для конкретных применений.

Это соображение может включать:

тип провода - круглый провод, сегментный, многожильный или другие конструкции;

тип жгута - одножильный, двухжильный, трехжильный, четырехжильный и т.д.;

материал провода, примерами которого являются:

цельноалюминиевый провод (AL1);

алюминиевый провод, армированный алюминиевым сплавом (AL1/ALx);

алюминиевый провод, армированный сталью (AL1/STyz);

алюминиевый провод, плакированный сталью, армированный алюминием (AL1/SAyz);

стальной армированный провод из алюминиевого сплава (ALx/STyz);

провод из алюминиевого сплава, армированный сталью, плакированный алюминием (ALx/SAyz);

провод из алюминиевого сплава (ALx);

стальной плакированный алюминием провод (20SA);

медь/медный сплав;

сталь;

размеры провода и жгута;

текущие несущие способности;

тип и состав смазки;

отделка поверхности (включая покраску);

проводимость;

поведение при напряжении /деформации;

предел прочности при растяжении (включая снижение температуры и времени);

ползучесть;

требования к оптическим волокнам (включая защиту);

защита от коррозии;

вибрационные характеристики (самозатухание, вертикальная и вращательная жесткость, масса/длина и т.д.);

максимальная рабочая температура (непрерывная, кратковременная и при коротком замыкании);

допустимые нагрузки на опоры воздушных ЛЭП.

N.3 Упаковка и доставка проводов и заземляющих проводников

Провода должны быть упакованы и доставлены на место на подходящих барабанах, длина которых предварительно согласована между покупателем и поставщиком; износостойкость деревянных барабанов должна быть указана в Проектной спецификации. Барабаны должны обеспечивать достаточную защиту проводов. Должны быть приняты соответствующие меры для возврата или утилизации пустых барабанов.

N.4 Меры предосторожности при монтаже проводов и заземляющих проводников

Во время установки с проводами следует обращаться осторожно, чтобы свести к минимуму повреждение их поверхности. В частности, должны быть приняты меры предосторожности, чтобы избежать абразивного контакта с землей или другими поверхностями.

**Приложение Р**

(справочное)

Испытания изоляторов и комплектов изоляторов

Таблица P.1 — Справочный перечень испытаний изоляторов воздушных ЛЭП и комплектов изоляторов из фарфоровых и стеклянных изоляционных материалов (1 из 2)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Блоки гирляндных изоляторов | | Комплекты изоляторов | Изоляторы линейно-штыревые | Изоляторы штыревого типа | Изоляторы с оттяжками |
|  | Длинно-стержневые (тип А) | Шарнирные (тип B) |  |  |  |  |
| Стандартные испытания: |  |  |  |  |  |  |
| Верификация размеров | X | X | X | X | X | X |
| Испытание выдерживаемым напряжением промышленной частоты во влажном состоянии | Ха | Ха | Xf | X | X | X |
| Испытание на выдерживаемое импульсное напряжение сухого освещения |  | Ха | X | X | X | - |
| Импульс мокрого переключения  Испытание на выдерживаемое напряжение | - | - |  | - | - | - |
| Испытание тепломеханических характеристик | X | X | - | - | - | - |
| Механические или электрические­ испытания на механическую разрушающую нагрузку | X | X | - | X | X | X |
| Необязательный типовой тест: |  |  |  |  |  |  |
| RIV испытание | - | X | X | X | X | - |
| Испытание на загрязнение | - | - | Хb | X | X | - |
| Испытание силовой дуги | - | - | X | X | X | - |
| Испытание на пробой импульсным  напряжением | - | X | - | Хе | X | - |
| Испытание цинковой оплетки | - | Хс | - | - | - | - |
| Испытание на остаточную прочность | - | X | - | - | - | - |
| Выборочные испытания: |  |  |  |  |  |  |
| Верификация размеров | X | X | - | X | X | X |
| Верификация системы блокировки и перемещений | X | X | - | - | - | - |
| Испытание температурным циклом (только фарфоровые изоляторы и изоляторы из отожженного стекла) | X | X | - | X | X | X |

Таблица P.1 — Справочный перечень испытаний изоляторов воздушной ЛЭП и наборов изоляторов из фарфоровых и стеклянных изоляционных материалов (2 из 2)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Блоки гирляндных изоляторов | | Комплек-ты изоля-торов | Изоляторы линейно-штыревые | Изоляторы штыревого типа | Изоляторы с оттяжками |
| Длинно-стержневые (тип А) | Шарнирные (тип B) |  |  |  |  |
| Выборочное испытание (продолжение): |  |  |  |  |  |  |
| Механические или электрические испытания на механическую разрушающую нагрузку | X | X | - | X | X | X |
| Испытание на тепловой удар (только для изоляторов из закаленного стекла) | - | X | - | X | X | - |
| Испытание на стойкость к пробивному напряжением | - | X | - | Хе | X | - |
| Испытание на пористость (только для фарфоровых изоляторов) | X | X | - | X | X | X |
| Гальваническое испытание | X | X | - | X | - | - |
| Дополнительные выборочные испытания: |  |  |  |  |  |  |
| Испытание на пробой импульсным напряжением | - | X | - | - | X | - |
| Испытание цинковой оплетки | - | Хс | - | - | - | - |
| Стандартные испытания: |  |  |  |  |  |  |
| Визуальный осмотр | X | X | - | X | X | X |
| Механическое испытание | X | X | - | X  (h >300 мм) | - | - |
| Электрическое испытание | - | Xd | - | - | Xd | - |
| Опциональное стандартное испытание: |  |  |  |  |  |  |
| Ультразвуковое исследование | X | - | - | - | - | - |
| a Испытание проводят на одной короткой стандартной гирлянде или на одном длинном стержневом изоляторе.  b Испытания на загрязнение обычно проводятся на гирляндах изоляторов без арматуры.  c Испытание обычно не требуется для систем с номинальным напряжением < 45 кВ переменного тока.  d Применимо к изоляторам из керамического материала (см. EN 60383-1).  e Применимо к изоляторам линейно-штыревых опор, которые не являются устойчивыми к пробоям.  f Испытание комплектов изоляторов для систем с Us ≤ 245 кВ.  g Испытание комплектов изоляторов для систем с Us > 245 кВ. | | | | | | |

**Приложение Q**

(справочное)

Изоляторы

Q.1 Спецификация изоляторов

Q.1.1 Факторы, влияющие на характеристики изоляторов

Изоляторы и комплекты изоляторов, используемые при строительстве воздушной ЛЭП, проектируются с учетом соответствующих электрических и механических характеристик, определенных расчетными параметрами линии. Дополнительные факторы, связанные с эксплуатацией, техническим обслуживанием и воздействием на окружающую среду, возможно, потребуется учитывать при определении требований к изоляторам и комплектам изоляторов для использования при строительстве линии.

Q.1.2 Эксплуатационные факторы

Типичными факторами, влияющими на это, являются:

• целевая надежность системы и время восстановления линии для различных категорий вынужденных отключений;

• требуемый срок службы для каждого компонента;

• номинальное напряжение сети;

• временные перенапряжения;

• координация изоляции и политика коммутации линий;

• электрические зазоры.

Q.1.3 Требования к техническому обслуживанию

Типичные требования:

рабочие практики – линия под напряжением ("горячая" линия) или обесточенная линия;

доступ к проводам через изоляторы (не относится к линиям с номинальным напряжением сети более 1 кВ переменного тока, но не более 45 кВ переменного тока);

характеристики поврежденных изоляторов, т.е. остаточная прочность;

положения по креплению ремонтного оборудования, как на подвесных, так и на натяжных комплектах (не относится к линиям с номинальным напряжением сети более 1 кВ переменного тока, но не более 45 кВ переменного тока).

Q.1.4 Параметры окружающей среды

Типичные задействованные параметры:

высота над уровнем моря и ее влияние на характеристики изолятора;

уровень и тип загрязнения;

ограничения по уровню акустического шума или напряжению радиопомех (не распространяется на линии с номинальным напряжением сети более 1 кВ переменного тока, но не более 45 кВ переменного тока);

молния (уровень плотности вспышки молнии [грозовой активности]) и степень защиты системы от ее воздействия;

максимальная и минимальная температура окружающей среды;

эстетический аспект, например, цвет изоляторов;

вандализм.

Q.2 Выбор изоляторов

В дополнение к электрическим и механическим характеристикам, указанным на основе параметров конструкции воздушной ЛЭП, и факторов, подробно описанных в Q.1, следует также учитывать выбор изоляторов для конкретных применений. Это соображение может включать:

изоляторы из керамического материала или стекла, например, гирляндные изоляторы шарнирного типа, длинностержневого типа, линейно-штыревые изоляторы, штыревые изоляторы и изоляторы с оттяжками;

составные изоляторы;

размеры, включая длину гирлянд или комплектов, расстояние между отдельными узлами, диаметр, расстояние утечки, профиль ребра и соединительное или фиксирующее устройство;

выдерживаемые напряжения;

защита от коррозии, например, оцинковка металлических частей, цинковые оплетки на шарнирных узлах (как правило, для линий с номинальным напряжением сети более 45 кВ переменного тока), смазка соединений;

вес изоляционных блоков, гирлянд и комплектов.

Q.3 Упаковка и доставка изоляторов

Изоляторы должны быть упакованы таким образом, чтобы обеспечить безопасную доставку на площадку. Размер и вес отдельных упаковок должны соответствовать удобству обращения на месте и во время строительства линии, например, для удовлетворения требований покупателя.

Размер и вес базовых пакетов поставки должны соответствовать требованиям к средствам доставки и ограничениям по механическому обращению.

Конструкция ящиков должна обеспечивать надлежащую защиту и поддержку изолятора(-ов) и должна, насколько это возможно, предотвращать повреждение от удара или толчков в условиях, обычно возникающих при транспортировке и погрузочно-разгрузочных работах на месте.

Упаковка должна соответствовать всем требованиям по утилизации упаковочных материалов.

Q.4 Меры предосторожности при установке изоляторов

Во время монтажа, с изоляторами следует обращаться осторожно, чтобы не повредить их. В некоторых случаях целесообразно использование механического подъемного оборудования. Независимо от того, поднимаются ли изоляторы вручную или механически, необходимо уделять должное внимание соображениям безопасности для соответствующего персонала.

При подъеме более длинных гирлянд или комплектов изоляторов, рекомендуется использовать люльку или другое устройство, чтобы свести к минимуму изгибающие нагрузки и исключить любой риск перекоса соединений блоков гирляндных изоляторов или повреждения составных изоляторов.

Изоляторы с полужесткими соединениями (например, вилкой, язычком или проушиной) могут быть повреждены при воздействии высоких скручивающих нагрузок. Поэтому во время операций при сматывании проводов может потребоваться подходящая система для снятия напряжений.

**Приложение R**

(справочное)

Оборудование

R. 1 Спецификация и подбор арматуры

R.1.1 Факторы, влияющие на спецификацию и выбор

Арматура для использования при строительстве воздушной ЛЭП спроектирована с учетом соответствующих механических и электрических характеристик, определяемых расчетными параметрами линии. Дополнительные факторы, связанные с эксплуатацией, техническим обслуживанием и воздействием на окружающую среду, возможно, потребуется учитывать при определении требований к арматуре и при выборе конкретных конструкций для использования при строительстве линии.

R.1.2 Эксплуатационные факторы

Типичными факторами, влияющими на это, являются:

целевая надежность, защита и безопасность системы, а также время восстановления линии для различных категорий вынужденных отключений;

требуемый срок службы для каждого компонента;

диапазон рабочего напряжения;

текущие несущие способности;

защита от короткого замыкания;

ограничения на электрические потери;

ограничение напряжения за счет подходящей конструкции муфты.

R.1.3 Требования к техническому обслуживанию

Типичные требования:

рабочие практики – линия под напряжением ("горячая" линия) или обесточенная линия;

доступ к проводам через изоляторы и арматуру;

приспособления для крепления оборудования для технического обслуживания как на подвесных, так и на натяжных комплектах;

доступ вдоль проводов к арматуре в пролете (например, прокладкам и указателям видимости).

R.1.4 Параметры окружающей среды

Типичные задействованные параметры:

характеристики ветра для вибрационных характеристик;

ограничения по уровню акустического шума или напряжению радиопомех;

вандализм;

маркировка видимости для птиц и самолетов;

диапазон температур окружающей среды, а также максимальные и минимальные температуры;

загрязнение атмосферы, влияющее на защиту от коррозии;

ветровые/ледовые нагрузки, влияющие на выбор прочности.

R.2 Упаковка и доставка арматуры

Арматура должна быть упакована таким образом, чтобы обеспечить безопасную доставку на площадку. Размер и вес отдельных упаковок должны соответствовать удобству обращения с ними на месте.

Размер и вес базовых пакетов поставки должны соответствовать требованиям к средствам доставки и ограничениям по механическому обращению.

Упаковка должна соответствовать всем требованиям по утилизации упаковочных материалов.

R.3 Меры предосторожности при установке арматуры

Во время установки, необходимо обращаться с арматурой с достаточной осторожностью, чтобы не повредить ее. В некоторых случаях целесообразно использование механического подъемного оборудования. Независимо от того, поднимается ли арматура вручную или механически, необходимо уделять должное внимание соображениям безопасности для соответствующего персонала.