

МИНИСТЕРСТВО АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ,
СООРУЖЕНИЙ И
ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ**

**МАЛАНКААХОВА БУДЫНКАЎ,
ЗБУДАВАННЯЎ І ІНЖЫНЕРНЫХ
КАМУНІКАЦЫЙ**

Издание официальное

Минск 2020

УДК

МКС 91.040.99, 91.040.20

Ключевые слова: молния, удар молнии, потенциал молнии, ущерб, физическое повреждение, молниезащита, меры молниезащиты, система молниезащиты, молниеприемник, токоотвод, заземлитель, система заземления, здания, сооружения, коммуникации, изделия молниезащиты, уровень молниезащиты, зона защиты

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»).

Авторский коллектив:

ВНЕСЕНЫ главным управлением градостроительства, проектной, научно-технической и инновационной политики Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

В Национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства настоящие строительные нормы входят в блок 2.02 «Пожарная безопасность»

3 Настоящие строительные нормы взаимосвязаны с техническим регламентом ТР 2009/013/ВУ «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность» и реализуют его общие технические требования

4 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ (взамен ТКП 336–2011 (02230))

© Минстройархитектуры, 2020

Настоящие строительные нормы не могут быть воспроизведены, тиражированы и распространены в качестве официального издания без разрешения Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

Изданы на русском языке

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	II
1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.....	5
2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	5
3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
3.1 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	6
3.2 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОРАЖЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЛНИЙ.....	7
3.3 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РИСКИ.....	9
3.4 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ЖИЗНИ	10
3.5 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ВНУТРИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	11
4 ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	12
5. МОЛНИЯ И ЕЕ ПАРАМЕТРЫ	13
6 УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ	14
6.1 РИСК И ЭЛЕМЕНТЫ РИСКА.....	14
6.2 ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОЛНИЕЗАЩИТОЙ, ВЫБОР МЕР МОЛНИЕЗАЩИТЫ.....	15
7. ЗАЩИТА ОТ ПРЯМОГО УДАРА МОЛНИИ	18
7.1 ВНЕШНЯЯ СИСТЕМА МОЛНИЕЗАЩИТЫ.....	18
7.2 МОЛНИЕПРИЕМНИКИ	19
7.3 ТОКООТВОДЫ	22
7.4 СИСТЕМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ	24
7.5 ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИЯ ВНЕШНЕЙ СИСТЕМЫ МОЛНИЕЗАЩИТЫ	28
7.6 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ПРОВЕРКА СИСТЕМЫ МОЛНИЕЗАЩИТЫ	29
7.7 МЕРЫ УРАВНИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ МОЛНИИ.....	30
7.8 МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ВСЛЕДСТВИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ И ШАГОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ.....	31
8 ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЛНИИ	32
8.1 МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЛНИИ.....	32
8.2 ЗАЗЕМЛЕНИЕ И УРАВНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ.....	33
8.3 МАГНИТНОЕ ЭКРАНИРОВАНИЕ И ПРОКЛАДКА ЛИНИЙ.....	36
8.4 СКООРДИНИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ	37
9 УПРАВЛЕНИЕ ЗАЩИТОЙ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЛНИИ	38
10 МОЛНИЕЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	38
10.1 ПОСТРОЕНИЕ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ	38
10.2 ЗАЩИТА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ, МАГИСТРАЛЬНОЙ И ВНУТРИЗОНОВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ	43

10.3 МОЛНИЕЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ (ВЛ) НАПРЯЖЕНИЕМ 110–750 КВ ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ.....	43
10.3.1 ЗАЩИТА ВЛ 110-750 КВ.....	43
10.3.2 ЗАЩИТА ВЛЗ 110 КВ.....	46
10.4 МОЛНИЕЗАЩИТА ВЛ 6–35 КВ.....	46
10.4.1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ	46
10.4.2 ЗАЩИТА ВЛП 6-10 КВ	49
10.4.3 ЗАЩИТА ВЛЗ 35 КВ.....	49
ЗАЩИТА ВЛ 0,38 КВ	50
10.5 ЗАЩИТА ОРУ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ 6–750 КВ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ.....	51
10.5.1 ВЫБОР СИСТЕМЫ МОЛНИЕОТВОДОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РУ И ПС ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ. ЗОНЫ ЗАЩИТЫ МОЛНИЕОТВОДОВ	51
10.5.2 СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ ОРУ ПС	52
10.5.3 ЗАЩИТА ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ ЗРУ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ПС ..	54
10.6.1 ЗАЩИТА ОРУ И ПС.....	55
10.7 МОЛНИЕЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.....	57
10.8 МОЛНИЕЗАЩИТНЫЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ 0,4 КВ	57
10.9 ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК 35–750 КВ	58
10.10 ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10 КВ	70
10.11 ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ (РЗА, ТМ, СВЯЗЬ)	74
ПРИЛОЖЕНИЕ А	76
ПРИЛОЖЕНИЕ В	82
ПРИЛОЖЕНИЕ С	87
ПРИЛОЖЕНИЕ D	91
Библиография	95

СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

МАЛАНКААХОЎВАННЕ БУДЫНКАЎ, ЗБУДАВАННЯЎ І ІНЖЕНЕРНЫХ КАМУНІКАЦЫЙ

LIGHTNING PROTECTION OF BUILDINGS, CONSTRUCTIONS AND ENGINEERING
AQUIPMENT

Дата введения _____

1. Область применения

Настоящие строительные нормы регламентируют требования к устройствам молниезащиты при проектировании, реконструкции, ремонте зданий (сооружений) различного назначения и подводимых к ним инженерных коммуникаций.

Настоящие строительные нормы применяются при:

- а) проектировании, установке, проверке и техническом обслуживании систем молниезащиты (СМЗ) для зданий (сооружений) без ограничения высоты;
- б) проектировании СМЗ находящихся внутри зданий установок, приборов, оборудования;
- в) установлении мер защиты от поражения людей электрическим током из-за напряжения прикосновения и шагового напряжения;
- г) при проектировании СМЗ электрических станций, подстанций и воздушных линий электропередач.

Настоящие строительные нормы не устанавливает требования обеспечению защиты от выхода из строя электрических и электронных систем по причине внутренних перенапряжений. Специальные требования для таких случаев приведены в [4].

Область применения настоящих строительных норм не охватывает:

- железнодорожную сеть;
- транспортные средства, морские суда, самолеты, прибрежные сооружения;
- подземные напорные трубопроводы высокого давления;
- магистральные линии связи и линии телесвязи, не связанные с конструкцией зданий (сооружений).

2 Нормативные ссылки

В настоящих строительных нормах использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты (далее — ТНПА) в области технического нормирования и стандартизации:

ТКП 181–2009 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей

СТБ 1900–2008 Строительство. Основные термины и определения

ГОСТ IEC 61000-4-8-2006 «Электромагнитная совместимость. Часть 4-8. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты»

IEC 62305–1–2006 Protection against lightning Part 1: General principles (Защита от атмосферного электричества. Часть 1. Общие принципы)

IEC 62305–2–2006 Protection against lightning – Part 2: Risk management (Защита от атмосферного электричества. Часть 2. Управление риском)

IEC 62305–3–2006 Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard (Защита от атмосферного электричества. Часть 3. Физические повреждения конструкций и опасность)

IEC 62305–4–2006/2010 Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures (Защита от атмосферного электричества. Часть 4. Электрические и электронные системы внутри конструкций)

IEC 60079–10–1:2008 Explosive atmospheres - Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres (Среды взрывоопасные. Часть 10–1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды)

IEC 60079–10–2:2009 Explosive atmospheres - Part 10-2: Classification of areas - Combustible dust atmospheres (Среды взрывоопасные. Часть 10–2. Классификация зон. Взрывоопасные пыльные среды)

ГОСТ 12.1.038–82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

ГОСТ 1516.3-96 Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции

ГОСТ 30331.1-2013 (IEC 60364-1:2005) «Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения».

Примечание — При пользовании настоящими строительными нормами целесообразно проверить действие ТНПА.

Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящими строительными нормами следует руководствоваться действующими взамен ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3. Термины и определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящих строительных нормах применяют термины, установленные в СТБ 1900, ГОСТ 30331.1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 виртуальная нулевая точка короткого импульса тока O_1 : Точка пересечения с осью времени прямой линии, проходящей через расположенные на фронте импульса тока исходные точки 10 % и 90 % (рисунок 3.1); она на $0,1 T_1$ предшествует моменту времени, при котором мгновенное значение тока достигает 10 % от своего пикового значения.

3.1.2 восходящая молния: Удар молнии, инициированный лидером, направленным от заземленного здания к облаку. Восходящая молния состоит из первого длительного импульса тока, как с наложением, так и без наложения на него многократных коротких импульсов тока. Первый импульс тока и последующие короткие импульсы тока могут сопровождаться длительными импульсами тока.

3.1.3 время полуспада короткого импульса тока T_2 : Виртуальный параметр, определенный как временной интервал между виртуальной нулевой точкой O_1 и моментом времени, при котором мгновенное значение импульса спадает до 50 % максимального пикового значения (рисунок 3.1).

3.1.4 длительный импульс тока: Составляющая тока молнии, которая представляет собой непрерывный ток. Продолжительность $T_{\text{длит}}$ этого непрерывного тока (интервал времени, в течение которого мгновенное значение импульса превышает 10 % от его максимального пикового значения) имеет типичное значение от 2 мс до 1 с (рисунок 3.2).

3.1.5 длительность молнии T : Время, в течение которого ток молнии достигает точки поражения.

3.1.6 длительность фронта короткого импульса тока T_1 : Виртуальный параметр, в 1,25 раза превышающий интервал времени, в течение которого мгновенное значение импульса нарастает от 10 % до 90 % его максимального пикового значения (рисунок 3.1)

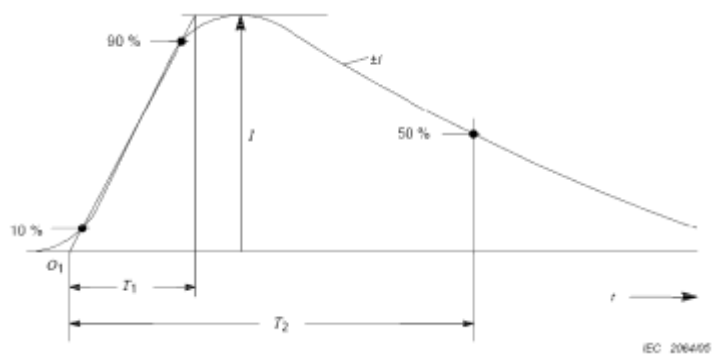
3.1.7 заряд длительного импульса тока $Q_{\text{длит}}$: Интеграл по времени тока молнии при длительном импульсе тока.

3.1.8 заряд короткого импульса тока $Q_{\text{имп}}$: Интеграл по времени тока молнии при коротком импульсе тока.

3.1.9 заряд молнии $Q_{\text{полн}}$: Интеграл по времени тока молнии для полной продолжительности удара молнии.

3.1.10 короткий импульс тока: Составляющая тока молнии, которая представляет собой импульсный ток. Этот импульс тока характеризуется временем полуспада T_2 , типичное значение которого менее 2 мс (рисунок 3.1).

3.1.11 многократные импульсы тока: Удар молнии, состоящей в среднем из трех–четырёх импульсов тока с типичным интервалом времени между ними, равным приблизительно 50 мс. Имеются сведения о случаях, когда имело место несколько десятков импульсов тока с интервалами между ними в пределах от 10 до 250 мс.



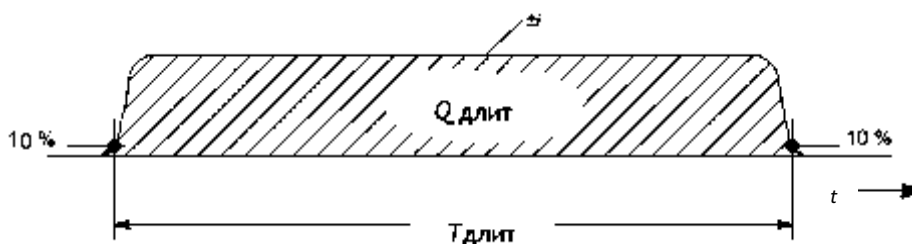
O_1 — виртуальный источник; I — пиковый ток;

T_1 — время нарастания импульса; T_2 — время до половины значения
(обычно $T_2 < 2$ мс)

Рисунок 3.1 – Обозначения параметров короткого удара

3.1.12 нисходящая молния: Удар молнии, инициированный лидером, направленным от облака к земле. Нисходящая молния состоит из первого короткого импульса тока, за которым следует несколько последующих коротких импульсов тока. Первый импульс тока и последующие короткие импульсы тока могут сопровождаться длительными импульсами тока.

3.1.13 пиковое значение: Максимальное значение тока молнии.



$T_{\text{длит}}$ — длительность удара; $Q_{\text{длит}}$ — заряд длительного удара

(обычно $2 \text{ мс} < T_{\text{длит}} < 1 \text{ с}$)

Рисунок 3.2 – Обозначения параметров длительного удара

3.1.14 продолжительность длительного импульса тока $T_{\text{длит}}$: Интервал времени, в течение которого мгновенное значение импульса превышает 10 % от максимального пикового значения непрерывного тока (рисунок 3.2).

3.1.15 разряд молнии: Единичный электрический разряд при ударе молнии в землю.

3.1.16 средняя крутизна фронта короткого импульса тока: Среднее отношение изменений тока в пределах временного интервала $t_2 - t_1$. Выражается как частное от деления разницы $i(t_2) - i(t_1)$ значений тока в начале и в конце временного интервала $t_2 - t_1$ на величину этого интервала (рисунок 3.1).

3.1.17 ток молнии: Ток, протекающий в точке поражения.

3.1.18 точка поражения: Точка, в которой молния соприкасается с землей или возвышающимся объектом (например, зданием, ограничителем перенапряжения, системой энергоснабжения, деревом и т.д.). Удар молнии может иметь несколько точек поражения.

3.1.19 удар молнии в землю: Электрический разряд атмосферного происхождения между облаком и землей, состоящий из одного или нескольких импульсов тока.

3.1.20 удельная энергия W/R : Интеграл по времени площади тока молнии для полной продолжительности разряда молнии. Он представляет энергию, выделяемую током молнии, на единицу сопротивления.

3.1.21 удельная энергия короткого импульса тока: Интеграл по времени площади тока молнии для полной продолжительности короткого импульса тока.

3.2 Термины, определяющие поражение в результате воздействия молний

3.2.1 внешние проводящие части: Выступающие металлические элементы, входящие или выходящие из защищаемого здания, например, сеть трубопроводов, металлические элементы кабелей, металлические трубы и т.д., по которым может протекать часть тока молнии.

3.2.2 внешняя система молниезащиты: Часть системы молниезащиты, состоящая из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

3.2.3 внутренние системы: Электрические и электронные системы, находящиеся внутри зданий.

3.2.4 внутренняя система молниезащиты: Часть системы молниезащиты, состоящая из системы уравнивания потенциалов молнии и/или устройств защиты от импульсного перенапряжения.

3.2.5 допустимый риск R_t : Максимальное значение риска, которое может быть установлено в отношении защищаемого объекта.

3.2.6 заземлитель: Часть внешней системы молниезащиты, которая предназначена для отвода тока молнии в землю и его растекания в земле.

3.2.7 защищаемая система энергоснабжения: Система энергоснабжения, соединенная со зданием, защита которого от воздействий молнии предусмотрена в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

3.2.8 защищаемое здание: Здание, защита которого от воздействий молнии предусмотрена в соответствии с требованиями настоящих строительных норм. Защищаемое здание может быть частью более крупного сооружения.

3.2.9 защищаемый объект: Здание или система энергоснабжения, которые должны быть защищены от воздействий молнии.

3.2.10 зона молниезащиты; ЗМЗ: Пространство, в котором определена электромагнитная среда. Границы между зонами молниезащиты не всегда являются физическими границами (например, стены, пол и потолок).

3.2.11 импульсное перенапряжение: Набегающая волна, вызываемая электромагнитными импульсами от разрядов молнии, и представляющая собой бросок напряжения. Импульсные перенапряжения, вызываемые электромагнитными импульсами от разрядов молнии, могут обуславливаться током (его составляющими) молнии, индукционным эффектом в контурах оборудования и остаточным опасным напряжением в цепях с ограничителями перенапряжения.

3.2.12 индуктированные (наведенные) перенапряжения: Перенапряжения, наведенные током молнии при ударе молнии в землю или другие объекты вблизи защищаемого объекта.

3.2.13 магнитный экран: Закрытый, металлический экран сетчатого или сплошного типа, окружающий защищаемый объект или его часть, и используемый для защиты от возможных повреждений электрических или электронных систем.

3.2.14 меры молниезащиты: Меры, которые с целью снижения риска должны приниматься в отношении защищаемого объекта.

3.2.15 молниеприемник: Часть внешней системы молниезащиты, которая содержит металлические элементы, например, стержни, сетки, натянутые тросы, стержни (мачты) с устройством опережающей стримерной эмиссии.

3.2.16 напряжение прикосновения: Напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека или напряжение, появляющееся на теле человека при одновременном прикосновении к двум точкам проводников или проводящих частей.

3.2.17 номинальное импульсное выдерживаемое напряжение U_w : Импульсное выдерживаемое напряжение, установленное изготовителем для оборудования или его части, характеризующее указанную способность его изоляции выдерживать перенапряжения. В настоящих строительных нормах рассматриваются только выдерживаемое напряжение между токоведущими проводниками и землей.

3.2.18 ограничитель перенапряжения, устройство защиты от импульсных перенапряжений; ОПН: Устройство, предназначенное для ограничения динамических перегрузок по напряжению и отвода сверхтоков. Оно содержит, по крайней мере, один нелинейный элемент.

3.2.19 повреждение электрических и электронных систем: Необратимое повреждение электрических и электронных систем вследствие электромагнитных импульсов от разрядов молнии.

3.2.20 система мер защиты от электромагнитных импульсов от разрядов молнии (LPMS): Полная система мер защиты внутренних систем от электромагнитных импульсов, возникающих от разрядов молнии.

3.2.21 система молниезащиты; СМЗ: Комплексная система, используемая для снижения материального ущерба при ударе молнии в здание. Она состоит из внешней и внутренней систем молниезащиты.

3.2.22 скоординированная защита от выброса тока (SPD): Совокупность тщательно выбранных устройств защиты от импульсных перенапряжений, скоординированных и установленных для защиты от возможных повреждений электрических и электронных систем.

3.2.23 сопротивление заземляющего устройства: Отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

3.2.24 токоотвод: Часть внешней системы молниезащиты, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

3.2.25 угроза для жизни: Поражение, в том числе гибель людей или животных, из-за напряжения прикосновения и шагового напряжения, вызываемого молнией.

3.2.26 удар молнии в объект: Удар молнии в защищаемый объект.

3.2.27 удар молнии вблизи объекта: Удар молнии на достаточно близком расстоянии от защищаемого объекта, являющийся причиной опасных перенапряжений.

3.2.28 уравнивание потенциалов молнии: Заземление наикратчайшим путем отдельных металлических частей посредством токопроводящих проводников или с помощью устройств защиты от импульсных перенапряжений с целью снижения разности потенциалов молнии между этими частями и контуром заземления, вызываемых током молнии.

3.2.29 уровень надежности защиты от прямых ударов молнии; ПУМ: показатель совокупности значений параметров тока молнии, связанный с вероятностью того, что соответствующие максимальные и минимальные расчетные данные не будут превышены при ударе молнии, возникающей в естественной среде. Уровень надежности защиты от прямых ударов молнии используют для расчета мер защиты в соответствии с необходимой совокупностью значений параметров тока молнии.

3.2.30 условный импеданс заземления: Отношение максимального пикового напряжения заземления к его максимальному пиковому току, которые не совпадают по времени.

3.2.31 физическое повреждение: Повреждение зданий (или их внутренних систем) или системы энергоснабжения вследствие механических, тепловых, химических и взрывоопасных воздействий молнии.

3.2.32 экранированный провод: Металлический провод, используемый для уменьшения физического повреждения вследствие удара молнии в систему энергоснабжения.

3.2.33 электрическая система: Система, содержащая компоненты электропитания.

3.2.34 электромагнитный импульс от разрядов молнии (LEMP): Электромагнитное воздействие тока молнии. Оно проявляется в виде импульсных перенапряжений, а также в виде излучаемых импульсов электромагнитного поля.

3.2.35 электронная система: Система, содержащая чувствительные электронные компоненты, например, аппаратуру связи, компьютер, устройства управления и контрольно–измерительные устройства, радиосистему, электронные силовые устройства.

3.3 Термины, определяющие риски

3.3.1 вероятность повреждения P_x : Вероятность того, что опасный случай вызовет повреждение защищаемого объекта или содержимого внутри него.

3.3.2 городская окружающая среда: Зона с высокой плотностью зданий или густонаселенные районы с высотными зданиями и сооружениями.

3.3.3 грозозащищенный кабель: Специальный кабель с повышенной диэлектрической прочностью, металлическая оболочка которого постоянно контактирует с землей либо непосредственно, либо в результате использования токопроводящего пластмассового покрытия.

3.3.4 грозозащитный кабельный трубопровод: Кабельный трубопровод с низким электрическим удельным сопротивлением, контактирующий с почвой (например, бетонный трубопровод с соединенной конструкционной стальной арматурой или металлический трубопровод).

3.3.5 здания с риском взрыва: Здания, содержащие твердые взрывчатые материалы или опасные зоны (установлено в [6], [7]).

3.3.6 здания, опасные для окружающей среды: Здания, которые могут вызывать биологические, химические и радиоактивные загрязняющие выбросы.

Пример – химические, нефтехимические предприятия, атомные станции и т.д.

3.3.7 зона здания Z_s : Часть здания с однородными характеристиками, когда при оценке элемента риска используют только одну совокупность параметров.

3.3.8 количество опасных случаев, возникающих из–за ударов молнии в здание N_D : Предполагаемое среднегодовое количество опасных случаев, возникающих в результате ударов молнии в здание.

3.3.9 количество опасных случаев, возникающих из–за ударов молнии в систему энергоснабжения N_L : Предполагаемое среднегодовое количество опасных случаев, возникающих в результате ударов молнии в систему энергоснабжения.

3.3.10 количество опасных случаев, возникающих из–за ударов молнии вблизи здания N_M : Предполагаемое среднегодовое количество опасных случаев, возникающих в результате ударов молнии вблизи здания.

3.3.11 количество опасных случаев, возникающих из–за ударов молнии вблизи системы энергоснабжения N_i : Предполагаемое среднегодовое количество опасных случаев, возникающих в результате ударов молнии вблизи системы энергоснабжения.

3.3.12 линии связи: Среда передачи данных, предназначенная для связи между оборудованием, которое может располагаться в отдельных зданиях, например телефонная линия и линия передачи данных.

3.3.13 линии электропередачи: Электрическая линия, выходящая за пределы электростанций, подстанций и предназначенная для передачи электрической энергии на расстояние.

3.3.14 место соединения: Точка в линии подвода, в которой распространение перенапряжения можно принять как незначительное. Примерами мест соединения являются точки на отводе распределения линий электропередач на высоковольтном/низковольтном трансформаторе, канальном уплотнителе на линии связи или устройстве для защиты от перенапряжения (ограничителе перенапряжения), установленном вдоль линии.

3.3.15 окружающая среда в пригородных районах: Зона со средней плотностью застройки.

3.3.16 опасный случай: Удар молнии в здание, которому необходимо обеспечить молниезащиту, или вблизи него.

3.3.17 перенапряжение: Набегающая волна, вызываемая электромагнитными импульсами от разрядов молнии и представляющая собой бросок напряжения. Перенапряжения, вызываемые электромагнитными импульсами от разрядов молнии (ЭМИ от разрядов молнии), могут обуславливаться током (его составляющими) молнии, индукционным эффектом в контурах оборудования и остаточным опасным напряжением в цепях с устройствами для защиты от перенапряжения (УЗИП).

3.3.18 риск R : Значение вероятного среднего годового ущерба (люди и имущество) относительно защищаемого объекта (люди и имущество) в результате воздействия молнии.

3.3.19 сельская окружающая среда: Зона с низкой плотностью застройки.

3.3.20 скоординированная защита от выброса тока: Совокупность тщательно выбранных устройств молниезащиты от выброса тока, скоординированных и возведенных для уменьшения повреждений электрических и электронных систем.

3.3.21 ток повреждения I_a : Минимальное пиковое значение тока молнии, которое вызывает повреждение линии.

3.3.22 трубопроводы: Трубопроводы, предназначенные для транспортирования жидкости в здание или из него, например, газо– и водопроводные трубы, нефтяные трубы.

3.3.23 уровень молниезащиты; УМЗ: Показатель совокупности значений параметров тока молнии, связанный с вероятностью того, что соответствующие максимальные и минимальные расчетные данные не будут превышены при ударе молнии, возникающей в естественной среде. Уровень молниезащиты используется для расчета мер защиты в соответствии с необходимой совокупностью значений параметров тока молнии.

3.3.24 устройство для молниезащиты от перенапряжений; УЗИП: Устройство, содержащее, по крайней мере, один нелинейный элемент и предназначенное для ограничения динамических перенапряжений и отвода сверхтоков.

3.3.25 участок системы энергоснабжения S_s : Часть системы энергоснабжения с однородными характеристиками, когда при оценке элемента риска используют только одну совокупность параметров.

3.3.26 ущерб L_x : Средний размер ущерба (люди и имущество) в результате конкретного типа повреждения, возникающего в результате опасного случая, связанного с общей ценностью (люди и имущество) защищаемого объекта.

3.3.27 элемент риска R_x : Частичный риск, зависящий от источника и типа повреждения.

3.4 Термины, определяющие физические повреждения зданий, сооружений и опасность для жизни

3.4.1 безопасное расстояние: Минимальное расстояние между двумя проводящими элементами, при котором между ними не произойдет опасного искрения.

3.4.2 внешняя система молниезащиты, изолированная от защищаемого здания: Система молниезащиты с молниеприемниками и токоотводами, расположенными таким образом, что путь тока молнии не контактирует с защищенным зданием.

3.4.3 внешняя система молниезащиты, не изолированная от защищаемого здания: Система молниезащиты с молниеприемниками и токоотводами, расположенными таким образом, что путь тока молнии контактирует с защищенным зданием.

3.4.4 естественный компонент системы молниезащиты: Не специально установленный токопроводящий компонент в целях молниезащиты, который используется дополнительно к системе молниезащиты или в некоторых случаях выполняет функцию одной или нескольких частей систем молниезащиты.

3.4.5 заземляющий электрод: Часть или совокупность частей молниеприемников, которая обеспечивает прямой электрический контакт с землей и рассеивает ток в земле.

3.4.6 заземляющий электрод в фундаменте: Арматурная сталь фундамента или дополнительный проводник, встроенный в бетонный фундамент здания и используемый в качестве заземляющего электрода.

3.4.7 класс системы молниезащиты: Номер, обозначающий классификацию молниезащитной системы в соответствии с уровнем молниезащиты, для которой он предназначен.

3.4.8 крепежный элемент: Часть внешней системы молниезащиты, которая используется для прикрепления элементов системы молниезащиты к защищаемому зданию.

3.4.9 кольцевой проводник: Проводник, образующий петлю вокруг здания и соединяющий токоотводы для распределения тока молнии между ними.

3.4.10 кольцевой заземляющий электрод: Заземляющий электрод, образующий вокруг здания замкнутую петлю ниже поверхности или на поверхности земли.

3.4.11 контрольный стык: Стык, созданный для упрощения электрического испытания и измерения компонентов системы молниезащиты.

3.4.12 металлическая арматура, соединенная между собой: Арматура железобетонных конструкций здания (сооружения), которая обеспечивает электрическую непрерывность.

3.4.13 металлические устройства: Выступающие металлические элементы в защищаемом здании, способные создавать путь для тока молнии, например, трубы, лестницы, лифтовые направляющие, вентиляционные, отопительные каналы и каналы для кондиционирования воздуха, а также стальная арматура.

3.4.14 напряжение на молниеприемнике: Разность электрических потенциалов между молниеприемником и удаленной землей.

3.4.15 опасное искрение: Электрический разряд молнии, который вызывает физическое повреждение в защищаемом здании.

3.4.16 проектировщик системы молниезащиты: Специалист, обладающий компетентностью и навыками в создании системы молниезащиты.

3.4.17 соединяющий проводник: Проводник, соединяющий отдельные токопроводящие части с системой молниезащиты.

3.4.18 соединительный элемент: Часть внешней системы молниезащиты, которая используется для соединения проводников друг с другом или с металлическими установками.

3.4.19 уравнивание потенциалов молнии: Заземление наикратчайшим путем отдельных металлических частей посредством токопроводящих проводников или с помощью устройств защиты от импульсных перенапряжений с целью снижения разности потенциалов молнии между этими частями и контуром заземления, вызываемых током молнии.

3.4.20 установщик системы молниезащиты: Лицо, обладающее компетентностью и навыками в установке системы молниезащиты.

3.4.21 шина для уравнивания потенциала (замыкатель): Металлическая шина, на которой металлические элементы, внешние токопроводящие части, линии электропередачи и связи и другие кабели могут соединяться с системой молниезащиты.

3.5 Термины, определяющие электрические и электронные системы внутри зданий и сооружений

3.5.1 заземление: Часть внешней системы молниезащиты, предназначенная для отвода тока молнии в землю и его растекания в земле.

3.5.2 ОПН, испытанный с I_{imp} : Ограничитель перенапряжения, выдерживающий неполный ток молнии с типичной формой колебания 10/350 мкс, с соответствующим током при динамических испытаниях I_{imp} .

3.5.3 ОПН, испытанный с I_n : Ограничитель перенапряжения, выдерживающий индуктированное перенапряжение с типичной формой колебания 10/350 мкс, с соответствующим током при динамических испытаниях I_n .

3.5.4 ОПН, испытываемый с комбинированным колебанием: Ограничитель перенапряжения, выдерживающий индуктированное перенапряжение с типичной формой колебания 10/350 мкс, с соответствующим током при динамических испытаниях I_{sc} .

Примечание – Общими примерами компонентов, используемых в качестве устройств прерывания напряжения, являются разрядники, газоразрядные трубки, тиристоры (кремневые управляемые тиристоры) и симметричные триодные тиристоры. Такие ограничители перенапряжений иногда называют «шунтирующими вентилями».

3.5.5 ОПН ограничения напряжения: Ограничитель перенапряжения с высоким электрическим сопротивлением, значение которого непрерывно уменьшается с ростом импульсного перенапряжения. Общими примерами компонентов, используемых в качестве нелинейных устройств, являются варисторы и устройства защиты от перегрузок. Такие ОПН иногда называют «ОПН зажимного типа». ОПН ограничения напряжения имеет непрерывную вольтамперную характеристику.

3.5.6 ОПН комбинированного типа: Ограничитель перенапряжения, представляющий собой комбинацию ОПН прерывания напряжения и ОПН ограничения напряжения, выполняющий функции этих типов ОПН сразу либо по отдельности в зависимости от характеристик приложенного напряжения.

3.5.7 решетчатый пространственный экран: Магнитный экран с отверстиями. Для здания или сооружения предпочтительно он должен быть создан посредством соединенных между собой естественных металлических компонентов здания или сооружения (например, арматуры, металлокаркаса и металлических опор).

3.5.8 система уравнивания потенциалов: Система соединения всех проводящих частей здания или сооружения и внутренних систем (исключая токопроводящие провода) с заземлителем.

3.5.9 система заземления: Завершенная система, объединяющая заземлитель и систему уравнивания потенциалов.

3.5.10 скоординированный защитный ограничитель перенапряжений: Совокупность тщательно выбранных устройств защиты от импульсных перенапряжений, скоординированных и установленных для сокращения помех в электрических и электронных системах.

4 Обозначения и сокращения

В настоящих строительных нормах применяются следующие обозначения и сокращения:

CIGRE: Совет по большим электроэнергетическим системам.

CL: Стоимость общего ущерба без мер молниезащиты.

CPM: Стоимость мер молниезащиты.

CRL: Сумма убытка при наличии мер защиты.

LEMP: Электромагнитный импульс от разряда молнии.

LPL: Уровень надежности защиты от прямых ударов молнии.

LPMS: Система мер защиты от электромагнитных импульсов от разряда молнии.

SPD: Скоординированная защита от выбросов тока.

АСДУ: Автоматическая система дистанционного управления.

ВЛ: Воздушная линия электропередачи;

ВЛП: Воздушная линия электропередачи с покрытыми проводами;

ВЛИ: Воздушная линия электропередачи с самонесущими изолированными проводами

ЗМЗ: Зона молниезащиты.

ЗРУ: Закрытое распределительное устройство.

ЗУ: Заземляющее устройство.

РЗА: Релейная защита и автоматика.

ОКЗ: однофазное короткое замыкание.

ОПН: Ограничитель перенапряжения, устройство защиты от импульсных перенапряжений.

ОРУ: Открытое распределительное устройство.

ПС: Подстанция.

ПУМ: Уровень надежности защиты от прямых ударов молнии.

СМЗ: Системы молниезащиты.

СММЗ: Система молние- и электромагнитной защиты.

УЗИП: Устройство для молниезащиты от перенапряжения.

УМЗ: Уровень молниезащиты.

ЭМИ: Электромагнитный импульс.

ЭС: Электрическая станция.

5. Молния и ее параметры

5.1 Молния – высокоэнергетический разряд атмосферного электричества между облаками либо между облаками и землей.

Механические воздействия молнии связаны с пиковым значением тока I и с удельной переданной энергией W/R . Тепловые воздействия связаны с удельной переданной энергией W/R , при наличии резистивной связи, и с разрядом Q , при образовании на установке электрических дуг. Перенапряжения и опасное искрение, вызываемые индуктивным искрением, относятся к средней скорости нарастания di/dt фронта импульса тока молнии.

5.2 Предусматривается четыре уровня молниезащиты (I, II, III, IV). Для каждого уровня молниезащиты установлены максимальные (табл. 5.1) и минимальные (табл. 5.2) фиксированные параметры тока молнии. Вероятность того, что установленные параметры токов молнии будут соответствовать параметрам естественной молнии приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.1 – Максимальные значения параметров молнии в соответствии с уровнем молниезащиты

Первый короткий импульс тока			Уровень молниезащиты			
Параметры тока	Символ	Единица измерения	I	II	III	IV
Пиковое значение тока	I	кА	200	150	100	
Электрический заряд первого удара	Q _{коротк}	Кл	100	75	50	
Удельная энергия	W/R	МДж/Ом	10	5,6	2,5	
Параметры времени	T ₁ /T ₂	мкс/мкс	10 / 350			
Последующий импульс тока			Уровень молниезащиты			
Пиковое значение тока	I	кА	50	37.5	25	
Средняя крутизна	di/dt	кА/мкс	200	150	100	
Параметры времени	T ₁ /T ₂	мкс/мкс	0,25 / 100			
Длительный удар			Уровень молниезащиты			
Электрический заряд первого удара	Q _{длит}	Кл	200	150	100	
Параметры времени	T _{длит}	с	0,5			
Удар			Уровень молниезащиты			
Электрический заряд молнии	Q _{удара}	Кл	300	225	150	

Таблица 5.2 – Минимальные значения параметров молнии в зависимости от уровней молниезащиты

Первый короткий импульс тока			Уровень молниезащиты			
Параметры тока	Обозначение	Единица измерения	I	II	III	IV
Минимальный пиковый ток	I	кА	3	5	10	16
Радиус катящейся сферы	r	м	20	30	45	60

Таблица 5.3 – Вероятности для ограничений параметров тока молнии

Вероятность того, что параметры тока молнии	Уровень молниезащиты			
	I	II	III	IV
меньше, чем максимальные значения, указанные в таблице 5.1	0,99	0,98	0,97	0,97
больше, чем минимальные значения, указанные в таблице 5.2	0,99	0,97	0,91	0,84

5.3 Максимальные значения параметров тока молнии используются для расчетов сечения проводников; толщины металлической кровли и корпусов резервуаров, которые могут иметь контакт с молнией; номинального разрядного и импульсного тока УЗИП; разделяющего расстояния для предотвращения опасного искрения; определения параметров испытания системы молниезащиты или ее отдельных компонентов и т.д.

5.4 Минимальные значения амплитуды тока молнии используются для определения радиуса фиктивной сферы, с помощью которой проводится расчет молниеприемников и определяется зона молниезащиты 0 в.

6 Управление риском

6.1 Риск и элементы риска

6.1.1 Риск R – это значение вероятного ежегодного ущерба.

Риск следует оцениваться в зависимости от типа ущерба, который может быть нанесен зданию, сооружению или системе энергоснабжения.

Предусмотрены следующие типы ущерба:

- L1: угроза для жизни и здоровья людей;
- L2: нарушение коммунального обслуживания;

- L3: невозполнимая потеря культурных ценностей;
- L4: экономический ущерб (строительной конструкции и находящегося внутри нее оборудования, системе энергоснабжения и деятельности).

Каждый тип ущерба относится к типу повреждений по IEC 62305-2.

6.1.2 Для здания, сооружения и инженерной коммуникации определены следующие риски: R1, R2, R3, R4.

6.1.3 Для оценки рассматриваемых систем энергоснабжения включают только линии электропередачи, входящие в здание или сооружение. Удары молнии в трубопроводы или вблизи них не рассматриваются в качестве источника повреждения, основанного на соединении трубопроводов с шиной для уравнивания потенциалов. В случае отсутствия шины такую угрозу также необходимо рассматривать.

6.1.4 Риск R – это совокупность элементов риска. При расчете риска следует группировать его элементы в соответствии с источником и типом повреждения.

6.1.5 Элементы риска для здания (сооружения) в результате ударов молнии в них:

- R_A – элемент риска, относящийся к угрозе жизни, возникающей в результате напряжения прикосновения и шагового напряжения в зонах, находящихся на расстоянии до 3 м за наружными стенами здания (сооружения). Также может возникать ущерб типа L1, а в сооружении для содержания скота ущерб типа L4 с вероятным нанесением ущерба животным. В специальных зданиях или сооружениях люди могут подвергаться опасности, связанной с непосредственными ударами (например, верхний уровень паркинга или стадионы);

- R_B – элемент риска, относящийся к физическому повреждению, вызываемому опасным искрением внутри здания (сооружения), которое инициирует пожар или взрыв, опасные для окружающей среды. Могут возникать все типы ущерба L1, L2, L3 и L4;

- R_C – элемент риска, относящийся к повреждению внутренних систем, в результате воздействия электромагнитных импульсов от разрядов молнии (ЭМИ от грозовых разрядов). Ущерб типа L2 и L4 может возникать во всех случаях одновременно с типом L1, касающимся зданий (сооружений) с риском возникновения взрыва, больниц или других сооружений, в которых повреждение внутренних систем сразу же подвергает опасности жизнь людей.

6.1.6 Элемент риска в результате ударов молнии вблизи здания (сооружения):

R_M – элемент риска, относящийся к повреждению внутренних систем, возникающему в результате электромагнитных импульсов от разрядов молнии (ЭМИ от разрядов молнии). Ущерб типов L1 и L4 может возникать во всех случаях наряду с типом L1 в зданиях (сооружениях) с риском возникновения взрыва и больницах или других сооружениях, повреждение внутренних систем которых подвергает опасности жизнь людей.

6.1.7 Элементы риска для здания (сооружения) в результате ударов молнии в системы энергоснабжения, подсоединенные к зданию или сооружению:

- R_U – элемент риска, относящийся к угрозе для жизни из-за напряжения прикосновения и шагового напряжения внутри здания (сооружения), в результате воздействия тока молнии, которая попадает в линию электропередачи, входящую в здание (сооружение). Может также иметь место ущерб типа L1 в случае сельскохозяйственных построек, ущерб типа L4 с вероятным нанесением ущерба животным;

- R_V – элемент риска, относящийся к физическому повреждению от пожаров или взрывов, инициированных опасным искрением между внешней установкой и металлическими частями главным образом на точке входа линии электропередачи в здание (сооружение), в результате воздействия тока молнии, передаваемого через или вдоль входящих систем энергоснабжения. Могут возникать все типы ущерба L1...L4;

- R_W – элемент риска, относящийся к повреждению внутренних систем, возникающему в результате перенапряжений, индуцированных на входящих линиях электропередачи и передаваемых зданию (сооружению). Ущербов типов L2 и L4 могут возникать во всех случаях; наряду с ущербом типа L1 в случае зданий (сооружений) с риском взрыва и больниц или других сооружений, в которых повреждение внутренних систем сразу же подвергает опасности жизнь людей.

6.1.8 Элемент риска для здания (сооружения) в результате ударов молнии вблизи системы энергоснабжения, подсоединенной к зданию (сооружению):

- R_Z – элемент риска, относящийся к повреждению внутренних систем, возникающему в результате перенапряжений, индуцированных на входящих линиях электропередачи и передаваемых на здание (сооружение). Ущербов типов L3 и L4 могут возникать во всех случаях; наряду с ущербом типа L1 в случае зданий (сооружений) с риском взрыва и больниц или других сооружений, в которых повреждение внутренних систем сразу же подвергает опасности жизнь людей.

6.2 Оценка необходимости обеспечения молниезащитой, выбор мер молниезащиты

6.2.1 Молниезащита требуется, если риск R ($R_1 - R_3$) превышает допустимый уровень R_T :

$$R > R_T \quad (6.1.)$$

6.2.2 Молниезащита не требуется при:

$$R \leq R_T \quad (6.2)$$

6.2.3 В случае, когда защищаемый объект многофункциональный, в нем может возникать ущерб нескольких типов, для каждого из которых должно удовлетворяться условие:

$$R \leq R_T \quad (6.3)$$

6.2.4 Характерные значения допустимого риска R_T , в случае, когда удары молнии становятся причиной гибели людей или нанесения ущерба общественным или культурным ценностям, представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Типичные значения допустимого риска R_T

Типы ущерба	$R_T (y^{-1})$
Гибель людей или увечья	10^{-5}
Нарушение коммунального обслуживания	10^{-3}
Потеря культурных ценностей	10^{-3}

6.2.5 Элементы риска, которые следует рассматривать для каждого типа ущерба в здании (сооружении), перечислены ниже:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z, \quad (6.4)$$

где R_1 – риск угрозы человеческой жизни;

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z, \quad (6.5)$$

где R_2 – риск нарушения коммунального обслуживания;

$$R_3 = R_B + R_V, \quad (6.6)$$

где R_3 – риск потери культурных ценностей;

$$R_4 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z, \quad (6.7)$$

где R_4 – риск нанесения ущерба экономической ценности.

6.2.5 В соответствии с п. 6.8 ТР 2009/013 «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность» вывод о целесообразности обеспечения молниезащитой объекта определяется по риску R_1 .

6.2.6 Элементы риска, соответствующие типу объекта защиты, приведены в таблице 6.2.

В таблице 6.3 приведены факторы, влияющие на элементы риска.

Таблица 6.2 – Элементы риска, рассматриваемые для каждого типа ущерба в здании или сооружении

Источник повреждения	Удары молнии в здание (сооружение) S1			Удары молнии вблизи здания (сооружения) S2	Удар молнии в линию электропередачи, подсоединенную к зданию (сооружению) S3			Удар молнии вблизи линии электропередачи, подсоединенной к зданию (сооружению) S4
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Элемент риска	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Риск для каждого типа ущерба:								
R_1	*	*	*1)	*1)	*	*	*1)	*1)
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* 2)	*	*	*	*2)	*	*	*

1) Только для зданий или сооружений, в которых имеется опасность взрыва, и для больниц или других зданий или сооружений, в которых повреждение внутренних систем сразу же создает угрозу безопасности людей.
 2) Только для зданий или сооружений, в которых могут погибнуть животные.
 Для жилых домов в сельской местности определена молниезащита IV уровня. В качестве молниезащиты следует применять молниеотвод. Для жилых домов в городской застройке (от 4-х этажей и выше) следует использовать молниезащиту III уровня, меры молниезащиты: молниеотвод и УЗИП.

Таблица 6.3 – Факторы, влияющие на элементы риска в здании, сооружении, коммуникации

Характеристики здания, сооружения или внутренних систем. Меры молниезащиты	R_A	R_B	R_C	R_W	R_U	R_V	R_W	R_Z
Участок сбора данных	X	X	X	X	X	X	X	X
Удельное сопротивление поверхности земли	X							

СН 3.02. -2020

Характеристики здания, сооружения или внутренних систем. Меры молниезащиты	R_A	R_B	R_C	R_W	R_U	R_V	R_W	R_Z
Удельное сопротивление пола					X			
Физические ограничения, изоляция, предупреждения, уравнивание потенциалов молнии земли	X				X			
Система молниезащиты	X ¹⁾	X	X ²⁾	X ²⁾	X ³⁾	X ³⁾		
Скоординированная защита УЗИП			X	X			X	X
Защитный экран			X	X				
Экранирование внешних линий электропередачи					X	X	X	X
Экранирование внутренних линий электропередачи			X	X				
Защита прокладки разводки			X	X				
Сеть соединения			X					
Противопожарная защита		X				X		
Чувствительность к возгоранию		X				X		
Особая опасность		X				X		
Импульсное выдерживаемое напряжение			X	X	X	X	X	X
¹⁾ В случае «естественной» или стандартной системы молниезащиты с зазором токоотвода менее 10 м или там, где предусмотрено физическое ограничение, риск, касающийся угрозы для жизни из-за контактного или шагового напряжения, не рассматривается. ²⁾ Только для внешней системы молниезащиты. ³⁾ В результате уравнивания потенциалов молнии.								

6.2.7 При принятии решения о защите здания, сооружения или коммуникации от молнии, а также выборе мер молниезащиты должны быть выполнены следующие действия:

- идентификация защищаемого объекта и его характеристики;
- определение риска R для конкретного типа ущерба;
- оценка необходимости молниезащиты путем сравнения риска R для конкретного типа ущерба с допустимым риском R_t .

6.2.8 Для оценки риска рассматривают следующее:

- само здание (сооружение);

- установки в здании (сооружении);
- оборудование, находящееся в здании (сооружении);
- присутствие людей, находящихся в здании (сооружении) или в зоне на расстоянии 3 м от здания (сооружения);
- окружающую среду, на которую влияет повреждение здания (сооружения).

6.2.9 В целях учета специфических характеристик частей здания (сооружения), получения объективных величин риска R при его определении, выбора наиболее подходящих мер молниезащиты рассматриваемый объект защиты следует (при целесообразности) разделять на несколько зон (по функциональному назначению, по конфигурации, по типу грунта или пола, по удельной пожарной нагрузке, огнестойкости, наличию защитных экранов и т.п.).

6.2.10 Общая процедура оценки необходимости молниезащиты показана на рисунке 6.1.

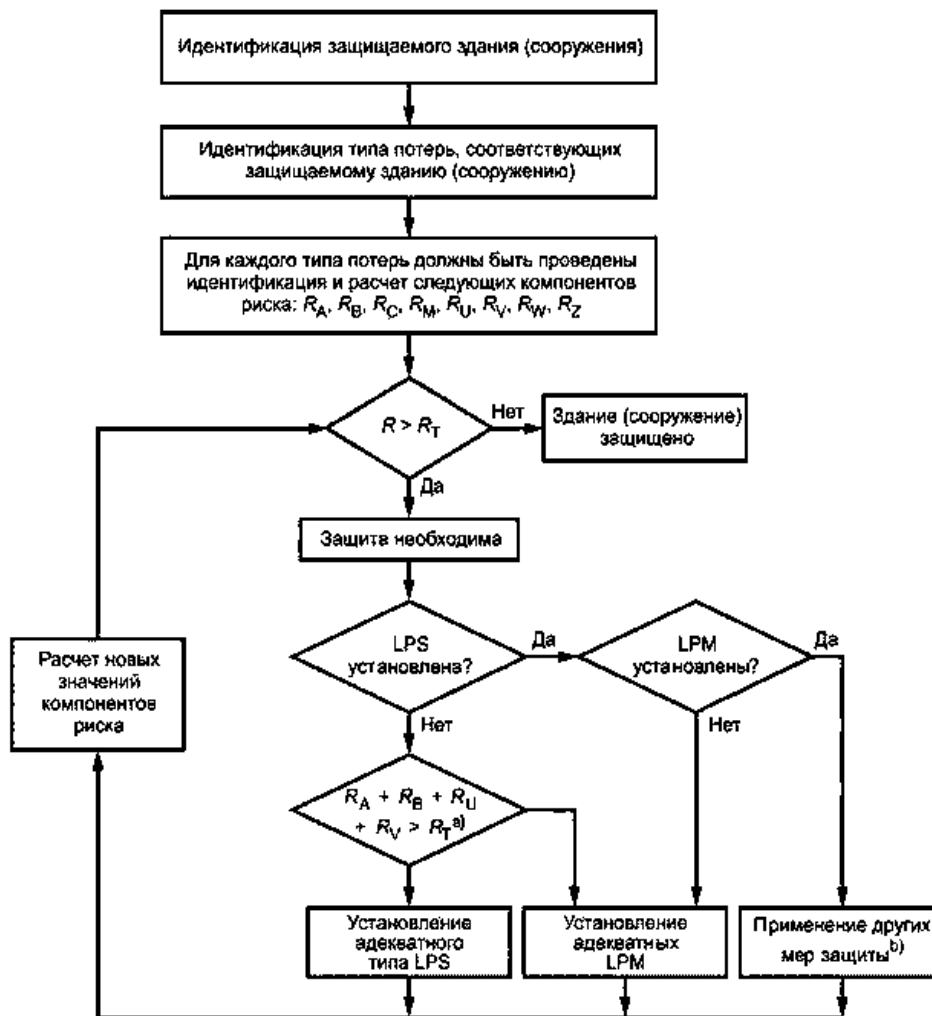


Рисунок 6.1 – Процедура принятия решения о необходимости молниезащиты

6.2.11 Меры молниезащиты направлены на уменьшение риска в соответствии с типом ущерба.

Для каждого типа ущерба существуют различные комбинации мер, которые по отдельности или в совокупности друг с другом, создают условие, при котором $R \leq R_T$.

Выбор наиболее подходящих мер молниезащиты должен производиться в соответствии с долей каждого элемента риска в общем объеме риска R , принимая во внимание технические и экономические аспекты различных защитных мер.

6.2.12 Для оценки элементов риска, связанных с ударами молнии непосредственно и вблизи здания (сооружения), применяют следующее соотношение:

– элемент, относящийся к поражению людей:

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A, \quad (6.8)$$

– элемент, относящийся к физическому повреждению:

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B, \quad (6.9)$$

– элемент, относящийся к повреждению внутренних систем:

$$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C, \quad (6.10)$$

– элемент, относящийся к поражению людей:

$$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M. \quad (6.11)$$

6.2.13 Для оценки элементов риска, возникающего в результате ударов молнии непосредственно либо вблизи входящей линии электропередачи, применяют следующее соотношение:

– элемент, относящийся к поражению людей:

$$R_U = (N_L \cdot N_{Da}) \cdot P_U \cdot L_U, \quad (6.12)$$

– элемент, относящийся к физическому повреждению:

$$R_V = (N_L \cdot N_{Da}) \cdot P_V \cdot L_V, \quad (6.13)$$

– элемент, относящийся к повреждению внутренних систем:

$$R_W = (N_L \cdot N_{Da}) \cdot P_W \cdot L_W, \quad (6.14)$$

– элемент, относящийся к повреждению внутренних систем:

$$R_Z = (N_I - N_L) \cdot P_Z \cdot L_Z. \quad (6.15)$$

6.2.14 В случае если к зданию (сооружению) подсоединено несколько линий электропередачи (участков) с различной разводкой, то расчеты следует производить для каждой линии (участка).

6.2.15 Методика расчета риска приведена в формулах 6.1-6.15 настоящего раздела. Выбор коэффициентов элементов рисков приведен в приложении А-С.

6.2.15 В случаях, когда риск R не может быть снижен до допустимой величины, для объекта должен быть установлен самый высокий уровень молниезащиты.

6.2.16 При расчете рисков разрешается использовать автоматизированные версии расчета риска, имеющие свидетельство регистрации либо прошедшие публичное обсуждение.

7. Защита от прямого удара молнии

7.1 Внешняя система молниезащиты

7.1.1 Внешняя СМЗ предназначена для приема прямых ударов молнии в объект, включая разряды в фасад здания (сооружения), и отвода тока молнии от точки поражения до земли, рассредоточения этого тока в земле, не вызывая термического или механического повреждения, а также опасного искрения.

7.1.2 Внешняя СМЗ требуется, если при расчете риска $R_B > R_T$.

Внешняя СМЗ устраивается отделено от объекта защиты (отдельно стоящие молниеотводы стержневые или тросовые, соседние сооружения, которые являются естественными молниеотводами), или непосредственно на объекте защиты (стержневые, тросовые молниеприемники, молниеприемная сетка).

7.1.3 Внешняя СМЗ выполняется отделенной размещенной для зданий и сооружений производственного и складского назначения I уровня молниезащиты, когда чувствительное оборудование требует ослабления излучаемого электромагнитного поля, связанного с импульсом тока молнии в токоотводе.

7.1.4 В качестве естественных элементов молниезащиты необходимо применять изготовленные из токопроводящих материалов, архитектурные элементы, строительные конструкции и фасады зданий (сооружений), которые постоянно должны находиться в здании (сооружении) или на здании (сооружении) и не должны меняться и изменяться (например, соединенная между собой металлическая арматура, парапеты, кровельные ограждения, трубы и т. д.).

7.1.5 При наличии на зданиях (сооружениях) специальных объектов прямых газопроводных и дыхательных труб для свободного отвода в атмосферу газов, пара и суспензий взрывоопасной концентрации в зону защиты молниеотводов должно входить пространство над урезом труб ограниченное полушарием радиусом 5 м. Для газопроводных и дыхательных труб, устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции, оборудованных колпаками или «гусаками», в зону защиты молниеотводов должно входить пространство над срезом труб, ограниченное цилиндром высотой $H_{пр}$ и радиусом $R_{пр}$:

– для газов тяжелее воздуха при избыточном давлении внутри установок:

а) менее 5,05 кПа $H_{пр} = 1$ м, $R_{пр} = 2$ м;

б) 5,05-26,25 кПа $H_{пр} = 2,5$ м, $R_{пр} = 5$ м;

– для газов легче воздуха при избыточном давлении внутри установки:

а) до 25,25 кПа $H_{пр} = 2,5$ м, $R_{пр} = 5$ м;

б) свыше 25,25 кПа $H_{пр} = 5$ м, $R_{пр} = 5$ м.

7.1.6 Не требуется включать в зону защиты молниеотводов пространство над срезом труб (устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции):

– при выбросе газов невзрывоопасной концентрации;

– при факелах, которые постоянно горят, и факелах, зажигаемых в момент выброса газов.

7.2 Молниеприемники

7.2.1 Молниеприемники, согласно требованиям IEC 62305-3, могут состоять из любой комбинации следующих элементов:

– стержней (включая отдельно стоящие мачты, мачты на бетонных основаниях);

– подвесных тросов;

– молниеприемной сетки.

7.2.2 Для обеспечения распределения тока отдельно расположенные стержни молниеприемника должны соединяться вместе на уровне крыши.

7.2.3 В первую очередь молниеприемниками следует защищать наиболее высокие точки зданий (сооружений).

7.2.4 Подходящими методами, используемыми для определения положения молниеприемника, являются:

– метод защитного угла;

– метод катящейся сферы;

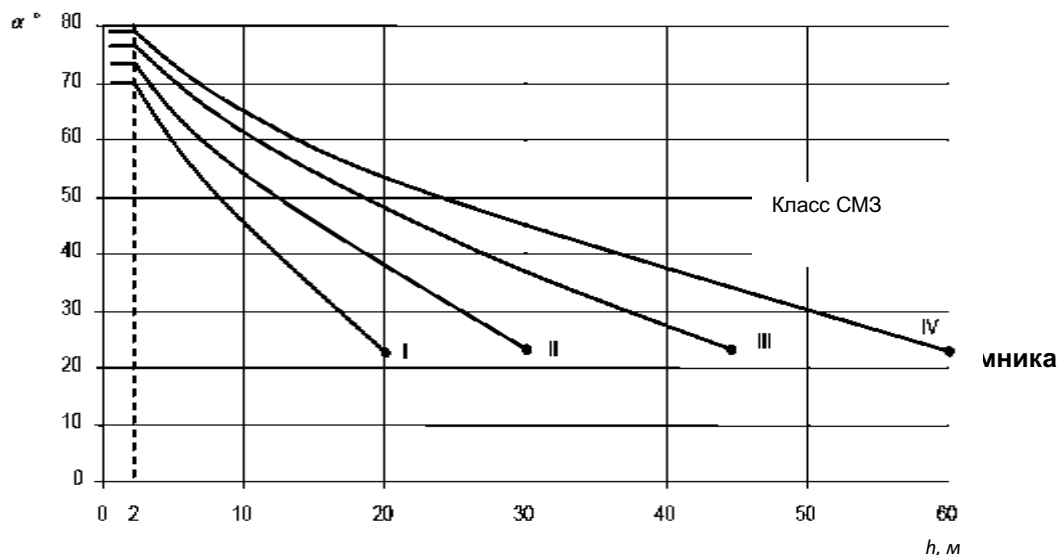
– метод сетки.

7.2.5 Метод защитного угла подходит для зданий (сооружений) любой формы, но ограничивается по высоте молниеприемника (рисунок 7.1).

7.2.6 Надежность молниезащиты для молниеприемника в зависимости от уровня молниезащиты определяется по таблице 5.3.

7.2.7 Стандартные зоны защиты одиночного молниеприемника высотой h ограничены симметричными двухскатными поверхностями, которые создают в вертикальном сечении равнобедренный треугольник с вершиной, равной h и основанием, равным $2(h \times \text{tg}\alpha)$.

7.2.8 При необходимости использования более высокой надежности молниезащиты при определении размеров зоны защиты молниеприемников следует руководствоваться положениями раздела 10 настоящего стандарта.



7.2.9 Метод сетки является подходящей формой защиты для горизонтальных и скатных крыш без изгибов.

Сетка защищает поверхность, если выполнены следующие условия:

а) проводники сетки проложены:

- по краю крыши;
- по выступам;
- по коньку крыши, если наклон крыши не превышает 1/10.

б) размеры ячейки сетки не больше приведенных в таблице 7.1 настоящих норм;

в) сетка выполнена таким образом, чтобы ток молнии имел всегда по крайней мере два различных пути к заземлителю;

г) металлические части защищаемого объекта не должны выступать за внешние контуры сетки;

д) проводники от сетки должны быть проложены кратчайшими путями.

Таблица 7.1– Размеры ячейки сетки в соответствии с классом СМЗ

Класс СМЗ	Метод защиты	
	Радиус катящейся сферы r , м	Размер ячейки сетки W , м
I	20	5 × 5

II	30	10 × 10
III	45	15 × 15
IV	60	20 × 20

7.2.10 К естественным молниеприемникам следует относить следующие конструктивные элементы зданий и сооружений:

а) металлические листы, покрывающие защищаемое здание (сооружение) при условии, что:

– обеспечена надежная электрическая непрерывная связь между различными частями (например, с использованием пайки твердым припоем, сварки, гофрирования, фальцевых соединений, завинчивания или болтового крепления);

– значение толщины металлического листа не меньше значения t' , указанного в таблице 7.2, если предотвращение пробоя обшивки не имеет большого значения или не рассматривается воспламенение находящихся под ним каких-либо легко воспламеняемых материалов;

– значение толщины металлического листа не меньше значения t , указанного в таблице 7.2, если необходимо предпринимать меры предосторожности в отношении пробоя или рассматривать проблемы, связанные с термическим воздействием в месте удара молнии;

– они не плакированы изоляционным материалом. При этом тонкий слой антикоррозийной краски, асфальтовое покрытие толщиной 1 мм или покрытие из ПВХ толщиной 0,5 мм не рассматривают в качестве изолятора;

б) металлические компоненты крыши зданий и сооружений (стропильные фермы, соединенная между собой металлическая арматура, т.д.), расположенные под неметаллическим покрытием крыши при условии, что покрытие крыши выполнено из негорючих, трудногорючих и материалов с пределом распространения пламени РП1 и не выходит за пределы защищаемого объекта;

с) металлические части, например орнаментальные формы, ограждения, трубы, покрытия парапетов и т.д., сечением не менее того, которое указано для стандартных компонентов молниеприемника;

д) расположенные на крыше металлические трубы и резервуары при условии, что они изготовлены из материала, толщина и поперечное сечение которого соответствуют данным, указанным в таблице 7.3.

СН 3.02. -2020

е) металлические трубы и резервуары, содержащие легковоспламеняющиеся жидкости или горючие газы при условии, что они изготовлены из материала толщиной не меньше соответствующего значения t , указанного в таблице 7.2, и что повышение температуры внутренней поверхности в точке поражения не представляет опасности.

Таблица 7.2 – Минимальная толщина металлических листов или металлических труб в молниеприемниках

Класс СМЗ	Материал	Толщина t , мм	Толщина t' , мм
I – IV	Свинец	–	2,0
	Сталь (нержавеющая, оцинкованная)	4	0,5
	Титан	4	0,5
	Медь	5	0,5
	Алюминий	7	0,65
	Цинк	–	0,7

Таблица 7.3 – Материал, конфигурация и минимальное сечение проводников молниеприемника, стержней и токоотводов

Материал	Конфигурация	Минимальная площадь поперечного сечения, мм ²	Комментарии ¹⁰⁾
Медь	Сплошной плоский	50 ⁸⁾	Толщина 2 мм (минимальная) Диаметр 8 мм
	Сплошной круглый ⁷⁾	50 ⁸⁾	Диаметр каждой жилы 1,7 мм (минимальный) Диаметр 16 мм
	Многожильный	50 ⁸⁾	
	Многожильный круглый ^{3) 4)}	200 ⁸⁾	
Медь, покрытая оловом ¹⁾	Сплошной плоский	50 ⁸⁾	Толщина 2 мм (минимальная) Диаметр 8 мм
	Сплошной круглый ⁷⁾	50 ⁸⁾	Диаметр каждой жилы 1,7 мм (минимальный)
	Многожильный	50 ⁸⁾	
Алюминий	Сплошной плоский	70	Толщина 3 мм (минимальная) Диаметр 8 мм
	Сплошной круглый ⁷⁾	50 ⁸⁾	Диаметр каждой жилы 1,7 мм (минимальный)
	Многожильный	50 ⁸⁾	

Материал	Конфигурация	Минимальная площадь поперечного сечения, мм ²	Комментарии ¹⁰⁾
Алюминиевый сплав	Сплошной плоский	50 ⁸⁾	Толщина 2,5 мм (минимальная)
	Сплошной круглый ⁷⁾	50	Диаметр 8 мм
	Многожильный	50 ⁸⁾	Диаметр каждой жилы 1,7 мм (минимальный)
	Многожильный круглый ³⁾	200 ⁸⁾	Диаметр 16 мм
Сталь горячего цинкования ²⁾	Сплошной плоский	50 ⁸⁾	Толщина 2,5 мм (минимальная)
	Сплошной круглый ⁹⁾	50	Диаметр 8 мм
	Многожильный	50 ⁸⁾	Диаметр каждой жилы 1,7 мм (минимальный)
	Многожильный круглый ^{3) 4) 5) 9)}	200 ⁸⁾	Диаметр 16 мм
Нержавеющая сталь	Сплошной плоский ⁶⁾	50 ⁸⁾	Толщина 2 мм (минимальная)
	Сплошной круглый ⁶⁾	50	Диаметр 8 мм
	Многожильный	70 ⁸⁾	Диаметр каждой жилы 1,7 мм (минимальный)
	Многожильный круглый ^{3) 4)}	200 ⁸⁾	Диаметр 16 мм

- 1) Минимальная толщина горячелуженого или электролитического покрытия 1 мкм.
- 2) Покрытие должно быть гладким, непрерывным, без пятен расплава и с минимальной толщиной 50 мкм.
- 3) Применяется только для стержней молниеприемника. В отдельных случаях, где механическое напряжение, например давление ветра, не является критически важным, можно использовать стержень молниеприемника длиной 1 м (max) с дополнительной фиксацией.
- 4) Применяется только для заземляющего входящего стержня.
- 5) Хром $\geq 16\%$, никель $\geq 8\%$, углерод $\geq 0,07\%$.
- 6) Что касается стальных элементов, встроенных в бетонные сооружения и/или соприкасающихся с воспламеняемым материалом, минимальные размеры должны быть увеличены до 78 мм² (диаметром 10 мм) для сплошного круглого проводника и до 75 мм² (минимальной толщиной 3 мм) для сплошного плоского проводника.
- 7) В отдельных случаях, где механическое напряжение не является важным требованием, можно снизить размер с 50 мм² (диаметром 8 мм) до 28 мм² (диаметром 6 мм). В данном случае необходимо уделять внимание уменьшению зазора между крепежными деталями.
- 8) Если тепловые и механические аспекты имеют большое значение, эти размеры могут быть увеличены до 60 мм² для сплошных плоских проводников и до 78 мм² для сплошных круглых проводников.
- 9) Чтобы не допустить плавления, минимальное поперечное сечение должно составлять 16 мм² для медных проводников, 25 мм² для алюминиевых проводников, 50 мм² для стальных проводников и 50 мм² для проводников из нержавеющей стали для удельной энергии 10 000 кДж/Ом.
- 10) Толщина, ширина и диаметр установлены в пределах $\pm 10\%$.

7.2.11 Не изолированные от защищаемого здания (сооружения) молниеприемники СМЗ следует устанавливать следующим образом:

- проводники молниеприемника размещаются непосредственно на поверхности кровли при условии, что она изготовлена из негорючих, трудногорючих материалов, либо материалов с пределом распространения пламени РП1;

- если кровля выполнена из горючего материала (за исключением материала с пределом распространения пламени РП1), следует обеспечивать безопасное расстояние между проводниками молниеприемника и материалом кровли. Для кровель, изготовленных из соломы или тростника, безопасное расстояние должно составлять 0,15 м, для других горючих материалов – не менее 0,10 м;

- части защищаемого здания (сооружения) из сгораемых строительных материалов, не должны оставаться в прямом взаимодействии с компонентами внешней системы молниезащиты, а также находиться непосредственно под какой-либо металлической оболочкой кровли.

7.2.12 Для целей прокладки проводников по кровле здания (сооружения) следует использовать изделия молниезащиты, предназначенные для обустройства систем молниезащиты (кровельные держатели, коньковые держатели, держатели токоотвода, дистанционные держатели, держатели по фасаду и т.п.).

7.2.13 Шаг между держателями должен составлять не более 1 м.

7.2.14 Металлические изделия, предназначенные для обустройства систем молниезащиты, должны иметь защиту от коррозии и старения. При этом среднее значение толщины цинкового покрытия для изделий должно составлять не менее 30 мкм.

7.2.15 Молниеприемники и токоотводы должны быть жестко закреплены так, чтобы исключить любой разрыв или ослабление крепления проводников под действием электродинамических сил или случайных механических воздействий (например, от вибрации, падения снежного пласта, теплового расширения и т.д.).

7.2.16 Все части зданий (сооружений), высота которых превышает 120 м, должны быть защищены от ПУМ, поскольку они могут подвергаться опасности.

7.3 Токоотводы

7.3.1 С целью снижения вероятности возникновения опасного искрения токоотводы необходимо располагать таким образом, чтобы между точкой поражения и землей:

- ток растекался несколькими параллельными путями;
- длина пути должны быть минимальной.

7.3.2 Минимальная длина пути токоотвода достигается его прокладкой по прямым и вертикальным линиям так, чтобы путь к земле был кратчайшим.

7.3.3 Токоотводы следует располагать по периметру защищаемого объекта, так, чтобы среднее расстояние между ними было не больше значений, приведенных в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Средние расстояния между токоотводами в соответствии с уровнем СМЗ

Класс системы молниезащиты	Средние расстояния, м
I	10
II	10
III	15
IV	20

7.3.4 От стержневого молниеприемника должен быть предусмотрен минимум один токоотвод.

Если молниеприемник состоит из отдельных горизонтальных проводов (тросов) или из одного провода (троса), на каждый конец троса должен предусматриваться минимум один токоотвод.

Если молниеприемник образует сеть проводников, то на конце каждого несущего троса должен быть, по крайней мере, один токоотвод.

7.3.5 Прокладывать токоотводы в водосточных трубах запрещается. При отсутствии возможности прокладки токоотводов по стене здания (сооружения) токоотводы по водосточным трубам следует прокладывать на держателях прута на трубе.

7.3.6 Токоотводы, прокладываемые по внешним стенам зданий (сооружений), следует размещать не ближе 3 м от входов зданий (сооружений).

7.3.7 Неизолированные от объекта токоотводы следует прокладывать следующим образом:

– если стена выполнена из негорючего материала, токоотводы могут быть закреплены на поверхности стены или проходить в стене при помощи изделий молниезащиты, предназначенных для обустройства систем молниезащиты (держателей токоотвода пластиковых либо металлических);

– если стена выполнена из горючего материала и повышение температуры токоотводов представляет для нее опасность, токоотводы должны располагаться так, чтобы безопасное расстояние между ними и материалом стены защищаемого объекта превышало 0,1 м.

При прокладке токоотводов по стене из горючего материала также следует использовать изделия молниезащиты, предназначенные для обустройства систем молниезащиты (держатели токоотвода пластиковые либо металлические). При этом металлические изделия могут быть в контакте со стеной из горючего материала.

Если невозможно обеспечить соответствующее расстояние от токоотвода до горючего материала, то сечение проводника должно быть не менее 100 мм².

7.3.8 Металлические изделия, предназначенные для обустройства систем молниезащиты, должны иметь защиту от коррозии и старения. При этом среднее значение толщины цинкового покрытия для изделий должно составлять не менее 30 мкм. Шаг между держателями должен составлять не более 1 м.

7.3.9 Если токоотводы проложены в виде петель, расстояние s , измеренное поперек расстояния между двумя точками на проводнике, и длина проводника между этими точками (рисунок 7.2) должна соответствовать безопасным значениям для электроизоляции внешней СМЗ.

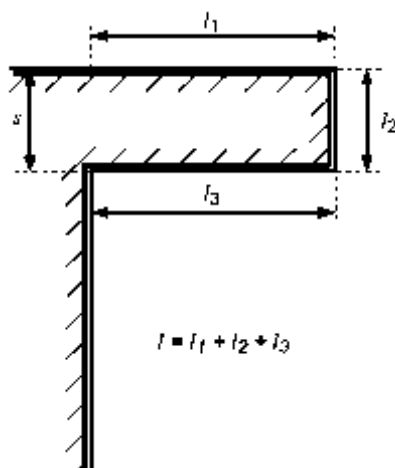


Рисунок 7.2 – Петля в токоотводе

7.3.10 Следующие конструктивные элементы зданий (сооружений) следует рассматривать в качестве естественных токоотводов:

а) металлические конструкции при условии, что электрическое сопротивление между разными элементами постоянно, а материал, конфигурация и минимальное сечение проводников соответствует требованиям, приведенным в таблице 7.3. Металлические конструкции могут иметь изоляционное покрытие;

б) металлический каркас здания (сооружения);

с) соединенная между собой стальная арматура здания (сооружения);

д) части фасада, профилированные элементы и опорные металлические конструкции фасада, при условии, что их сечение соответствует требованиям таблицы 7.3 по отношению к токоотводам, а толщина металлических листов или металлических труб составляет не менее 0,5 мм.

7.3.11 Арматура железобетонных зданий (сооружений) обеспечивает электрическую непрерывность, если она удовлетворяет следующим условиям:

– 50% и более соединений вертикальных и горизонтальных стержней выполнены сваркой или имеют жесткую связь (болтовое крепление, вязка проводом);

– электрическая непрерывность обеспечена между стальной арматурой разных предварительно изготовленных бетонных блоков и арматурой бетонных блоков, изготовленных на месте.

7.3.12 Для измерения сопротивления заземлителя на каждом токоотводе должен быть установлен контрольный стык, кроме случаев:

– имеются естественные токоотводы, соединенные непосредственно с заземлителем неразборным соединением (например, несущие металлоконструкции здания (сооружения), соединенные с арматурой фундамента и заземлителем);

– заземляющее устройство молниезащиты присоединено неразборным соединением или объединено с заземляющими устройствами другого назначения, которые по условию технологического процесса не допускают отсоединения естественных заземлителей.

Для проведения измерения стык должен открываться при помощи инструмента. При нормальном использовании он должен оставаться закрытым.

7.4 Система заземления

7.4.1 Для защиты от прямых ударов молнии следует использовать естественные заземлители – металлические и железобетонные конструкции зданий, сооружений, внешних установок, опор стоящих отдельно, и т.п., которые находятся в контакте с землей, в том числе железобетонные фундаменты сваи в неагрессивных, слабоагрессивных и среднеагрессивных средах при условии обеспечения непрерывной электрической связи по их арматуре и присоединение ее к закладным деталям с помощью сварки.

7.4.2 В случае невозможности использования естественных заземлителей для молниеотводов, которые имеют молниеприемники из сеток или металлической кровли, по периметру здания (сооружения) следует прокладывать в земле на глубине не менее чем 0,5 м внешний контур из искусственных заземлителей, выполненных в виде горизонтальных и вертикальных заземлителей.

7.4.3 Токоотвод необходимо присоединять к заземлителю.

7.4.4 Для организации заземления следует применять два основных типа (А и В) заземлителей. Тип заземлителя А включает горизонтальные (прут, полоса) и вертикальные заземлители (электроды), установленные за пределами защищаемого здания (сооружения) и присоединенные к каждому токоотводу.

7.4.5 Сопротивления заземлителя I и II уровней молниезащиты должно составлять не более 10 Ом. Значения минимальной длины заземлителя, показанные на рисунке 7.3, можно не учитывать при условии достижения сопротивления заземлителя растеканию тока не более 10 Ом (измеренного на частоте, отличающейся от частоты сети, чтобы избежать помех). Минимальная длина заземлителя для классов III и IV не зависит от удельного сопротивления грунта.

7.4.6 При сооружении заземления в районах с высоким удельным сопротивлением грунта с целью недопущения роста объемов земляных работ следует применять следующие меры:

- наращивание глубины погружения вертикальных заземлителей, если с глубиной удельное сопротивление снижается;

- в случае неэффективности увеличения глубины погружения вертикальных заземлителей использование заземлителей с большей площадью электрического контакта, например, пластин заземляющих;

- обработка грунта в околоэлектродном пространстве вертикальных и горизонтальных заземлителей неагрессивными к металлу заземлителей смесями для нормализации заземления с целью снижения удельного сопротивления грунта. (Примеры расчета заземляющего устройства при применении смеси для нормализации заземления в Приложении D).

7.4.7 Расположение типа В включает либо кольцевой проводник (контурный заземлитель), находящийся за пределами защищаемого здания (сооружения), соприкасающийся с почвой не менее чем на 80 % своей полной длины, либо заземлитель в фундаменте, в том числе и сетчатые заземлители.

7.4.8 В зданиях (сооружениях), где применяются только электрические системы, следует использовать заземлители типа А. В зданиях (сооружениях) с наличием электронных систем следует использовать заземлители типа В.

7.4.9 Минимальная длина l_1 каждого заземлителя на основании каждого токоотвода в соответствии с классом СМЗ и в зависимости от удельного эквивалентного сопротивления грунта составляет (рисунок 7.3):

- l_1 – для горизонтальных заземлителей;
- $0,5 l_1$ – для вертикальных (или наклонных) заземлителей.

В комбинированных заземлителях под l_1 следует понимать общую длину вертикальных и горизонтальных заземлителей.

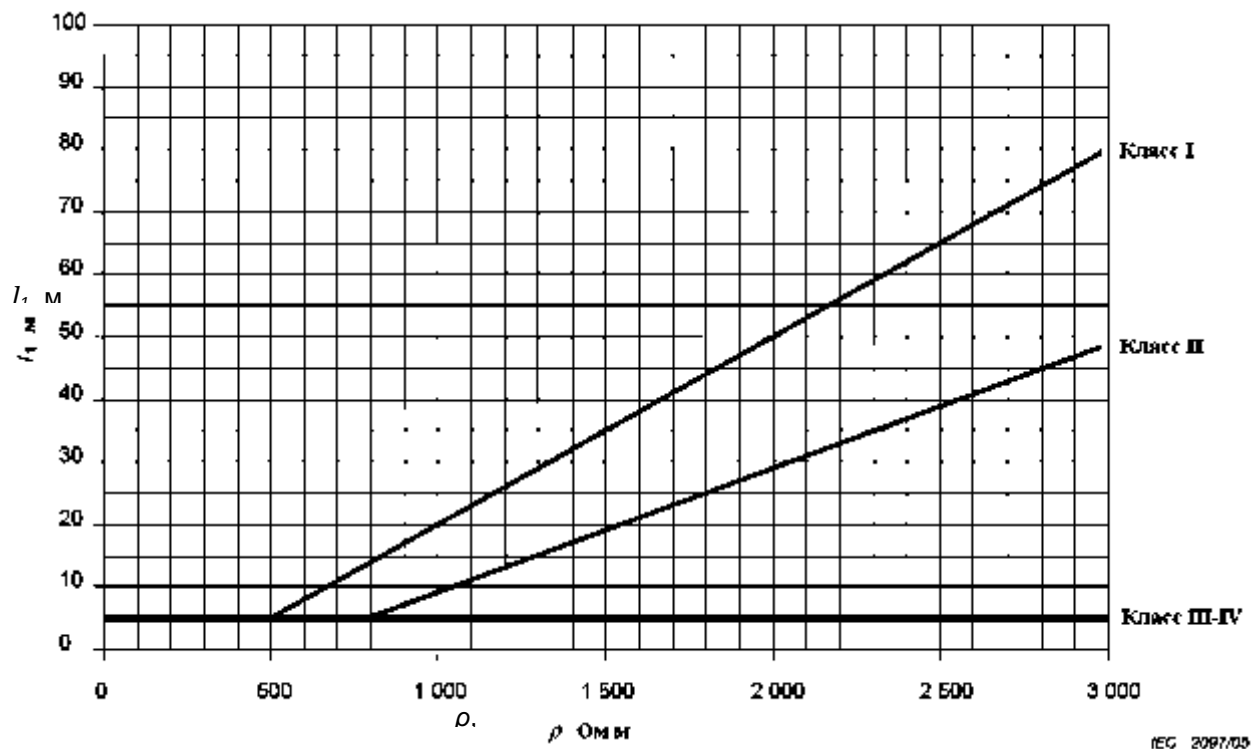


Рисунок 7.3 – Минимальная длина l_1 каждого заземлителя в соответствии с классом СМЗ

Длина горизонтального заземлителя в земле должна быть не меньше значения l_1 :

$$r_e \geq l_1, \quad (7.1)$$

где l_1 представлена на рисунке 7.3 в соответствии с уровнями молниезащиты СМЗ.

Если требуемое значение l_1 превышает соответствующее значение r_e , то необходимо добавить горизонтальный или вертикальный заземлители длиной l_r (горизонтальный) и l_v (вертикальный), рассчитываемые по следующим формулам:

$$l_r = l_1 - r_e, \quad (7.2)$$

$$l_v = (l_1 - r_e)/2, \quad (7.3)$$

7.4.10 Дополнительные вертикальные заземлители (электроды, стержни, штыри) должны соединяться с горизонтальным заземлителем.

7.4.11 Расстояние между вертикальными заземлителями, объединенными одним горизонтальным заземлителем, исходя из эффективного использования металла должно быть не менее их длины.

7.4.12 Глубина прокладки и тип заземлителей должны быть такими, чтобы свести к минимуму воздействия коррозии.

7.4.13 Горизонтальный заземлитель (типа В) устраивается в земле на глубине не менее 0,5 м и на расстоянии не менее 1 м от внешних стен объекта защиты.

Вертикальные заземлители (типа А) должны быть проложены на глубине по верхнему краю не менее 0,5 м и распределяться, по возможности, равномерно, чтобы свести к минимуму воздействия электрического взаимодействия в земле.

7.4.14 Заземляющие проводники следует устанавливать таким образом, чтобы их можно было проверить и заменить (при необходимости) в ходе строительства.

7.4.15 Заземлители одного защищаемого объекта (здания, сооружения) должны быть соединены между собой.

7.4.16 За исключением использования отдельно стоящего молниеотвода, заземлитель молниезащиты следует совмещать с заземлителями электроустановок и средств связи. Если эти заземлители должны быть разделены по любым технологическим соображениям, их следует объединить в общую систему с помощью системы уравнивания потенциалов. присоединять к общему заземлителю через искровые промежутки (или аналогичные устройства) при недопустимости их прямого соединения по условиям технологического процесса, при этом искровой промежуток должен перекрываться при ударе молнии в систему молниезащиты, обеспечивая уравнивание потенциала молнии, а также должны предусматриваться мероприятия по исключению прикосновения персонала к проводящим частям системы функционального заземления.

7.4.17 Изделия СМЗ должны быть выполнены из материалов, перечисленных в таблице 7.5, или из других материалов с равноценными механическими, электрическими и химическими (коррозия) техническими характеристиками. Для крепления проводников в том числе используются изделия, изготовленные из неметаллического материала.

Таблица 7.5 – Материалы системы молниезащиты и условия использования

Материал	Использование	Коррозия
----------	---------------	----------

СН 3.02. -2020

	На открытом воздухе	В земле	В бетоне	Сопротивление	Возрастает за счет	Может быть уничтожена гальванической связью
Медь	Сплошной проводник Многожильный проводник	Сплошной проводник Многожильный проводник В качестве покрытия	Сплошной проводник Многожильный проводник В качестве покрытия	Хорошее во многих средах	Сернистых веществ	—
Оцинкованная горячим, гальваническим способами либо методом термомодификации сталь	Сплошной проводник Многожильный проводник	Сплошной проводник	Сплошной проводник Многожильный проводник	Приемлемое на воздухе, в бетоне и в плодородной почве	Высокого содержания хлоридов	Медь
Нержавеющая сталь	Сплошной проводник Многожильный проводник	Сплошной проводник Многожильный электрод	Сплошной проводник Многожильный проводник	Хорошее во многих средах	Высокого содержания хлоридов	—
Алюминий	Сплошной проводник Многожильный проводник	Не используется	Не используется	Хорошее в атмосферах, содержащих низкие концентрации серы и хлорида	Щелочные растворы	Медь
Свинец	Сплошной проводник В качестве покрытия	Сплошной проводник В качестве покрытия	Не используется	Хорошее в атмосферах, содержащих высокие концентрации и сульфатов	Кислые грунты	Медь Нержавеющая сталь

7.4.18 Материал профиль и площадь поперечного сечения заземляющих электродов приведены в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Минимальные размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Поверхность	Профиль	Минимальный размер				
			Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Толщина, мм	Толщина покрытия	
						Единичное значение, мкм	Среднее значение, мкм
Сталь черная	Без покрытия	Прямоугольный ¹	—	100	4	—	—
		Угловой	—	—	4	—	—
		Трубный	32	—	3,5	—	—
		Круглый для вертикальных заземлителей длиной не более 5 м	12 ⁵	—	—	—	—
		Круглый для вертикальных заземлителей длиной более 5 м	16 ⁵	—	—	—	—
		Круглый для горизонтальных заземлителей	10 ⁵	—	—	—	—
Сталь	Оцинкованная горячим способом ² , методом термодиффузии или нержавеющей ^{2,3}	Прямоугольный	—	90	3	63	70
		Угловой	—	90	3	63	70
		Круглый для вертикальных заземлителей длиной не более 5 м	12 ⁵	—	—	63	70
		Круглый для вертикальных заземлителей длиной более 5 м	16 ⁵	—	—	63	70
		Круглая проволока для горизонтальных заземлителей	10 ⁵	—	—		50 ⁴
		Трубный	25	—	2	47	55
	В медной оболочке	Круглые стержни для глубинных электродов заземления	15	—	—	2000	
Сталь	С электрохимическим медным покрытием	Круглые стержни для глубинных электродов заземления	14	—	—	240	250
Медь	Без покрытия	Прямоугольный	—	50	2	—	—

СН 3.02. -2020

Материал	Поверхность	Профиль	Минимальный размер				
			Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Толщина, мм	Толщина покрытия	
						Единичное значение, мкм	Среднее значение, мкм
	тия ¹	Круглая проволока для горизонтальных заземлителей	—	25 ¹	—	—	—
		Трос	1,8 для каждой проволоки	25	—	—	—
		Трубный	—	—	2	—	—
	Луженая	Трос	1,8 для каждой проволоки	25	—	—	—
	Оцинкованная	Прямоугольный	—	50	2	20	40
¹ Прокат или нарезанная полоса со скругленными краями. ² Используется для электродов, погруженных в бетон. ³ Применяется без покрытия. ⁴ В случае непрерывного горячего цинкования толщиной покрытия в 50 мкм соответствует настоящим техническим возможностям. ⁵ Минимальный размер заземлителя молниезащиты. Покрытия, нанесенные методом горячего и термодиффузионного цинкования, должны быть коррозионностойкими (исключать появление коррозии в металле изделия).							

7.4.19 Соединения при монтаже заземлителей следует выполнять сваркой, пайкой, болтовыми соединениями с выполнением требований соответствующих ТНПА к электрическим соединениям.

7.4.20 Для уравнивания потенциалов при производстве работ по благоустройству используются в том числе готовые сетчатые заземлители, изготовленные промышленным способом. Материал, профиль и площадь поперечного сечения таких заземлителей приведены в таблице 7.7.

Таблица 7.7 Материал профиль и площадь поперечного сечения сетчатых заземлителей

Материал	Профиль	Площадь поперечного сечения листового заземлителя, мм ²	Минимальные размеры
----------	---------	--	---------------------

Медь луженая	Решетчатый лист (пластина)	>3600	600х600 мм, состоящий из ячеек 25х2 мм для полосы или диаметром 8 мм для круглого проводника
Сталь оцинкованная			600х600 мм, состоящий из ячеек 30х3 мм для полосы или диаметром 10 мм для круглого проводника

7.5 Электроизоляция внешней системы молниезащиты

7.5.1 Электрическая изоляция внешней СМЗ выполняется с целью исключения искрения (прорыва тока молнии) с элементов внешней СМЗ на проводящие части здания (сооружения) и выходящие из него коммуникации.

7.5.2 Электрическая изоляция между молниеприемником или токоотводом и частями зданий (сооружений), металлическими установками и внутренними системами осуществляться в том числе посредством обеспечения безопасного расстояния, превышающими по размеру безопасное расстояние s :

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} l \quad (7.4),$$

где k_i зависит от выбранного класса СМЗ (таблица 7.7);

k_c зависит от тока молнии, направленного на токоотводы (таблица 7.8);

k_m зависит от материала электроизоляции (таблица 7.9);

l – длина в метрах вдоль молниеприемника или токоотвода от точки, в которой рассматривают безопасное расстояние, до ближайшей точки уравнивания потенциалов.

Таблица 7.7 – Изоляция внешней системы молниезащиты. Значения коэффициента k_i

Класс СМЗ	k_i
I	0,08
II	0,06
III – IV	0,04

Таблица 7.8 – Изоляция внешней системы молниезащиты. Значения коэффициента k_c

Количество токоотводов, n	k_c
-----------------------------	-------

1	1
2	1 ... 0,5
4 и более	1 ... 1/n

Таблица 7.9 – Изоляция внешней системы молниезащиты. Значения коэффициента k_m

Материал	k_m
Воздушная	1
Бетон, кирпичи	0,5

7.5.3 При невозможности обеспечения безопасного расстояния, определенного по формуле 7.4, следует использовать дистанционные держатели.

7.5.4 Для линий или внешних токопроводящих частей, присоединенных к зданию (сооружению), необходимо всегда обеспечивать уравнивание потенциалов молнии (посредством прямого соединения или через УЗИП) в точке их входа в здание (сооружение).

7.6 Меры уравнивания потенциалов молнии

7.6.1 Уравнивание потенциалов достигается за счет взаимного соединения СМЗ с:

- металлическими элементами здания (сооружения);
- металлическими установками;
- внутренними системами;
- внешними токопроводящими системами и линиями, присоединенными к зданию (сооружению).

7.6.2 В отношении изолированной внешней СМЗ уравнивание потенциалов молнии устанавливают только на уровне земли.

7.6.3 В неизолированной внешней СМЗ уравнивание потенциалов молнии устанавливают в следующих местах:

- в фундаменте или почти на уровне земли. Соединяющие проводники должны соединяться с шиной для уравнивания потенциала, созданной и установленной таким образом, чтобы имелся свободный доступ с целью проверки. Шину для уравнивания потенциала подсоединяют к системе заземления. Для зданий (сооружений) длиной более 20 м устанавливают несколько таких шин, при условии, что они соединены между собой;

– там, где требования к изоляции не выполняются.

7.6.4 Соединения уравнивания потенциала молнии должны быть прямыми и вертикальными.

7.6.5 Минимальные значения поперечного сечения проводников уравнивания потенциалов, соединяющих внутренние металлические установки с шинами для уравнивания потенциалов, перечислены в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Минимальные размеры проводников, соединяющих внутренние металлические установки с шиной для уравнивания потенциала

Класс СМЗ	Материал	Поперечное сечение, мм ²
I – IV	Медь	5
	Алюминий	8
	Сталь	16

7.6.6 Если изолирующие детали вставлены в газопроводные линии, водопроводные трубы и другие протяженные проводящие коммуникации, выходящие за пределы здания (сооружения), внутри защищаемого здания (сооружения), они должны по согласованию с эксплуатирующей коммуникацию организацией шунтироваться с помощью УЗИП, спроектированных специально для такой операции.

УЗИП должны иметь следующие характеристики:

- принадлежность к классу I;
- $I_{\text{imp}} \geq k_{\text{cl}}$, где k_{cl} – ток молнии, текущий вдоль соответствующей части внешней СМЗ (значение коэффициента k_{c} приведено в таблице 7.8);
- уровень защиты U_{p} должен быть ниже допустимого импульсного напряжения изоляции между деталями.

7.6.7 В случае, если требуется уравнивание потенциалов, но не требуется обеспечения СМЗ, то для этой цели следует использовать заземление низковольтного электрического оборудования.

При этом УЗИП должны иметь следующие характеристики:

- принадлежность к классу I;
- $I_{\text{imp}} \geq k_{\text{cl}}$, где k_{cl} – ток молнии, текущий вдоль рассматриваемой части внешней токопроводящей детали;
- уровень защиты U_{p} должен быть ниже допустимого импульсного напряжения изоляции между деталями.

7.6.8 Во внешних токопроводящих частях уравнивание потенциалов молнии должно устанавливаться как можно ближе к точке входа в защищаемое здание (сооружение). Уравнивание потенциалов молнии экранов кабеля или трубопроводов осуществляют вблизи точки, в которой они входят в здание (сооружение).

7.6.9 Если проводники внутренних систем экранированы или размещены в металлических кабельных конструкциях (трубы, короба, лотки), то достаточно соединить только эти экраны и кабельные конструкции (конструктивные элементы также должны быть электрически соединены между собой).

7.6.10 Если проводники внутренних систем не имеют экранирования и не помещены в металлические кабельные конструкции, их следует соединять через разъемы РПН. В системах заземления TN проводники РЕ и PEN должны соединяться с СМЗ напрямую или через УЗИП. Если требуется защита внутренних систем от бросков тока, то необходимо использовать «скоординированную защиту УЗИП».

7.6.11 Уравнивание потенциалов молнии для линий электропередачи и связи должно обеспечиваться в соответствии с уравниванием для внешних токопроводящих частей. Все проводники каждой линии должны соединяться напрямую или через УЗИП. Провода под напряжением должны соединяться только с шиной для уравнивания потенциалов через УЗИП. В системах заземления TN проводники РЕ и PEN должны соединяться с шиной напрямую или через УЗИП.

7.6.12 Если линии экранированы или проходят по металлическим кабельным конструкциям, то эти экраны и конструкции должны быть соединены; но уравнивание потенциалов молнии не является обязательным при условии, что поперечное сечение S_c этих экранов или трубопроводов не ниже минимального значения $S_{c\ min}$.

7.7 Меры защиты от поражения людей вследствие воздействия напряжения прикосновения и шагового напряжения.

7.7.1 Соответствующие меры защиты от поражения людей вследствие напряжения прикосновения и шагового напряжения следует применять в обязательном порядке при большой вероятности гибели людей или их увечий вследствие ударов молнии непосредственно в здания или сооружения (например, если $R_A > R_T$).

7.7.2 Степень опасности снижается до допустимого уровня, если выполняется несколько следующих условий в приоритетном порядке:

- уравнивание потенциалов с помощью сетчатой системы заземления, располагаемой в грунте на глубине 0,5-0,8 м в местах скопления и движения людей во время грозы, таких как: пешеходные дорожки по направлению ко входу в здания (сооружения), отмостка зданий (сооружений), навесы от стен зданий (сооружений).

В местах нового строительства в качестве сетчатого заземлителя, при использовании сетки из стальной арматуры бетонных полов, надежно соединенной между собой и подключенной к заземлению молниезащиты. При устройстве молниезащиты в уже возведенных зданиях (сооружениях) при их модернизации для уравнивания потенциалов должны использоваться готовые сетчатые заземлители в виде пластин решетчатых либо решетчатых листов, произведенных промышленным способом с учетом требований стандартов молниезащиты к материалу и конструкции заземляющих устройств.

Сетчатую систему заземления следует обрабатывать смесью для нормализации заземления с целью снижения удельного сопротивления грунта. После обратной засыпки сетчатой системы заземления грунтом с толщиной слоя не менее 0,025 м далее по всей ее площади создается слой изоляционного материала с высоким удельным сопротивлением, например, слой гравия толщиной 0,15 м в сочетании со слоем асфальта, толщиной 0,05-0,1 м (укладка полимерного листа толщиной не менее 3 мм в сочетании с укладкой поверх его тротуарной плитки);

- естественная система токоотводов состоит из нескольких колонн прочной металлоконструкции здания (сооружения) или из нескольких столбов из соединенных между собой стальных конструкций здания (сооружения) с обеспечением электрической непрерывности;

- изоляция выступающего токоотвода, обеспечивающая импульсное выдерживаемое напряжение 100 кВ, 1,2/50 мкс. Токоотвод расположенный на внешних сторонах здания (сооружения), должен быть изолирован от прикосновения человека на высоту от поверхности грунта не менее 3 м;

- вероятность приближения людей к зданию (сооружению) или продолжительность их присутствия с наружной стороны здания (сооружения) и близко к токоотводам очень мала;

- сопротивление поверхностного слоя почвы на расстоянии 3 м от токоотвода

составляет не менее 5000 Ом*м.

7.7.3 Если ни одно либо несколько из этих условий не выполняется, необходимо применять следующие меры молниезащиты:

- от поражения людей напряжением прикосновения физические ограничения и предупредительные надписи с целью сведения к минимуму вероятности прикосновения к токоотводам и нахождения в зоне растекания электрического разряда молнии.

- от поражения людей вследствие шагового напряжения физические ограничения движения людей и предупредительные надписи с целью сведения к минимуму вероятности попадания в опасную зону на расстоянии 10 м от токоотводов.

8 Защита от электромагнитного воздействия молнии

8.1 Меры защиты от электромагнитного воздействия молнии

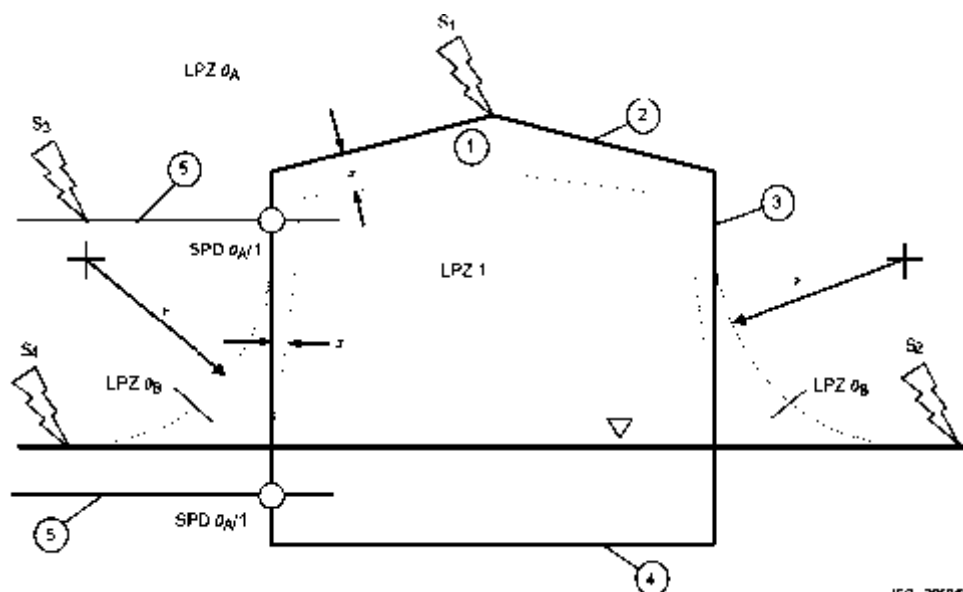
8.1.1 Выполняется в целях обеспечения электромагнитной совместимости электронных систем и защиты изоляции электрического оборудования.

Выполняет защиту от:

- кондуктивных перенапряжений (прямое проникновение тока молнии в цепи);
- индуцированных перенапряжений (перенапряжения, наводимые в цепях электромагнитным полем молнии);
- воздействия электромагнитного поля молнии непосредственно на оборудование.

8.1.2 Такие защитные средства как внешняя система молниезащиты, экранирование, эквипотенциальные соединения проводящих частей (уравнивание потенциалов) и УЗИП определяют зоны защиты от воздействия молнии (рисунок 8.1). С ростом номера зоны защиты снижается влияние электромагнитного поля и тока молнии.

8.1.3 Данные зоны являются теоретически определенными участками пространства, где интенсивность воздействия молнии совместима с допустимыми параметрами внутренних систем.



1 – здание (сооружение); 2 – система молниезащиты (СМЗ); 3 – токоотвод; 4 – заземлитель; 5 – входящая системы энергоснабжения; S1 – удар молнии в здание (сооружение); S2 – удар молнии вблизи здания (сооружения); S3 – удар молнии в систему энергоснабжения здания (сооружения); S4 – удар молнии вблизи системы энергоснабжения здания (сооружения); r – радиус катящейся сферы; s – зазор, обеспечивающий защиту от опасного искрения; ▽ – уровень земли; ○ – уравнивание потенциалов молнии с помощью ограничителей перенапряжения; ЗМЗ (зона молниезащиты) ОА – прямой разряд молнии, полный ток молнии; ЗМЗ ОВ – не прямой разряд молнии, частичная молния или индуцированный ток; ЗМЗ 1 – не прямой разряд молнии, ограниченная молния или индуцированный ток

Рисунок 8.1 – Зона молниезащиты, определяемая системой молниезащиты

8.1.4 Принимая во внимание опасность молнии, определены следующие зоны защиты:

1) внешние зоны:

– 0 – зона, в которой опасность вызвана не уменьшающимся электромагнитным полем молнии и где внутренние системы могут быть подвержены воздействию перенапряжений от полного или неполного тока молнии. ЗМЗ подразделяются на:

– ОА – зона (вне зоны внешней молниезащиты), в которой опасность заключается в прямом ударе молнии и во всем электромагнитном поле молнии. Внутренние системы могут подвергаться воздействию перенапряжений от полного тока молнии;

– ОВ – зона (в зоне внешней молниезащиты), защищенная от прямых попаданий молнии, но где опасность заключается во всем электромагнитном поле молнии. Внутренние системы могут подвергаться воздействию перенапряжений от неполного тока молнии;

2) внутренние зоны:

– 1 – зона, в которой перенапряжения снижаются за счет перераспределения тока и УЗИП на границе зон ОВ и 1. Пространственное экранирование может ослаблять электромагнитное поле молнии;

– 2 ... n – зона, в которой перенапряжения могут быть в дальнейшем ограничены перераспределением тока и дополнительными УЗИП на границах зон. Дополнительное пространственное экранирование используется в дальнейшем для ослабления электромагнитного поля молнии.

8.1.5 На границах зон должны осуществляться мероприятия по экранированию и соединению всех пересекающих границу металлических элементов и коммуникаций.

8.1.6 Две пространственно разделенные зоны 1 с помощью экранированного соединения образуют общую зону.

8.1.7 Основные меры защиты от электромагнитного импульса, исходящего от разрядов молнии включают в себя:

1) заземление и уравнивание потенциалов. Система заземления проводит к растеканию тока молнии в земле. Система уравнивания потенциалов сводит к минимуму разность электрических потенциалов и уменьшает магнитное поле;

2) магнитное экранирование и прокладка линии. Пространственное экранирование ослабляет магнитное поле внутри ЗМЗ, возникающее при прямых ударах молнии на здании (сооружении) или рядом с ним, и уменьшает внутренние импульсные перенапряжения. Экранирование внутренних линий с использованием экранированных кабелей и металлических кабельных конструкций сводит к минимуму внутренние индуцированные напряжения. Прокладка внутренних линий минимизирует петли индуктивности и уменьшает внутренние импульсные перенапряжения. Пространственное экранирование, экранирование и прокладка внутренних линий комбинируются или используются отдельно. Экранирование внешних линий, входящих в здание (сооружение), уменьшает импульсные перенапряжения, передающиеся внутренним системам.

3) скоординированная защита при помощи УЗИП, которая ограничивает воздействия внешних и внутренних импульсных перенапряжений.

8.1.8 Другие меры защиты от электромагнитного импульса, исходящего от разрядов молнии, используются отдельно друг от друга либо в комбинации.

8.1.9 Меры защиты от электромагнитного импульса, исходящего от разрядов молнии, должны выдерживать эксплуатационные превышения воздействий внешней среды, ожидаемые в местах их установки (например, температуры, влажности, коррозионного содержания атмосферы, вибрации, а также напряжения и тока). Выбор наиболее подхо-

дящих мер защиты от электромагнитного импульса, исходящего от разрядов молнии, осуществляется с использованием оценки рисков.

8.2 Заземление и уравнивание потенциалов

8.2.1 Заземление предназначено для отвода части тока молнии (не менее 50%) в землю, при этом снижается напряжение на заземлителе и в системе уравнивания потенциалов.

8.2.2 Уравнивание потенциалов сводит к минимуму разность электрических потенциалов между всеми проводящими элементами здания (сооружения) и уменьшает магнитное поле молнии.

8.2.3 Замкнутая система заземления, включающая в себя заземление и систему уравнивания потенциалов, представлена на рисунке 8.2.

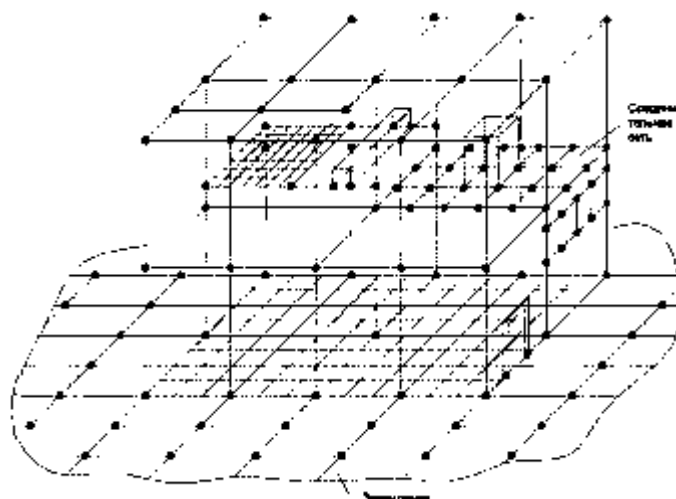
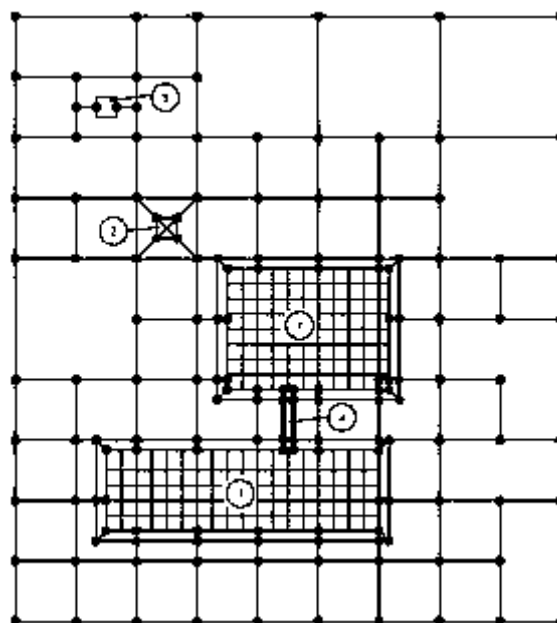


Рисунок 8.2 – Пример трехмерной системы заземления, включающей заземление и систему уравнивания потенциалов

8.2.4 Заземление зданий (сооружений) должно соответствовать 7.4 и ТКП 339.

8.2.5 Горизонтальный заземлитель вокруг здания (сооружения) или кольцевой проводник в бетоне по периметру грунтового основания должен быть соединен с сетью ячеек размером ячейки 5 м под зданием (сооружением) и вокруг него. Пример сетчатого заземления с ячейками показан на рисунке 8.3.



- 1 – сооружение с арматурным основанием в виде ячеек;
- 2 – башня внутри здания (сооружения);
- 3 – изолированное оборудование;
- 4 – кабельный лоток

Рисунок 8.3 – Сетчатое заземляющее устройство здания (сооружения)

8.2.6 Понижение разности потенциалов между двумя внутренними системами, которые в некоторых специальных случаях могут быть присоединены к разным системам заземления, обеспечивается следующими способами:

- посредством прокладки нескольких параллельных проводников уравнивания потенциалов по тем же трассам, что и электрические кабели, или прокладки кабелей в бетонных блоках с сетчатой арматурой (или в металлических кабельных конструкциях, обеспечивающих непрерывность электрической цепи в соединениях), присоединенных к обеим системам заземления;

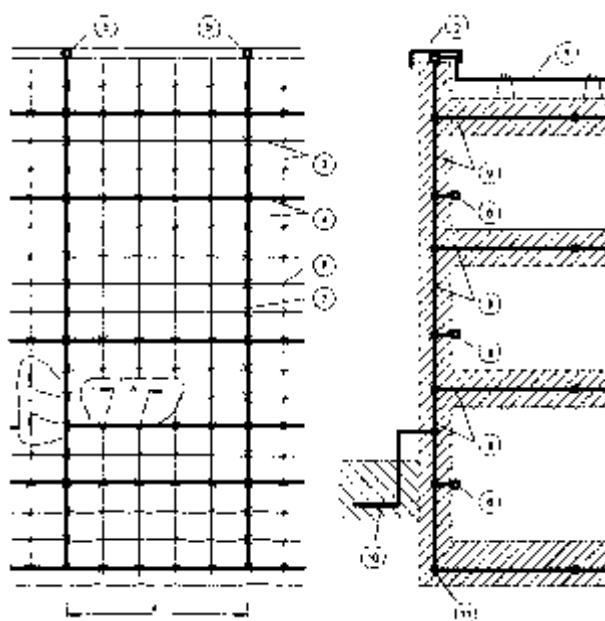
- посредством применения экранированных кабелей с экранами достаточного поперечного сечения, присоединенных к отдельным системам заземления на каждом конце.

8.2.7 Заземление устройств, входящих в ЗМЗ 1, должно быть согласовано с их эксплуатирующими службами во избежание коллизии требований.

8.2.8 Система уравнивания потенциалов низкого сопротивления необходима для того, чтобы избежать угрозы разности электрических потенциалов между всем оборудованием внутри зоны молниезащиты. Соединительная сеть уменьшает магнитное поле и устраивается при помощи ячеистой соединительной сети, включающей в себя тоководу-

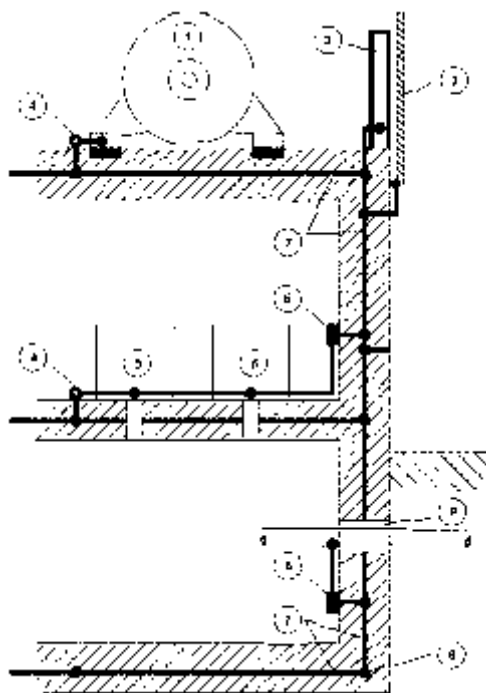
щие части зданий (сооружений) или части внутренних систем, или токоведущего оборудования, соединенных на границе каждой ЗМЗ напрямую или путем использования соответствующих УЗИП.

8.2.9 Система уравнивания потенциалов устраивается в качестве трехмерного ячеистого сооружения с типичным размером ячейки 5 м (рисунок 8.2). Это требует многочисленных взаимосоединений металлических компонентов в зданиях (сооружениях) и на них (таких, как бетонная арматура, направляющие лифта, краны, металлические крыши, металлические фасады, металлические рамы окон и дверей, металлокаркасы пола, трубопроводы и кабельные лотки). Шины уравнивания потенциалов (например, кольцевые шины уравнивания потенциалов, несколько шин уравнивания потенциалов на различных уровнях сооружения), а также магнитные экраны зон защиты от молнии должны быть объединены таким же способом. Примеры соединительных сетей приведены на рисунках 8.4 и 8.5.



1 – воздушный молниеотвод; 2 – металлическое покрытие парапета крыши; 3 – стальные укрепляющие пруты; 4 – сетчатые проводники в дополнение к арматуре; 5 – место соединения сетчатого проводника; 6 – место соединения внутреннего замыкателя; 7 – соединение с помощью зажимов или пайки; 8 – произвольное соединение; 9 – стальная арматура в бетоне (с добавленными сетчатыми проводами); 10 – кольцевой проводник; 11 – основание заземляющего электрода; а – типичное расстояние в 5 м для добавленных сетчатых проводов; b – типичное расстояние в 1 м для соединения сетчатых проводов с арматурой

Рисунок 8.4 – Использование арматуры здания (сооружениях) для уравнивания потенциалов молнии



1 – силовое электрооборудование; 2 – стальная балка; 3 – металлическое покрытие фасада; 4 – место соединения; 5 – электрическое или электронное оборудование; 6 – замыкатель; 7 – стальная арматура в бетоне (с дополнительными сетчатыми проводниками); 8 – основание заземляющего электрода; 9 – общее входное отверстие для разного оборудования

Рисунок 8.5 – Уравнивание потенциалов молнии в зданиях (сооружениях) со стальной арматурой

8.2.10 Соединения металлических элементов и систем, которые находятся внутри защищаемого пространства и пересекают границы зон молниезащиты, выполняются на границах зон.

8.2.11 Уравнивание потенциалов должно быть выполнено при помощи шин уравнивания потенциалов, которые следует устанавливать как можно ближе к точке ввода на границе зоны защиты от молнии. Коммуникации должны входить в зону защиты от молнии в одном и том же месте и должны быть подключены к одной и той же шине уравнивания потенциалов. Если внешние проводящие части, силовые кабели или кабели связи входят в объект в разных точках и поэтому имеется несколько шин уравнивания потенциалов, последние присоединяются кратчайшим путем к замкнутому контуру заземления.

8.2.12 Если замкнутого контура заземления нет, указанные заземляющие шины присоединяются к отдельным заземлителям и соединяются внешним кольцевым проводником или разорванным кольцом. Если внешние проводящие части входят в объект над

землей, заземляющие шины присоединяются к горизонтальному кольцевому проводнику внутри или снаружи стен. Этот проводник, в свою очередь, соединяется с нижними проводниками и арматурой.

8.2.13 Минимальная площадь поперечного сечения для компонентов заземления должна соответствовать таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Минимальная площадь поперечного сечения для компонентов заземления

Компонент заземления		Материал ¹	Площадь поперечного сечения ² , мм ²
Замыкатели (медь или оцинкованная сталь)		Cu, Fe	50
Соединительные провода от шин уравнивания потенциалов к системе заземления или к другим шинам уравнивания потенциалов		Cu	14
		Al	22
		Fe	50
Соединительные проводники от внутренних металлических устройств к шинам уравнивания потенциалов		Cu	5
		Al	8
		Fe	16
Соединительные проводники для УЗИП ³	класса I	Cu	5
	класса II		3
	класса III		1
¹ Другой используемый материал должен иметь площадь поперечного сечения, обеспечивающую эквивалентное сопротивление. ² Проводники из другого материала должны иметь поперечное сечение, гарантирующее эквивалентное сопротивление. ³ Для УЗИП, используемых в силовых цепях, проводники должны соответствовать требованиям термической стойкости при коротких замыканиях и выбираться с учетом рекомендаций производителя УЗИП.			

8.3 Магнитное экранирование и прокладка линий

8.3.1 Магнитное экранирование уменьшает электромагнитное поле и понижает значение наведенных перенапряжений внутри сооружения. Выбор соответствующих трасс внутренних цепей также снижает амплитуду наведенных внутренних перенапряжений. Обе эти меры эффективно уменьшают количество повреждений во внутренних системах.

8.3.2 Пространственные экраны (сетчатые или сплошные металлические экраны, части самого сооружения) определяют защищенные зоны, которые могут охватывать все сооружение, его часть, одно помещение или только оболочку оборудования.

8.3.3 Пространственные экраны следует предусматривать на ранней стадии проектирования нового здания (сооружения) или новой внутренней системы.

8.3.4 Для экранирования кабелей и оборудования, подлежащего защите, используются экраны кабелей, закрытые металлические кабельные конструкции и металлические оболочки оборудования.

8.3.5 Выбор соответствующих трасс внутренних линий уменьшает площадь индуктивных контуров и возможность возникновения перенапряжений внутри сооружения. Площадь контура следует уменьшать за счет прокладки кабелей вблизи заземленных частей здания (сооружения) и/или за счет совместной прокладки электрических и коммуникационных цепей, при этом для исключения помех обеспечивается безопасное расстояние между силовыми и неэкранированными коммуникационными кабельными линиями.

8.3.6 Экранирование внешних линий, входящих в здание (сооружение), включает в себя экраны кабелей, закрытые металлические кабельные конструкции и бетонные кабельные каналы с соединенной стальной арматурой.

8.3.7 Если электрические кабели проходят между соседними объектами, заземлители последних следует соединять для увеличения числа параллельных проводников и уменьшения, благодаря этому, токов в кабелях.

Кабели, которые идут от одного объекта к другому, по всей длине укладываются в металлические трубы, сетчатые короба или железобетонные короба с сетчатой арматурой. Металлические элементы труб, коробов и экраны кабелей присоединяются к заземляющим шинам объектов.

8.3.8 На границе зон защиты от молнии 0_А и 1 материалы и размеры магнитных экранов (например, пространственные экраны в виде сетки, кабельные экраны и оболочки оборудования) должны соответствовать требованиям МЭК 62305-3 к проводникам молниеприемников и/или токоотводов. В частности:

- минимальная толщина листовых металлических частей, металлических коробов, труб и кабельных экранов должна соответствовать таблице 7.2;

- расположение пространственных экранов, выполненных в виде сетки, и минимальное поперечное сечение проводников, соединяющих отдельные части экрана, должны соответствовать таблице 7.3.

8.3.9 Соответствие размеров магнитных экранов, не предназначенных для проведения тока молнии, данным таблиц 7.2 и 7.3 не требуется на границе зон 1/2 или выше, при

условии соблюдения расстояния разделения s между магнитными экранами и системой защиты от молнии.

8.3.10 Экранирование является способом уменьшения электромагнитных помех. Его следует устраивать в первую очередь при большой вероятности гибели людей или их увечий вследствие ударов молнии вблизи в здания или сооружения (например, если $R_M > R_T$), а также при наличии в здании (сооружении) ответственного электронного оборудования (например, серверы для хранения финансовой отчетности).

8.4 Скоординированное устройство защиты от импульсных перенапряжений

8.4.11 УЗИП устанавливаются для отведения части тока молнии и ограничения перенапряжений, воздействующих на изоляцию, до допустимой величины, определяемой испытательным напряжением защищаемой изоляции.

8.4.12 УЗИП следует применять, если при расчете риска $R_C > R_T$, в жилых зданиях высотой от 4-х этажей и выше, расположенных в городской черте, на объектах, содержащих микроэлектронные устройства ответственных систем (например, серверы для хранения финансовой информации и т.п.).

8.4.3 При скоординированной установке УЗИП должны устанавливаться на границах зон: 0_A и 1 – I класс, 1 и 2 – II класс, 2 и 3 – III класс.

8.4.4 УЗИП I класса следует устанавливать на входе в здание (сооружение) цепей, которые могут подвергаться прямому воздействию тока молнии (ввод питания, цепи наружного освещения, антенный кабель и т.п.) и присоединяться к заземлителю по кратчайшему пути.

УЗИП II класса следует устанавливать в здании (сооружении) в ближайших узловых точках схемы (вводное распределительное устройство, шкаф наружного освещения и т.п.), при этом необходимо соблюдать требования производителя в отношении минимальной длины кабеля между УЗИП I и II классов для обеспечения их селективной работы (разрядник I класса имеет меньшее быстродействие, чем варистор II класса). В случае невозможности обеспечения требуемого расстояния по кабелю необходимо рассматривать установку УЗИП I+II класса вместо УЗИП I класса на входе в здание (сооружение) либо использовать УЗИП с технологией, не требующей дополнительной координации (выдержка минимальной длины проводника или использование координирующего дросселя) между УЗИП I и II классов.

УЗИП класса III устанавливается непосредственно возле защищаемого оборудования, если уровня ограничения УЗИП II класса недостаточно.

8.4.4 В силовых цепях дополнительно должны рассматриваться вопросы:

- стойкости УЗИП к сопровождающему току (например, в сети TN к току однофазного короткого замыкания);

- установки в цепи УЗИП предохранителей при недопустимости отключения питания вследствие повреждения УЗИП (автоматические выключатели используются только при специальном обосновании). В случае невозможности обеспечения селективности предохранителя, стойкого к току разряда, и вводного выключателя предохранители в цепи УЗИП не устанавливаются, при этом возможна установка некоторых УЗИП, которые не требуют установки дополнительного предохранителя в виду наличия встроенной защиты от сверхтоков;

- требуемого минимального сечения соединительных проводов УЗИП, обусловленного их термической стойкости к сопровождающему току короткого замыкания и чувствительностью защит (недостаточное сечение соединительных проводов ограничивает ток короткого замыкания и снижает чувствительность защиты от сверхтоков);

- применения разрядников или УЗИП с опцией отсутствия тока утечки в цепях, защищаемых поперечными дифференциальными защитами (УЗО).

8.4.5 Суммарная длина соединительных проводов для подключения УЗИП от защищаемой цепи до шины заземления не должна превышать 0,5 м.

8.4.6 Основные параметры при выборе УЗИП:

- тип сети;
- тип системы заземления;
- номинальное напряжению сети U_N ;
- максимальное рабочему напряжению сети U_C ;
- класс защиты;
- токи разряда (I_{imp} , I_{max} , I_n);
- уровень защиты U_p ;
- стойкость к сопровождающему току I_{fi} -

Дополнительные параметры при выборе УЗИП: рабочая температура, наличие в конструкции терморазмыкателей либо предохранителей, сменных модулей, наличие сигнализации, индикации, блок-контактов, технология защиты, возможности монтажа и т.п.

9 Управление защитой от электромагнитного воздействия молнии

9.1 Для получения рентабельной и эффективной системы защиты меры защиты должны определяться на начальной стадии проектирования при определении концепции объекта специалистом по молниезащите в координации со специалистами по смежным частям проекта (например, инженеры-строители, инженеры-электрики, инженеры-связисты и т.д.).

9.2 Защита должна поддерживаться посредством контроля и технического обслуживания. После изменения строительных или схемных решений, а также мер защиты должны проводиться новая оценка риска и, при необходимости, корректировка мер защиты.

9.3 В соответствии с уровнем молниезащиты и принимаемыми мерами защиты, выполняются следующие этапы:

- должна быть предусмотрена система заземления, включающая в себя сеть уравнивания потенциалов и заземляющее устройство;
- внешние металлические части и входящие коммуникации должны быть присоединены к системе заземления напрямую или через соответствующие УЗИП;
- внутренние системы должны быть присоединены к системе уравнивания потенциалов;
- должно быть применено пространственное экранирование в сочетании с изменением трасс прокладки и экранированием линий;
- должны быть определены требования для системы согласованных УЗИП;
- для существующих сооружений могут потребоваться специальные меры.

9.4 После этого соотношение затраты/преимущество выбранных мер защиты должно быть переоценено и оптимизировано с использованием повторного метода оценки риска.

9.5 После установки новых мер защиты техническую документацию проверяют на соответствие ТНПА и для подтверждения целостности системы.

10 Молниезащита объектов электроэнергетики

10.1 Построение зоны защиты

10.1.1 В силу того, что разрядные напряжения воздушных промежутков, особенно при расстояниях в десятки метров, имеют значительные статистические разбросы, молниеотводы обеспечивают защиту объекта лишь с некоторой степенью вероятности.

10.1.2 Зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h является круговой конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода. Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса « h_0 » и радиусом конуса на уровне земли « r_0 ». Зона защиты одиночного молниеотвода приведена на рисунке 10.1.

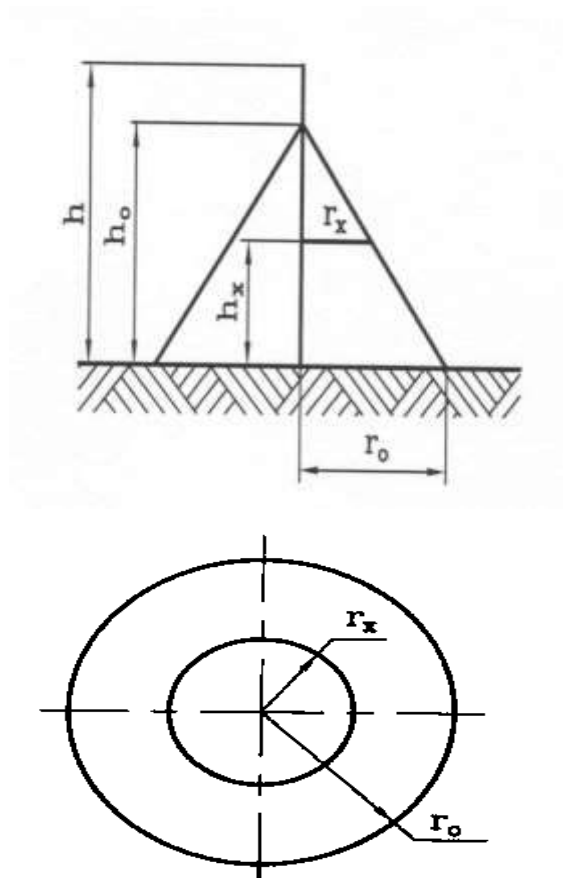


Рисунок 10.1 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

Полуширина r_x зоны защиты требуемой надежности на высоте h_x от поверхности земли определяется выражением:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}, \quad (10.1)$$

10.1.3 В таблице 10.1 приведены расчетные формулы, зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м с учетом надежности защиты.

Таблица 10.1 – Расчетные формулы для определения зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Надежность защиты P_z	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9	От 0 до 100	$0,85 \cdot h$	$1,2h$
	От 100 до 150	$0,85h$	$[1,2 - 10^{-3}(h-100)] \cdot h$
0,99	От 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	От 30 до 100	$0,8h$	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$
	От 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3}(h-100)] \cdot h$	$0,7h$
0,999	От 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	От 30 до 100	$[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)] \cdot h$	$[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$
	От 100 до 150	$[0,65 - 10^{-3}(h-100)] \cdot h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h-100)] \cdot h$

Зона защиты одиночного тросового молниеотвода приведена на рисунке 10.3.

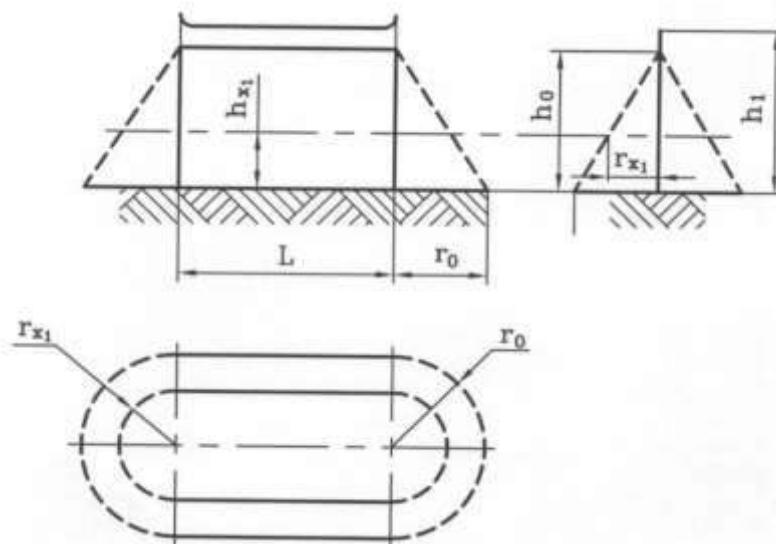


Рисунок 10.3 – Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

10.1.4 В таблице 10.2 приведены расчетные формулы зон защиты одиночного тросового молниеотвода высотой до 150 м. Под « h » понимается минимальная высота троса над уровнем земли (с учетом провеса).

СН 3.02. -2020

Полуширина r_x зоны защиты требуемой надежности на высоте h_x от поверхности земли определяется выражением:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}, \quad (10.2)$$

При необходимости расширить защищаемый объем к торцам зоны защиты собственно тросового молниеотвода следует добавлять зоны защиты несущих опор, которые рассчитываются по формулам одиночных стержневых молниеотводов в соответствии с таблицей 10.2.

В таблице 10.2 приведены формулы для расчета зоны защиты одиночного тросового молниеотвода.

Таблица 10.2 – Расчет зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

Надежность защиты P_z	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9	От 0 до 150	$0,87 \cdot h$	$1,5 \cdot h$
0,99	От 0 до 30	$0,8 \cdot h$	$0,95 \cdot h$
	От 30 до 100	$0,8 \cdot h$	$[0,95 - 7,14 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$
	От 100 до 150	$0,8 \cdot h$	$[0,9 - 10^{-3}(h-100)] \cdot h$
0,999	От 0 до 30	$0,7 \cdot h$	$0,7 \cdot h$
	От 30 до 100	$[0,75 - 4,28 \cdot 10^{-4}(h-30)] \cdot h$	$[0,7 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$
	От 100 до 150	$[0,72 - 10^{-3}(h-100)] \cdot h$	$[0,6 - 10^{-3}(h-100)] \cdot h$

10.1.5 Стержневой молниеотвод считается двойным когда расстояние между стержневыми молниеотводами L не превышает предельной величины $L_{\max}$. Для молниеотводов разной высоты значение $L_{\max}$, L_c принимается наименьшим из двух значений. В противном случае оба молниеотвода рассматриваются как одиночные.

Конфигурация вертикальных и горизонтальных сечений зон защиты двойного стержневого молниеотвода (высотой h и расстоянием L между молниеотводами) представлена на рисунке 10.4. Построение внешних областей зон двойного молниеотвода (полуконусов с габаритами h_0 , r_0) проводится в соответствии с формулами таблицы 10.1.

Размеры внутренних областей определяются параметрами h_0 и h_c , первый из которых задает максимальную высоту зоны непосредственно у молниеотвода, а второй – минимальную высоту зоны посередине между молниеотводами. При расстоянии между молниеотводами $L \leq L_c$ граница зоны не имеет провеса ($h_c = h_0$). Для расстояний $L_c \leq L \leq L_{\max}$ высота h_c определяется по выражению:

$$h_c = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_c} h_0 \quad (10.3)$$

При расчете h_c для молниеотводов разной высоты значения h_0 принимается средне-арифметическим из двух значений; а $L_{\max}$, L_c – наименьшими для двух стержневых молниеотводов.

Входящие в него предельные расстояния вычисляются по формулам таблицы 10.3.

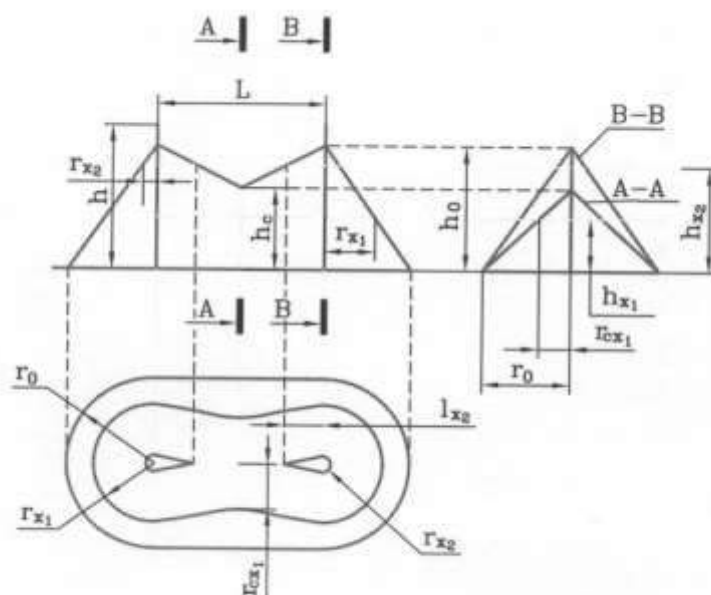


Рисунок 10.4 – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

Размеры горизонтальных сечений зоны вычисляются по следующим формулам, общим для всех уровней надежности защиты:

максимальный радиус зоны r_x в горизонтальном сечении на высоте h_x (при их разной высоте молниеприемника вычисляется для каждого отдельно):

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} \quad (10.4)$$

длина горизонтального сечения l_x на высоте $h_x \geq h_c$

$$l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)} \quad (10.5)$$

причем $h_x < h_c$, $l_x = L/2$;

Зона образовывается от точки l_x касательными к окружности r_{x1} и r_{x2} (при их разной высоте молниеприемника, l_x вычисляется для каждого молниеприемника отдельно)

СН 3.02. -2020

А ширина горизонтального сечения в центре между молниеотводами $2r_{cx}$ на высоте $h_x \leq h_c$

$$r_{cx} = r_c (h_c - h_x) / h_c \quad (10.6)$$

где

$$h_c = (h_{c1} - h_{c2}) / 2;$$

$$r_c = (r_{01} + r_{02}) / 2$$

Таблица 10.3 – Формулы расчета зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

Надежность защиты P_z	Высота молниеотвода h , м	L_{max} , м	L_c , м
0,9	От 0 до 30	$5,75h$	$2,5h$
	От 30 до 100	$[5,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$	$2,5h$
	От 100 до 150	$5,5h$	$2,5h$
0,99	От 0 до 30	$4,75h$	$2,25h$
	От 30 до 100	$[4,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$	$[2,25 - 0,0107(h-30)] \cdot h$
	От 100 до 150	$4,5h$	$1,5h$
0,999	От 0 до 30	$4,25h$	$2,25h$
	От 30 до 100	$[4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$	$[2,25 - 0,0107(h-30)] \cdot h$
	От 100 до 150	$4h$	$1,5h$

10.1.6 Тросовый молниеотвод считается двойным, когда расстояние между тросами не превышает предельной величины L_{max} , в противном случае оба молниеотвода рассматриваются как одиночные. Для тросов разной высоты значение L_{max} , L_c принимается наименьшим из двух значений. Конфигурация вертикальных и горизонтальных сечений стандартных зон защиты двойного тросового молниеотвода (высотой h и расстоянием между тросами L) представлена на рисунке 10.5.

Построение внешних областей зон (двух односкатных поверхностей с габаритами h_0 , r_0) проводится по формулам таблицы 10.2 для одиночных тросовых молниеотводов.

Размеры внутренних областей определяются параметрами h_0 и h_c , первый из которых задает максимальную высоту непосредственно у тросов, а второй – минимальную высоту зоны посередине между тросами. При расстоянии между тросами $L \leq L_c$, граница

зоны не имеет провеса ($h_0 = h_c$). Для расстояний $L_c \leq L \leq L_{\max}$ высота h_c определяется по выражению 10.7:

$$h_c = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_c} h_0, \quad (10.7)$$

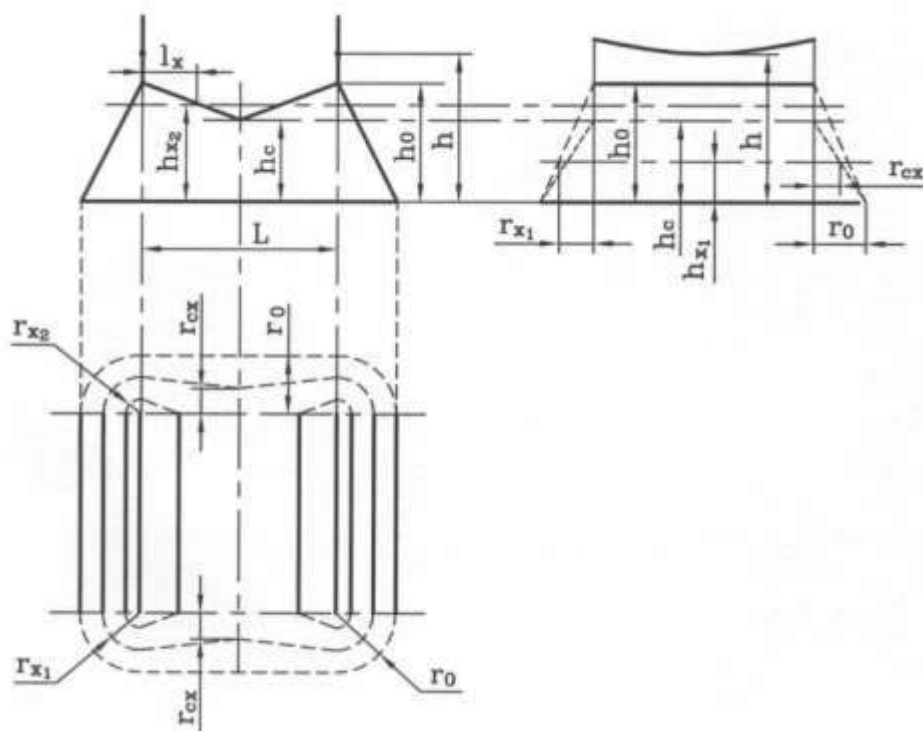


Рисунок 10.5 – Зона защиты двойного тросового молниеотвода

Входящие в него предельные расстояния $L_{\max}$ и L_c вычисляются по формулам таблицы 10.4.

Длина горизонтального сечения зоны защиты на высоте h_x определяется по формулам 10.8, 10.9:

$$l_x = L/2 \text{ при } h_c \geq h_x, \quad (10.8)$$

(параметры r_{cx} , r_x при их разной высоте тросов, вычисляется по аналогии с двойными стержневыми молниеприемниками)

$$l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)} \text{ при } 0 < h_c < h_x, \quad (10.9)$$

при их разной высоте тросов, l_x вычисляется для каждого молниеприемного троса отдельно).

СН 3.02. -2020

Для расширения защищаемого объема на зону двойного тросового молниеотвода следует накладывать зону защиты опор (при наличии молниеприемников на тросостойках, см. расчет двойных стержневых молниеприемников). В противном случае опоры должны рассматриваться как одиночные стержневые молниеотводы.

Когда требуется расчет молниезащиты с учетом стрел провеса или тросы разновелики (концы одного и того же троса находятся на разных высотах) следует применять специальные программы расчета молниезащиты.

Таблица 10.4 – Расчет параметров зоны защиты двойного тросового молниеотвода

Надежность защиты P_z	Высота молниеотвода h , м	L_{max} , м	L_c , м
0,9	От 0 до 150	$6h$	$3h$
0,99	От 0 до 30	$5h$	$2,5h$
	От 30 до 100	$5h$	$[2,5-7,14 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$
	От 100 до 150	$[5-5 \cdot 10^{-3}(h-100)] \cdot h$	$[2-5 \cdot 10^{-3}(h-100)] \cdot h$
0,999	От 0 до 30	$4,75h$	$2,25h$
	От 30 до 100	$[4,75-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$	$[2,25-3,5 \cdot 10^{-3}(h-30)] \cdot h$
	От 100 до 150	$[4,5-5 \cdot 10^{-3}(h-100)] \cdot h$	$[2-5 \cdot 10^{-3}(h-100)] \cdot h$

10.2 Защита оптических кабельных линий передачи, магистральной и внутризоновых сетей связи

На вновь проектируемых оптических кабельных линиях связи защитные мероприятия следует предусматривать в обязательном порядке на тех участках, где вероятное число опасных ударов молнии (вероятная плотность повреждений) в кабелях превышает допустимое число указанное в таблице 10.5.

Таблица 10.5 – Допустимое число опасных ударов молнии на 100 км трассы в год для оптических кабелей связи

Назначение кабеля	При удельном сопротивлении грунта более 500 Ом·м	При удельном сопротивлении грунта менее 500 Ом·м
Кабели магистральной сети связи	0,1	0,2
Кабели внутризоновой сети связи	0,3	0,5

При проектировании оптических линий передачи предусматривается использование кабелей, имеющих категорию по молниестойкости не ниже приведенных в таблице 10.6.

Таблица 10.6 – Категории по молниестойкости оптических кабельных линий

Районы	Для магистральной сети связи	Для внутризоновой сети связи
С удельным сопротивлением грунта до 1000 Ом·м	I–III	I–IV
С удельным сопротивлением грунта более 1000 Ом·м	I, II	I–III

На существующих оптических кабельных линиях защитные мероприятия осуществляются на тех участках, где произошли повреждения от ударов молнии, и они должны охватывать не менее 100 м в каждую сторону от места повреждения. В этих случаях необходимо предусмотреть прокладку защитных проводов.

10.3 Молниезащита воздушных линий электропередач (ВЛ) напряжением 110–750 кВ от прямых ударов молнии

10.3.1 Защита ВЛ 110-750 кВ

10.3.1.1 Весь комплекс мероприятий молниезащиты ВЛ должен обеспечить допустимое число отключений ВЛ с учетом условий эксплуатации (интенсивности грозовой деятельности, удельного сопротивления грунтов, статистических параметров тока молнии и т.д.).

Молниезащита ВЛ осуществляется применением тросовой защиты, заземлением опор с нормированными значениями сопротивления заземления, а так же, при необходимости, установкой на опорах ВЛ защитных аппаратов (ОПН).

10.3.1.2 Воздушные линии 110–750 кВ с металлическими и железобетонными опорами должны быть защищены от прямых ударов молнии тросами по всей длине.

10.3.1.3 Следует предусматривать сооружение ВЛ 110–330 кВ или их участков без тросов:

- 1) в районах с числом грозовых часов в году менее 20 и в районах с плотностью разрядов на землю менее 1,5 на 1 км² в год;
- 2) на участках трассы с расчетной толщиной стенки гололеда более 25 мм;

3) для ВЛ с усиленной изоляцией провода относительно заземленных частей опоры при обеспечении расчетного числа грозовых отключений линии, соответствующего расчетному числу грозовых отключений ВЛ такого же напряжения с тросовой защитой.

Число грозовых отключений линии для случаев, приведенных в перечислениях 1) и 3), определенное расчетом с учетом опыта эксплуатации, не должно превышать без усиления изоляции трех в год для ВЛ 110 - 330 кВ и одного в год - для ВЛ 750 кВ.

Воздушные линии 110 - 220 кВ, предназначенные для электроснабжения объектов добычи и транспорта нефти и газа, должны быть защищены от прямых ударов молнии тросами по всей длине (независимо от интенсивности грозовой деятельности и удельного эквивалентного сопротивления земли).

Воздушные линии 110 кВ на деревянных опорах в районах с числом грозовых часов до 40 не должны защищаться тросами, а в районах с числом грозовых часов более 40 – защита их тросами обязательна.

10.3.1.4 При выполнении защиты ВЛ от грозовых перенапряжений тросами необходимо руководствоваться следующим:

1) одностоечные металлические и железобетонные опоры с одним тросом должны иметь угол защиты не более 30° , а опоры с двумя тросами – не более 20° ;

2) на металлических опорах с горизонтальным расположением проводов и с двумя тросами угол защиты по отношению к внешним проводам для ВЛ 110-330 кВ должен быть не более 20° , для ВЛ 750 кВ – не более 22° . В районах по гололеду IV и более и в районах с частой и интенсивной пляской проводов для ВЛ 110-330 кВ следует обеспечивать угол защиты до 30° ;

3) на железобетонных и деревянных опорах portalного типа следует обеспечивать угол защиты по отношению к крайним проводам не более 30° ;

4) при защите ВЛ двумя тросами расстояние между ними на опоре должно быть не более 5-кратного расстояния по вертикали от тросов до проводов, а при высоте подвеса тросов на опоре более 30 м расстояние между тросами должно быть не более 5-кратного расстояния по вертикали между тросом и проводом на опоре, умноженного на коэффициент, равный $5,5/\sqrt{h}$, где h - высота подвеса троса на опоре.

10.3.1.5 На каждом анкерном участке длиной до 10 км тросы должны быть заземлены в одной точке путем устройства специальных перемычек на анкерной опоре. При

большей длине анкерных пролетов количество точек заземления в пролете выбирается таким, чтобы при наибольшем значении продольной электродвижущей силы, наводимой в тросе при коротком замыкании (КЗ) на ВЛ, не происходил пробой ИП.

Изолированное крепление троса следует выполнять стеклянными подвесными изоляторами.

На ВЛ 110 кВ, если не предусмотрена плавка гололеда или организация каналов высокочастотной связи на тросе, изолированное крепление троса следует выполнять только на металлических и железобетонных анкерных опорах.

На участках ВЛ с неизолированным креплением троса и током КЗ на землю, превышающим 15 кА, заземление троса должно быть выполнено с установкой перемычки, шунтирующей зажим.

При использовании тросов для устройства каналов высокочастотной связи они изолируются от опор на всем протяжении каналов высокочастотной связи и заземляются на подстанциях и усилительных пунктах через высокочастотные заградители.

10.3.1.6 Количество изоляторов в поддерживающем тросовом креплении должно быть не менее двух и определяться условиями обеспечения требуемой надежности каналов высокочастотной связи. Количество изоляторов в натяжном тросовом креплении следует принимать удвоенным по сравнению с количеством изоляторов в поддерживающем тросовом креплении.

10.3.1.7 Изоляторы, на которых подвешен трос, должны быть шунтированы искровым промежутком (ИП). Размер ИП выбирается минимально возможным по следующим условиям:

- 1) разрядное напряжение ИП должно быть ниже разрядного напряжения изолирующего тросового крепления не менее чем на 20 %;
- 2) ИП не должен перекрываться при однофазном КЗ на землю на других опорах;
- 3) при перекрытиях ИП от грозовых разрядов должно происходить самопогасание дуги сопровождающего тока промышленной частоты.

На ВЛ 330-750 кВ для улучшения условий самопогасания дуги сопровождающего тока промышленной частоты и снижения потерь электроэнергии следует применять скрещивание тросов.

10.3.1.8 Если на тросах ВЛ предусмотрена плавка гололеда, то изолированное крепление тросов выполняется по всему участку плавки. В одной точке участка плавки тросы заземляются с помощью специальных перемычек. Тросовые изоляторы шунтируются ИП,

СН 3.02. -2020

которые должны быть минимальными, выдерживающими напряжение плавки и иметь разрядное напряжение меньше разрядного напряжения тросовой гирлянды. Размер ИП должен обеспечивать самопогасание дуги сопровождающего тока промышленной частоты при его перекрытии во время КЗ или грозовых разрядов.

10.3.1.9 Требуемый уровень грозоупорности ВЛ без тросов должен обеспечиваться установкой ОПН (пункты 10.3.1.16 – 10.3.1.18).

10.3.10 Опоры ВЛ 110 – 750 кВ должны быть заземлены. Сопротивления заземляющих устройств опор при их высоте до 50 м должны быть не более приведенных в таблице 10.3.1.

При высоте опор более 50 м следует снизить сопротивление заземления опор в 2 раза по сравнению с приведенными в таблице 10.3.1.

Деревянные опоры и деревянные опоры с металлическими траверсами ВЛ без грозозащитных тросов или других устройств молниезащиты не заземляются.

На двухцепных и многоцепных опорах ВЛ, независимо от класса напряжения линии и высоты опор, следует снижать сопротивления заземляющих устройств в 2 раза по сравнению с приведенными в таблице 10.3.1.

Таблица 10.3.1 - Наибольшее сопротивление заземляющих устройств опор ВЛ

Удельное эквивалентное сопротивление грунта ρ , Ом·м	Наибольшее сопротивление заземляющего устройства, Ом
До 100	10
Более 100 до 500	15
Более 500 до 1000	20
Более 1000 до 5000	30
Удельное эквивалентное сопротивление грунта ρ , Ом·м	Наибольшее сопротивление заземляющего устройства, Ом
Более 5000	$6 \cdot 10^{-3} \rho$

10.3.1.11 Для ВЛ, защищенных тросами, сопротивления заземляющих устройств, выполненных по условиям молниезащиты, должны обеспечиваться при отсоединенном тросе.

Сопротивления заземляющих устройств опор ВЛ должны обеспечиваться и измеряться при токах промышленной частоты в период их наибольших значений в летнее

время. В другие периоды следует производить измерение с корректировкой результатов путем введения сезонного коэффициента.

10.3.1.12 Железобетонные фундаменты опор ВЛ 110 кВ и выше могут быть использованы в качестве естественных заземлителей при осуществлении металлической связи между анкерными болтами и арматурой фундамента и отсутствии гидроизоляции железобетона полимерными материалами.

Битумная обмазка на фундаментах не влияет на их использование в качестве естественных заземлителей.

10.3.1.13 При прохождении ВЛ 110 кВ и выше в местности с глинистыми, суглинистыми, супесчаными и тому подобными грунтами с удельным сопротивлением $\rho \leq 1000$ Ом·м следует использовать арматуру железобетонных фундаментов, опор и пасынков в качестве естественных заземлителей без дополнительной укладки или в сочетании с укладкой искусственных заземлителей. В грунтах с более высоким удельным сопротивлением естественная проводимость железобетонных фундаментов не должна учитываться, а требуемое значение сопротивления заземляющего устройства должно обеспечиваться только применением искусственных заземлителей.

10.3.1.14 На ВЛ с деревянными опорами следует применять болтовое соединение заземляющих спусков; на металлических опорах соединение заземляющих спусков должно быть выполнено как болтовым, так и сварным.

10.3.1.15 Заземлители опор ВЛ должны находиться на глубине не менее 0,5 м, а в пахотной земле – 1 м. В случае установки опор в скальных грунтах прокладка лучевых заземлителей производится непосредственно под разборным слоем над скальными породами при толщине слоя не менее 0,1 м. При меньшей толщине этого слоя или его отсутствии выполняется прокладка заземлителей по поверхности скалы с заливкой их цементным раствором.

10.3.1.16 На одноцепных ВЛ 110 кВ и выше, защищенных тросом, при повышенных сопротивлениях заземления опор (50 Ом и выше) для повышения грозоупорности ВЛ следует устанавливать ОПН параллельно гирляндам изоляции опор с повышенным сопротивлением заземления. Число опор и фаз, на которых должны быть установлены ОПН определяется технико-экономическими расчетами, исходя из допустимого числа отключений ВЛ.

10.3.1.17 При отсутствии тросовой защиты на участке ВЛ 110 кВ и выше для повышения грозоупорности следует устанавливать ОПН независимо от сопротивления зазем-

ления опор. ОПН следует устанавливать также на двух крайних опорах, примыкающих к бестросовому участку.

ОПН должен быть подключен к ВЛ как через ИП так и без него. При непосредственном подключении ОПН между фазовым проводом и землей следует выбирать ОПН с максимальным значением номинального разрядного тока и наибольшим рабочим напряжением на 15 – 20 % выше, чем у подстанционных ОПН того же класса напряжения.

10.3.1.18 На двухцепных ВЛ 110 кВ и выше, защищенных тросом, для снижения числа двухцепных грозовых перекрытий необходимо снизить сопротивление заземления опор до величины не более 20 Ом. При невозможности снижения сопротивления заземления опор следует установить на одной или нескольких фазах одной цепи ВЛ ОПН.

10.3.1.19 Повышение грозоупорности ВЛ на двухцепных опорах и сокращение числа двухцепных отключений ВЛ можно достичь усилением изоляции одной из цепей на 20 – 30 % по сравнению с изоляцией другой цепи.

10.3.1.20 Кабельные вставки на ВЛ должны быть защищены от грозовых перенапряжений установкой ОПН по обоим концам кабеля. Заземляющий зажим ОПН должен быть соединен с заземлителем отдельным проводником.

10.3.1.21 Гирлянды изоляторов единичных металлических опор, а также крайних опор участков с такими опорами и другие места с ослабленной изоляцией на ВЛ с деревянными опорами должны защищаться ОПН.

10.3.1.22 При выполнении защиты переходов ВЛ 110 – 750 кВ от грозовых перенапряжений необходимо:

1) защищать от прямых ударов молнии тросами;

2) количество тросов должно быть не менее двух с углом защиты по отношению к крайним проводам не более 20°. При расположении перехода за пределами длины защищаемого подхода ВЛ к РУ ПС с повышенным защитным уровнем в районах гололеда III и более, а также в районах с частой и интенсивной пляской проводов следует обеспечивать угол защиты до 30°;

3) отказ от тросовой защиты возможен для переходов в гололедных районах с толщиной стенки гололеда более 25 мм при установке на опорах перехода ОПН;

4) горизонтальное смещение троса от центра крайней фазы должно быть не менее: 1,5 м – для ВЛ 110 кВ; 2,5 м – для ВЛ 220 кВ; 3,5 м – для ВЛ 330 кВ и 4 м – для ВЛ 750 кВ.

10.3.1.23 Для молниезащиты переходов с пролетами длиной выше 700 м или для с высотой опор выше 100 м выполняется установка ОПН на опорах перехода. Расстановка ОПН по фазам и опорам перехода определяется расчетом.

10.3.1.24 Сопротивление заземления опор перехода с ОПН следует уменьшать в два раза по сравнению со значениями, приведенными в таблице 10.3.1.

10.3.2 Защита ВЛЗ 110 кВ

Для защиты ВЛЗ-110 от грозовых перенапряжений (ПУМ и индуктированных) применяется:

- молниезащитный трос;
- ОПН напряжением 110 кВ, которые устанавливаются на каждой фазе на опорах перехода ВЛ в ВЛЗ.

Сопротивление заземления опор должно быть не более 20 Ом.

10.4 Молниезащита ВЛ 6–35 кВ

10.4.1 Общие требования

10.4.1.1 Применение молниезащитного троса на ВЛ 6–35 В малоэффективно из-за низкой импульсной прочности линейной изоляции и, соответственно, высокой вероятности обратного перекрытия при ударе в опору и трос. Только на ВЛ–35 кВ на подходе к подстанциям подвешивается молниезащитный трос для защиты подстанционного оборудования от волн, набегающих с ВЛ.

К мероприятиям, увеличивающим грозоупорность ВЛ 6–35 кВ, относятся:

- использование изолированной нейтрали;
- компенсация токов однофазного замыкания на землю;
- автоматическое повторное включение.

Грозоупорность ВЛ 6–35 кВ существенно повышается при использовании для подвески нижних проводов изоляционных траверс из пластических материалов, так как на этих линиях большой удельный вес отключений от индуктированных перенапряжений.

На ВЛ 6–35 кВ для защиты ослабленных мест устанавливаются ОПН. Отдельные места ВЛ требуют дополнительных мер защиты. К таким местам относятся:

СН 3.02. -2020

- пересечения ВЛ между собой и с линиями связи;
- опоры ВЛ со сниженной импульсной прочностью изоляции;
- высокие переходные опоры;
- ответвления к подстанциям на отпайках и секционирующие разъединители на опорах.

10.4.1.2 От воздействия грозовых перенапряжений необходимо защищать:

- линейное электрооборудование, установленное на опорах ВЛ (силовые и измерительные трансформаторы, разъединители и другие аппараты);
- участки ВЛ напряжением 6-10 кВ с ослабленной изоляцией (места пересечения ВЛ, опоры с кабельными муфтами, отдельные железобетонные опоры на ВЛ с деревянными опорами и другие);
- воздушные линии с защищенными проводами;
- воздушные линии с неизолированными проводами (в местах, например, с аномальной грозовой деятельностью).

Для защиты секционирующих пунктов и пунктов АВР 6-10 кВ должны быть установлены аппараты защиты - по одному комплекту с каждой стороны ВЛ.

Для защиты разъединителей и выключателей, имеющих изоляцию того же класса, что и ВЛ 6-10 кВ с железобетонными опорами, аппараты защиты от грозовых перенапряжений не устанавливаются.

10.4.1.3 Для ВЛ напряжением 6-10 кВ на железобетонных опорах основным резервным мероприятием для повышения эксплуатационной надежности, предотвращающим перерывы в электроснабжении, является АПВ. Отказ от АПВ в каждом отдельном случае должен быть обоснован. Имеющиеся в эксплуатации устройства АПВ должны быть постоянно включены в работу.

На ВЛ напряжением 6-10 кВ должны применяться устройства АПВ одно- и двукратного действия. Для первого цикла АПВ следует использовать бестоковую паузу продолжительностью 1-3 с, а для второго цикла - не менее 15-20 с.

Вероятность успешной работы АПВ на ВЛ напряжением 6-10 кВ при грозах составляет примерно 0,5.

10.4.1.4 Если на ВЛ напряжением 6-10 кВ с деревянными опорами устанавливаются отдельные железобетонные опоры, то на последних при отсутствии аппаратов защиты

должны применяться изоляторы более высокого класса напряжения и/или изоляционные траверсы.

При этом градиент рабочего напряжения по пути перекрытия между фазами не должен превышать значений, приведенных в 10.4.1.5.

10.4.1.5 Для повышения грозоупорности ВЛ напряжением 6-10 кВ используются деревянные опоры и/или изолирующие траверсы из различных материалов (полимеров, сухой древесины, пропитанной новыми антисептиками).

Длина изолирующих траверс в изоляционной части должна быть такой, чтобы градиент рабочего напряжения по пути перекрытия между фазами не превышал 8-10 кВ/м.

Металлические траверсы на деревянных опорах не применяются.

10.4.1.6 На ответвлениях от магистрали ВЛ напряжением 6-10 кВ на деревянных опорах за линейным разъединителем со стороны питания должен устанавливаться аппарат защиты от грозовых перенапряжений.

10.4.1.7 Кабельные вставки в ВЛ напряжением 6-10 кВ должны быть защищены по обоим концам кабеля. Не следует не защищать:

- вставки с пластмассовой изоляцией и оболочкой длиной 2,5 км и более;
- вставки других конструкций кабеля длиной 1,5 км и более.

10.4.1.8 Для защиты от прямых ударов молнии ВЛ 6–10 кВ следует:

- применять опоры, обеспечивающих расположение проводов по треугольнику;
- устанавливать РДИ параллельно изолятору. На верхнюю фазу устанавливать РДИ с относительно небольшой длиной перекрытия (например, 1 м для ВЛ 10 кВ). На нижние фазы установить РДИ с длиной перекрытия по 2 м.

Установка РДИ обеспечит также защиту от индуктированных перенапряжений.

10.4.1.9 ВЛ напряжением 6-10 кВ при пересечениях требуют установки аппаратов защиты от воздействия грозовых перенапряжений.

Защита пересечения ВЛ вызвана необходимостью предотвратить тяжелые аварии в случае перекрытия в результате разряда молнии с верхней ВЛ на нижнюю ВЛ или линию связи. Наибольшую опасность представляет удар молнии в пролет пересечения.

10.4.1.10 Применение специальных мер защиты ВЛ напряжением 6-10 кВ на пересечениях не требуется для линий, выполненных на:

- железобетонных опорах;
- деревянных опорах при расстояниях между проводами пересекающихся ВЛ не

СН 3.02. -2020

менее:

- 9 м при пересечении с ВЛ 750 кВ;
- 7 м - с ВЛ 330-500 кВ;
- 6 м - с ВЛ 150-220 кВ;
- 5 м - с ВЛ 35-110 кВ;
- 4 м - с ВЛ 6-10 кВ и более низкого напряжения.

10.4.1.11 Следует выбирать место пересечения возможно ближе к опоре верхней из пересекающихся линий, что обычно позволяет обеспечить требуемые по условиям защиты от воздействия грозových перенапряжений расстояния в месте пересечения.

Провода ВЛ более высокого напряжения должны быть расположены выше проводов пересекаемых ВЛ более низкого напряжения.

10.4.1.12 Наименьшие расстояния между ближайшими проводами пересекающихся ВЛ должны быть не менее приведенных в таблице 10.4.1 при температуре воздуха плюс 15 °С без ветра.

Таблица 10.4.1 - Наименьшие расстояния между проводами пересекающихся ВЛ на железобетонных опорах, а также на деревянных опорах при наличии аппаратов защиты

Пересекающая воздушная линия	Длина пролета пересекающей ВЛ, м	При расстоянии от места пересечения до ближайшей опоры ВЛ, м					
		30	50	70	100	120	150
ВЛ 750 кВ	до 200	6,5	6,5	6,5	7	-	-
	300	6,5	6,5	7	7,5	8	8,5
	450	6,5	6,5	7,5	8	8,5	9
	500	7	7	8	8,5	9	9,5
ВЛ 330 кВ	до 200	5	5	5	5,5	-	-
	300	5	5	5,5	6	6,5	7
	450	5	5,5	6	7	7,5	8
ВЛ 150-220 кВ	до 200	4	4	4	4	-	-
	300	4	4	4	4,5	5	5,5
	450	4	4	5	6	6,5	7
ВЛ 35-110 кВ	до 200	3	3	3	4	-	-
	300	3	3	4	4,5	5	-
ВЛ 6-10 кВ и более низкого напряжения	до 100	2	2	-	-	-	-
	150	2	2,5	2,5	-	-	-

Для промежуточных значений пролетов соответствующие расстояния определяются линейной интерполяцией. Расстояние между ближайшими проводами пересекающей и

пересекаемой ВЛ напряжением 6-10 кВ при условии, что хотя бы одна из них выполнена с защищенными проводами, должно быть не менее 1,5 м (при температуре воздуха плюс 15 °С без ветра).

10.4.1.13 На ВЛ с деревянными опорами на опорах, ограничивающих пролеты пересечения ВЛ, должны устанавливаться аппараты защиты на обеих пересекающихся линиях. Расстояния между проводами пересекающихся ВЛ должны быть не менее приведенных в таблице 10.4.1.

10.4.1.14 На деревянных опорах ВЛ напряжением 6-10 кВ при пересечении с ВЛ напряжением 750 кВ и ниже устанавливаются аппараты защиты.

При пересечении ВЛ с деревянными опорами с ВЛ напряжением 750 кВ металлические детали для крепления проводов (крюки, штыри) на опорах, ограничивающих пролеты пересечения, должны быть заземлены.

Для пересекающихся ВЛ при расстоянии от места пересечения до ближайших опор более 40 м аппараты защиты не устанавливаются.

10.4.2 Защита ВЛП 6-10 кВ

10.4.2.1 ВЛП должны быть защищены от воздействия грозových перенапряжений, в том числе от пережога покрытых проводов в местах их крепления на опорах.

Для защиты ВЛП от грозových перенапряжений (в том числе от пережога проводов) следует применять:

РДИ;

ОПН;

УЗПН, представляющие собой ОПН с искровыми промежутками;

заземление опор.

На ВЛП требования к заземлению опор, значение сопротивления заземляющих устройств должно соответствовать требованиям для ВЛ с неизолированными проводами, а именно:

опоры с РДИ и УЗПН дополнительно не заземляются;

опоры с ОПН должны заземляться с нормированными согласно ТКП 339 значениями для ограничителей перенапряжения.

10.4.2.2 Защита от индуктированных перенапряжений осуществляется с применением РДИ, УЗПН, ОПН путем установки их на опорах ВЛП параллельно изоляторам.

На ВЛП следует применять длинно-искровые разрядники типа РДИП.

Применение РДИМ, РДИШ, а также мультикамерных разрядников и изоляторов-разрядников должно производиться согласно рекомендаций по применению изготовителя (после включения в типовую нормативную документацию).

РДИП и УЗПН следует поодиночно устанавливать на промежуточных и угловых промежуточных опорах ВЛП в каждую цепь с чередованием фаз в любой регулярной последовательности.

ОПН следует устанавливать по 3 штуки на опоре в каждую фазу. Количество ОПН на ВЛП определяется проектом с учетом пунктов 10.4.2.4 и 10.4.2.5.

УЗПН на ВЛП с подвесной изоляцией не применяют.

10.4.2.3 Петлю РДИП и УЗПН следует располагать по отношению к изолятору в сторону направления передачи мощности по линии в нормальном режиме.

10.4.2.4 При прохождении ВЛП в лесном массиве, устройства грозозащиты РДИП, УЗПН или ОПН (на опорах ВЛП через 450-550 м линии) следует устанавливать:

в районах со средней продолжительностью грозовых часов в году – более 60;

на магистралях ВЛП;

на ВЛП, электроснабжающих потребителей категории 1 (категории 2 по согласованию с энергоснабжающей организацией (ЭСО);

Тип конкретного устройства определяет ЭСО.

10.4.2.5 В районах со средней продолжительностью грозовых часов в год менее 60 и ВЛП, питающих потребителей категории 2 и 3, устанавливают ОПН. По согласованию с ЭСО следует применять РДИП или УЗПН.

Количество ОПН, устанавливаемых на опорах ВЛП, определяется местными условиями, зависящими от конкретной интенсивности грозовой деятельности в районе с ВЛП (определяется по региональным картам, с возможным уточнением данных метеослужб), данным ЭСО по числу «грозовых» отключений ВЛ, , сопротивления грунта, высоте деревьев лесного массива и т.д.

Установка ОПН на ВЛП при входе ее в лес и выходе из него обязательна.

При установке, согласно 10.4.3.5, ОПН на опорах ВЛП при входе в лес и выходе из него (2 комплекта) следует принять дополнительные меры по эксплуатации в грозовой период для безусловного устранения возможных аварийных ситуаций, возникающих от грозových перенапряжений, за соответствующий нормам надежности электроснабжения период времени согласно ТКП 385.

10.4.3 Защита ВЛЗ 35 кВ

10.4.3.1 Участки с ВЛЗ-35 прокладываются в местах, где имеется экранирование, поэтому при решении вопроса повышения грозоупорности воздушной линии в первую очередь следует рассматривать защиту от индуктированных грозových перенапряжений, так как количество ПУМ ничтожно мало.

Участки ВЛЗ-35, проходящие через лес, защищаются от грозových индуктированных перенапряжений.

На открытой (неэкранированной) местности (при необходимости прокладки ВЛЗ-35), должна быть выполнена молниезащита.

10.4.3.2 Для защиты ВЛЗ-35 от грозových перенапряжений применяются специальные грозозащитные устройства:

- ограничитель перенапряжения нелинейный на напряжение 35 кВ (ОПН-35);
- ОПН-35 с искровым промежутком типа УЗПН-35, который устанавливается на промежуточных опорах ВЛ со штыревыми (УЗПН-35-Ш) и опорными линейными (УЗПН-35-ОЛ) изоляторами, а также на промежуточных и анкерных опорах с подвесными изоляторами (УЗПН-35-ПС);
- разрядник мультикамерный экранного типа РМКЭ-35, который на ВЛ с любыми видами опор со штыревой или подвесной изоляцией;
- гирлянда с изоляторами-разрядниками мультикамерными типа ГИРМК-35, которая устанавливается на опоре ВЛ вместо стандартной поддерживающей гирлянды с подвесными изоляторами.

10.4.3.3 Устройства типа УЗПН-35 устанавливаются по одному на каждую опору с последовательным чередованием фаз. УЗПН-35 устанавливается на каждую опору на каждую фазу. Такая установка применяется при защите: ВЛЗ-35 с пролетом более 80 метров, локальных объектов на ВЛ, ВЛ с аномально высокими сопротивлениями заземления опор, особо ответственных ВЛ.

СН 3.02. -2020

10.4.3.4 Разрядник типа РМКЭ-35 устанавливается на каждой опоре при переходе ВЛ в ВЛЗ в каждую фазу ВЛ (на опоре) со штыревой или полимерной изоляцией.

10.4.3.5 Устройство защиты от перенапряжения типа ГИРМК-35 применяется для установки на все виды опор (в каждую фазу) вместо «традиционных гирлянд» и «стыкуется» со стандартной арматурой. На опорах с натяжной изоляцией ГИРМК-35 устанавливаются в шлейф.

10.4.3.6 Установка ОПН-35 на ВЛЗ-35 при заходе ее в лес и выходе из него обязательна.

При длине участка леса до 200 м устанавливается не менее одного комплекта ОПН-35 в середине участка.

При длине участка леса более 1 км количество ОПН-35 определяется местными условиями (в зависимости от интенсивности грозовой деятельности). Установка ОПН-35 осуществляется через 400-500 м.

10.4.3.7 В целях эффективной защиты проводов ВЛЗ-35 необходима установка ОПН-35 (на опоре) в каждую фазу параллельно изоляторам.

10.4.4 Защита ВЛ 0,38 кВ

10.4.4.1 От грозовых перенапряжений должны быть защищены:

- электрооборудование и аппараты, установленные на опорах ВЛ;
- ответвления от магистрали к вводам в здания;
- защита изоляции проводов ВЛИ.

10.4.4.2 Защита ответвлений от магистрали к вводам в здания и снижение величины грозовых перенапряжений, проникающих во внутренние проводки, достигается путем отвода тока молнии в заземлитель через заземляющий спуск, смонтированный на опоре с ответвлением к вводу потребителя.

10.4.4.3 ВЛ напряжением 0,38 кВ, проходящие по населенной местности с одно- и двухэтажной застройкой, должны иметь заземляющие устройства, предназначенные для защиты от грозовых перенапряжений.

К заземляющим устройствам должны быть присоединены нулевой провод, крюки или штыри фазных проводов и проводов всех других линий (проводного вещания, связи и

др.), подвешенных на деревянных и железобетонных опорах, а также арматура железобетонных опор.

Сопротивление заземляющих устройств опор должны быть не более 30 Ом. Расстояния между опорами с заземляющими устройствами не должно превышать:

- 200 м для районов со среднегодовой продолжительностью гроз ≤ 40 ч;
- 100 м - для районов со среднегодовой продолжительностью гроз более 40 ч.

10.4.4.4 Дополнительно, заземляющие устройства должны быть выполнены:

на опорах с ответвлениями к вводам в здания, в которых может быть сосредоточено большое количество людей (школы, ясли, больницы), или которые представляют большую материальную ценность (животноводческие, птицеводческие помещения, склады);

- на концевых опорах линий, имеющих ответвления к вводам, при этом наибольшее расстояние от соседнего заземления этих же линий должно быть не более 100 м для районов со среднегодовым числом часов гроз до 40 и 50 м - для районов со среднегодовым числом часов гроз более 40.

10.4.4.5 На вводах в здания и на концевых опорах линий дополнительно устанавливаются ОПН низкого напряжения.

10.4.4.6 Для защиты электронного оборудования (компьютеры, телевизоры и т.д.) от грозовых перенапряжений, проникающих в проводку здания, следует применять специальные разрядники и ОПН, расположенные в непосредственной близости от защищаемого оборудования. Для защиты особо чувствительного оборудования следует предусматривать специальные трансформаторы, фильтры и источники питания.

10.4.4.7 Крюки, штыри деревянных опор заземлению не подлежат, за исключением крюков и штырей на опорах, где выполнены повторные заземления для защиты от грозовых перенапряжений.

Крюки, штыри и арматура опор, ограничивающих пролет пересечения, а также опор, на которых производится совместная подвеска, должны быть заземлены.

10.4.4.8 На ВЛ напряжением 0,38 кВ с изолированными самонесущими проводами (ВЛИ 0,38 кВ) должны быть выполнены заземляющие устройства, предназначенные для повторного заземления нулевого провода, защиты от грозовых перенапряжений, заземления электрооборудования, установленного на опорах ВЛИ 0,38 кВ.

10.4.4.9 Заземляющие устройства для повторного заземления нулевого провода и для целей защиты от грозовых перенапряжений должны выполняться в соответствии с

требованиями настоящих Норм. В случае изолированного нулевого провода присоединение его к заземлению осуществляется с помощью прокалывающего зажима.

10.4.4.10 Для защиты электрооборудования, аппаратов и ВЛИ 0,38 кВ должны применяться ОПН (или РВ), установленные в непосредственной близости от защищаемых объектов.

ОПН (или РВ) на ВЛИ должны быть присоединены к фазному проводу посредством прокалывающих зажимов.

10.4.4.11 Ограничители перенапряжения и разрядники, устанавливаемые на опорах ВЛИ 0,38 кВ для защиты кабельных вставок от грозовых перенапряжений, должны быть присоединены к заземлителю отдельным спуском.

10.5 Защита ОРУ электростанций и подстанций 6–750 кВ от перенапряжений

Эффективность защиты от перенапряжений внутренней изоляции подстанционного оборудования должна быть значительно более высокой по сравнению с воздушной и линейной изоляцией ВЛ, так как внутренняя изоляция оборудования подстанций имеет небольшие запасы по отношению к импульсным испытательным напряжениям и не обладает свойством самовосстановления после перекрытия в результате разряда молнии.

10.5.1 Выбор системы молниеотводов для защиты РУ и ПС от прямых ударов молнии. Зоны защиты молниеотводов

10.5.1.1 Защита оборудования РУ и ПС, в том числе зданий и сооружений расположенных на территории ПС, от прямых ударов молнии обеспечивается системой стержневых и тросовых молниеотводов (преимущественно на ОРУ), молниеприемной сеткой (в части зданий).

10.5.1.2 При размещении объекта следует руководствоваться тем, что наименьшую надежность защиты объект будет иметь, если он своими выступающими частями касается границы зоны защиты, при размещении объекта в глубине зоны защиты надежность защиты повышается.

Уровень защиты объекта от прямых ударов молнии характеризует надежность защиты (P_z) и выражается через вероятность прорыва молнии в зону защиты молниеотвода:

$$P_z = 1 - P_{\text{пр.}} \quad (10.10)$$

10.5.1.3 В таблице 10.7 приведены уровни защиты от прямых ударов молнии для зданий и сооружений вновь возводимых ПС. Для зданий и сооружений реконструируемых ПС уровни защиты определяются владельцами этих объектов.

Таблица 10.7 Уровни защиты от прямых ударов молнии

Уровень защиты	Надежность молниезащиты P_z
I	0,999
II	0,99
III	0,9

Выбор типа и высоты молниеотводов производится, исходя из значений требуемой надежности.

Объект считается защищенным, если совокупность всех его молниеотводов обеспечивает надежность защиты от прорывов молнии на защищаемый объект не менее требуемой. Во всех случаях система защиты от прямых ударов молнии выбирается так, чтобы максимально использовались естественные молниеотводы, а если обеспечиваемая ими защищенность недостаточна - в комбинации со специально установленными молниеотводами.

10.5.1.4 Молниезащиту вновь возводимых ПС 110-750 кВ следует выполнять с II уровнем защиты. Молниезащита реконструируемых ПС 35-110 кВ следует выполнять с III уровнем защиты, а ПС 220-750 кВ с II уровнем защиты.

Зона молниезащиты состоящая из нескольких молниеприемников и тросов получается путем сложений зон различных молниеприемников и тросов.

10.5.2 Способы защиты от прямых ударов молнии ОРУ ПС

10.5.2.1 Защита ОРУ до 750 кВ от прямых ударов молнии должна быть выполнена отдельно стоящими или установленными на конструкциях стержневыми молниеотводами. Следует использовать защитное действие высоких объектов, которые являются молниеприемниками (опоры ВЛ, прожекторные мачты, радиомачты и т.п.).

СН 3.02. -2020

От стоек конструкций ОРУ 35 кВ и выше с молниеотводами должно быть обеспечено растекание тока молнии по магистралям заземления не менее чем в трех направлениях, с углом не менее 90° между соседними. Кроме того, должно быть установлено не менее одного вертикального электрода длиной не менее 5 м на каждом направлении, на расстоянии не менее длины электрода от места присоединения к магистрали заземления стойки с молниеотводом.

Если зоны защиты стержневых молниеотводов не закрывают всю территорию ОРУ, следует дополнительно использовать тросовые молниеотводы, расположенные над ошиновкой.

Защиту от прямых ударов молнии ОРУ, на конструкциях которых установка молниеотводов не допускается или нецелесообразна по конструктивным соображениям, следует выполнять отдельно стоящими молниеотводами, имеющими обособленные заземлители с импульсным сопротивлением не более 80 Ом при импульсном токе 60 кА.

$$R_{и} = R_{изм} \cdot K_{и}, \quad (10.11)$$

где $R_{и}$ – импульсное сопротивление контура заземления;

$R_{изм}$ – измеренное значение контура заземления;

$K_{и}$ – коэффициент пересчета.

$$K_{и} = \sqrt{1500 \sqrt{S} / L(\rho + 320)(I_m + 45)}, \quad (10.12)$$

где S – площадь заземлителя;

ρ – удельное сопротивление грунта Ом·м;

I_m – ток молнии, при котором начинается искрообразование (эта величина неопределенная).

Расстояние S_3 , м между обособленным заземлителем отдельно стоящего молниеотвода и ближайшей к нему точкой заземляющего контура ПС, ЗРУ, зданий и сооружений должно быть равным (но не менее 3 м):

$$S_3 > 0,2 \cdot R_{и}, \quad (10.13)$$

где $R_{\text{и}}$ – импульсное сопротивление заземления, Ом, отдельно стоящего молниеотвода.

Расстояние по воздуху $S_{\text{в.о}}$, м, от отдельно стоящего молниеотвода с обособленным заземлителем до токоведущих частей, заземленных конструкций и оборудования ОРУ ПС, а также до ЗРУ, зданий и сооружений, должно быть равным (но не менее 5 м):

$$S_{\text{в.о}} > 0,12 \cdot R_{\text{и}} + 0,1 \cdot H, \quad (10.14)$$

где H – высота рассматриваемой точки на токоведущей части, оборудовании или зданий над уровнем земли, м.

Заземлители отдельно стоящих молниеотводов в ОРУ должны быть присоединены к заземляющему устройству ОРУ (ПС) при соблюдении указанных выше условий установки молниеотводов на конструкциях ОРУ.

Место присоединения заземлителя отдельно стоящего молниеотвода к заземляющему устройству ПС должно быть удалено по магистралям заземления на расстояние не менее 15 м от места присоединения к нему трансформатора (реактора). В месте присоединения заземлителя отдельно стоящего молниеотвода к заземляющему устройству ОРУ 110 – 150 кВ магистрали заземления должны быть выполнены не менее чем по трем направлениям с углом не менее 90° между ними.

Заземлители молниеотводов, установленных на прожекторных мачтах, должны быть присоединены к заземляющему устройству ПС. В случае несоблюдения условий, указанных выше, дополнительно к общим требованиям присоединения заземлителей отдельно стоящих молниеотводов должны быть соблюдены следующие требования:

1) в радиусе 5 м от молниеотвода следует установить три вертикальных электрода длиной 3 – 5 м;

2) если расстояние по магистрали заземления от места присоединения заземлителя молниеотвода к заземляющему устройству до места присоединения к нему трансформатора (реактора) превышает 15 м, но менее 40 м, то на выводах обмоток напряжением до 35 кВ трансформатора должны быть установлены ОПН.

Расстояние по воздуху от отдельно стоящего молниеотвода, заземлитель которого соединен с заземляющим устройством ОРУ ПС, до токоведущих частей должно составлять:

$$S_{\text{в.с}} > 0,1 \cdot H + m, \quad (10.15)$$

где H –высота токоведущих частей над уровнем земли, м; m –длина гирлянды изоляторов, м.

Для снижения грозовых перенапряжений на трансформаторах место присоединения конструкции со стержневым или тросовым молниеотводом к заземляющему устройству ПС должно быть расположено на расстоянии не менее 15 м по магистралям заземления от места присоединения к нему трансформаторов (реакторов).

Присоединение молниеотводов к магистралям заземления ПС на расстоянии менее 15 м от силовых трансформаторов производится при эквивалентном удельном сопротивлении земли не более 350 Ом·м и при соблюдении следующих условий:

1) для трансформаторов, имеющих обмотки 6–35 кВ, непосредственно на всех выводах этих обмоток (кроме выводов нейтрали 6-35 кВ) или на расстоянии не более 5 м от них по ошиновке должны быть установлены ОПН 6–35 кВ;

2) должно быть обеспечено растекание тока молнии от стойки конструкции с молниеотводом по трем-четырем направлениям с углом не менее 90° между ними;

3) на каждом направлении, на расстоянии 3–5 м от стойки с молниеотводом, должно быть установлено по одному вертикальному электроду длиной 5 м;

4) заземляющие проводники ОПН и силовых трансформаторов следует присоединять к заземляющему устройству ПС поблизости один от другого или выполнять их так, чтобы место присоединения ОПН к заземляющему устройству находилось между точками присоединения заземляющих проводников портала и трансформатора;

5) заземляющие проводники отдельностоящих измерительных трансформаторов тока необходимо присоединить к заземляющему устройству РУ в наиболее удаленных от заземления ОПН места;

6) не соединяются, по кратчайшему пути, заземление силовых трансформаторов и молниеотвод.

10.5.2.2 Грозозащитные тросы ВЛ 110 кВ и выше следует присоединять к заземленным конструкциям ОРУ ПС.

Неиспользуемые обмотки низшего и среднего напряжений силовых трансформаторов (автотрансформаторов), а также обмотки, временно отключенные от шин РУ в грозовой период, должны быть соединены в звезду или треугольник и защищены ОПН, включенными между вводами каждой фазы и землей. Защита неиспользуемых обмоток низ-

шего напряжения, расположенных первыми от магнитопровода, выполняются заземлением одной из вершин треугольника, одной из фаз или нейтрали звезды либо установкой ОПН соответствующего класса напряжения на каждой фазе.

Защита неиспользуемых обмоток не требуется, если к ним постоянно присоединена кабельная линия длиной не менее 30 м, имеющая заземленную оболочку, броню или экран.

Кабельные вставки 110 – 220 кВ должны быть защищены с обеих сторон ОПН. Отказ от установки ОПН хотя бы с одной стороны кабельной вставки должен быть обоснован.

10.5.2.4 При наличии на территории ПС ОРУ, различного уровня напряжения, уровень молниезащиты участков территории должен соответствовать 10.5.1.4.

10.5.2.5 Распределительные устройства 6-10 кВ, к которым присоединены ВЛ, должны быть защищены ОПН (или РВ), установленными на шинах или у трансформаторов.

В обоснованных случаях должны применяться дополнительно защитные емкости.

Ограничитель перенапряжения (или вентильный разрядник) в одной ячейке с трансформатором напряжения должен быть присоединен до его предохранителя.

10.5.2.6 При применении воздушной связи трансформаторов с шинами РУ 6-10 кВ расстояния от ОПН (или РВ) до защищаемого оборудования не должны превышать 60 м при ВЛ на деревянных опорах и 90 м при ВЛ на железобетонных опорах.

При присоединении трансформаторов к шинам кабелями расстояния от установленных на шинах ОПН (или РВ) до трансформаторов не ограничиваются.

При установке на всех вводах линий в РУ аппаратов защиты (ОПН или РВ) с расстояниями до оборудования согласно 10.5.2.6 настоящих Норм, по условиям защиты от грозовых перенапряжений на шинах ПС аппараты защиты могут не устанавливаться.

10.5.2.7 Защита ТП 6-10/0,4 кВ (ЗТП, КТП, столбовых (СТП) и мачтовых (МТП) подстанций) осуществляется комплектом ОПН (или РВ).

На МТП и СТП аппараты защиты устанавливаются на опорах (опоре) после или до разъединителя.

На КТП шкафного или киоскового исполнения с воздушным вводом аппараты защиты устанавливаются на шкафу устройства ввода высокого напряжения.

На ЗТП с воздушным вводом аппараты защиты устанавливаются на шинную сборку 6-10 кВ.

Защита электрооборудования ТП 6-10/0,4 кВ, непосредственно связанного с ВЛ

напряжением 0,38 кВ, осуществляется путем установки на шинах 0,4 кВ ОПН (или РВ), а на подходах ВЛ - двух защитных заземлений на расстоянии ~50 м от трансформатора и на таком же расстоянии друг от друга с присоединением их к нулевому проводу и к крюкам или штырям изоляторов фазных проводов.

Соппротивление заземления должно быть не более 30 Ом.

Защита подстанций 10/0,4 кВ, связанных с ВЛ напряжением 0,38 кВ через кабельную вставку, от перенапряжений со стороны ВЛ осуществляется посредством установки ОПН (или РВ) на опоре с концевой кабельной муфтой и защитой подхода, как описано выше.

На деревянных опорах ВЛ при переходе в кабельную линию заземляющий проводник должен быть присоединен к PEN-проводнику ВЛ и металлической оболочке кабеля (PEN-проводник - совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник).

10.5.3 Защита от прямых ударов молнии ЗРУ, зданий и сооружений на территории ПС

Здания ЗРУ и ПС следует защищать от прямых ударов молнии в районах с числом грозových часов в году более 20.

10.5.3.1 Уровень молниезащиты каждого зданий (сооружения) расположенных на территории ПС выбирается из условия наибольшего напряжения РУ устанавливаемого в здании согласно 10.5.1.4. При наличии в здании (расположенное на территории ПС) только РУ до 1 кВ, здание должно иметь уровень молниезащиты не менее III .

10.5.3.2 Молниезащита зданий не входящих в зону защиты отдельностоящих молниеприемников выполняется с помощью молниезащитной сетки и локальных молниеприемников, устанавливаемых на кровле здания.

10.5.3.3 Молниеприемная сетка должна быть выполнена из стальной проволоки диаметром 8-10 мм и уложена на кровлю непосредственно или под слой негорючих утеплителя или гидроизоляции. Токоотводы, соединяющие молниеприемную сетку с заземляющим устройством, должны быть проложены не реже указанных в таблице 10.5.3.1.

10.5.3.4 Шаг ячейки и среднее расстояние между тоководами должен соответствовать таблице 10.5.3.2.

Таблица 10.5.3.1 - Шаг ячейки молниеприемной сетки и тоководами

Уровень защиты	Шаг ячейки	Среднее расстояние между тоководами
I	5	10
II	7	15
III	10	20

10.5.3.5 В качестве молниеприемников следует использовать конструкции здания, трубы и прочее при толщине металла не менее указанных в таблице. При этом должна быть обеспечена непрерывная электрическая связь между молниеприемником и заземлителем.

Таблица 10.5.3.2 - Толщина кровли, трубы, или корпуса резервуара выполняющие функцию естественного молниеприемника

Материал	Толщина, мм
железо	4
медь	5
алюминий	7

10.5.3.5 Все выступающие над металлической кровлей или сеткой металлические элементы здания (трубы, вентиляционные устройства и прочие, несоединенные с системой электроснабжения)) следует соединять с металлической кровлей или молниеприемной сеткой. Конструктивные элементы на крыше высотой 1 м и более, в которые не допустим удар молнии, должны входить в зону защиты молниеотводов, естественных или специально установленных и металлически связанных с металлической кровлей или сеткой.

Для предотвращения нежелательной разности потенциалов между различными металлическими элементами здания (трубы, вентиляционные устройства, токоотводы (заземляющие спуски и пр.), они должны быть соединены между собой.

Для предотвращения обратных перекрытий с заземляющих спусков и металлических конструкций здания на токоведущие части наружных вводов (как для неэкранированных, так и для экранированных зданий) токоотводы следует устанавливать на расстоянии не менее 5 м от проходных изоляторов. Также должны быть приняты меры по уменьшению сопротивления заземляющего контура здания.

При вводе ВЛ в ЗРУ через проходные изоляторы, расположенные на расстоянии менее 10 м от токоотводов и других связанных с ним токопроводящих частей, указанные вводы должны быть защищены ОПН.

В качестве заземления молниезащиты зданий следует использовать контур его рабочего заземления. При молниезащите здания в дополнение к естественному заземлителю выполняется контур заземления, опоясывающий здание по его внешнему периметру. Контур укладывается на глубине 0,5 м на расстоянии 0,5 - 2 м от стен здания. Шаг соединения контура с закладными деталями железобетонного фундамента (при сварной сетке фундамента, а не вязаной) равен шагу присоединения токоотводов к контуру.

Суммарное импульсное сопротивление заземления зданий не должно превышать 10 Ом без учета эффекта вводимых в здание подземных коммуникаций. При удельном сопротивлении заземления грунта ρ более 500 Ом·м увеличение сопротивления заземления определяется согласно выражению:

$$R_{з.имп}=10 + 0,0022(\rho - 500), \text{ Ом}, \quad (10.16)$$

С учетом увеличения импульсное сопротивление заземления зданий не должно превышать более 20 Ом.

Когда эквивалентное удельное сопротивление грунта в месте размещения защищаемого объекта превышает 2500 Ом·м, возможно предусмотреть меры по его снижению по трассе контура заземления, опоясывающего объект, (например, частичной подсыпкой грунта или специальных материалов высокой проводимости).

Для расположенных на территории ПС электролизных зданий, помещений для хранения баллонов с водородом и установок с ресиверами водорода молниеприемная сетка должна иметь ячейки площадью не более 36 м² (например, 6×6 м).

10.6.1 Защита ОРУ и ПС

10.6.1.1 Электрооборудование РУ и ПС должно быть защищено от набегающих с ВЛ грозовых волн и перенапряжений, возникающих при коммутациях участков сети.

Защита от набегающих с ВЛ грозовых волн должна осуществляться:

установкой ОПН на расстоянии до электрооборудования, обеспечивающим уровень защиты изоляции, соответствующий ГОСТ 1516.3;

применением тросового подхода;

установкой в линейной ячейке комплекта ОПН.

10.6.1.2 ОПН в ОРУ и ПС устанавливается:

на трансформаторе, автотрансформаторе или ШР – для защиты от коммутационных перенапряжений при их включении или отключении и от грозовых перенапряжений;

на шинах ОРУ для защиты электрооборудования от набегающих с ВЛ грозовых перенапряжений;

за линейным выключателем для защиты электрооборудования, подключаемого к ВЛ за линейным выключателем, от коммутационных перенапряжений и набегающих с ВЛ волн грозовых перенапряжений.

ОПН должны быть установлены без коммутационных аппаратов при присоединении к линии, шинам ОРУ или автотрансформаторам (трансформаторам) или ШР. Спуск от ошиновки к ограничителю следует выполнять теми же проводами, что и для остального электрооборудованию ОРУ. Заземление ограничителя осуществляется присоединением его к заземляющему устройству ОРУ, ПС. Необходимо выполнять связь заземления защищаемого оборудования и ОПН по кратчайшему расстоянию.

10.6.2 Защита подходов ВЛ к ОРУ ПС

10.6.2.1 Защита электрооборудования ОРУ 110 кВ и выше от набегающих со стороны ВЛ грозовых волн осуществляется комплексом мер, применяемых на подходах ВЛ к ОРУ, к которым относится:

- 1) тросовая защита. Снятие троса на подходе ВЛ к ОРУ запрещается;
- 2) защитный угол троса на ВЛ не более $20 - 26^\circ$;
- 3) нормирование сопротивлений заземления опор.

На каждой опоре подхода, за исключением случаев, предусмотренных в 10.6.2.2, трос должен быть присоединен к заземлителю опоры.

10.6.2.2 На подходах ВЛ 220-330 кВ к подстанциям на длине 1 - 3 км и на подходах ВЛ от 330 кВ до 750 кВ на длине 3-5 км, если тросы не используются для емкостного отбора, плавки гололеда или связи, их следует заземлять на каждой опоре.

Заземление троса должно быть выполнено с установкой перемычки, шунтирующей зажим.

СН 3.02. -2020

Сопrotивление заземления опор на подходе ВЛ 110 кВ и выше не должно превышать 10, 15 и 20 Ом при эквивалентном удельном сопротивлении земли в диапазоне 0–100, 101–500 и 501–1000 Ом·м. Предусматривается увеличение сопротивлений заземляющих устройств опор на подходах ВЛ напряжением 110 кВ и выше в 1,5 раза при числе грозовых часов в году менее 20 и в 3 раза при числе грозовых часов в году менее 10.

Если выполнение заземлителей с требуемыми сопротивлениями заземления оказывается невозможным, то на первой опоре подхода со стороны РУ должен быть установлен комплект ОПН при заземлении ОПН на контур заземления ОРУ.

На подходах ВЛ напряжением 110 – 330 кВ с двухцепными опорами заземляющие устройства опор должны быть не выше 10 Ом.

Выполнение защиты подходов ВЛ к РУ отдельными стоящими стержневыми молниеотводами обеспечивается в особо гололедных районах и в районах с эквивалентным удельным сопротивлением земли более 1000 Ом·м.

На ВЛ напряжением 110 кВ, которые имеют защиту тросом не по всей длине и в грозовой сезон могут быть длительно отключены с одной стороны, следует устанавливать комплект ОПН на входных порталах или на первой от РУ опоре того конца ВЛ, который подвержен отключению.

На ВЛ, работающей на пониженном напряжении относительно класса изоляции, на первой опоре защищенного подхода, считая со стороны линии, должен быть установлен комплект ОПН.

На ВЛ с изоляцией, усиленной по условию загрязнения атмосферы, на первой опоре защищенного подхода со стороны ВЛ должен устанавливаться комплект ОПН, если начало защищенного подхода к ОРУ находится в зоне усиленной изоляции.

На портале ПС 330 – 750 кВ или первой опоре ВЛ со стороны ОРУ должен быть установлен комплект ОПН.

Для регионов с высокоомными грунтами импульсные сопротивления заземления опор на подходах и локальные сопротивления заземления контура подстанции должны быть определены расчетом или измерением.

10.6.2.3 Защита подходов ВЛ на деревянных опорах напряжением 6-10 кВ к подстанциям 35-110/6-10 кВ от грозовых перенапряжений должна выполняться в соответствии с требованиями настоящих Норм.

Для защиты подходов следует устанавливать ОПН (или РВ), РДИ вместо разрядников РТ.

На подходах ВЛ 6-10 кВ с деревянными опорами к ПС (РУ, РП или РТП 6-10 кВ) на расстоянии 200-300 м от ПС должен быть установлен комплект аппаратов защиты.

На ВЛ напряжением 6-10 кВ, на которых в грозовой сезон могут иметь место длительные отключения с одной стороны, следует устанавливать аппараты защиты на конструкции ПС или на концевой опоре того конца ВЛ, который может быть длительно отключен.

При установке РВ или ОПН на всех вводах ВЛ в ПС и их удалении от подстанционного оборудования в пределах допустимых значений по условиям грозозащиты аппараты защиты на шинах ПС могут не устанавливаться.

Сопrotивление заземления разрядников и ОПН не должны превышать 10 Ом при удельном сопротивлении земли до 1000 Ом·м и 15 Ом при более высоком удельном сопротивлении.

Защита подходов ВЛ напряжением 6-10 кВ к ПС молниеотводами по условиям грозозащиты не требуется.

На подходах ВЛ напряжением 6-10 кВ с железобетонными опорами к подстанциям установка аппаратов защиты не требуется. Однако, при применении на ВЛ напряжением 6-10 кВ изоляции, усиленной более чем на 30 % (например, из-за загрязнения атмосферы), на расстоянии 200-300 м от ПС и на ее вводе должны быть установлены аппараты защиты.

Железобетонные опоры на протяжении 200-300 м подхода к ПС должны быть заземлены с сопротивлением не более указанных в настоящих строительных нормах.

В случае присоединения ВЛ напряжением 6-10 кВ к ПС посредством кабельной вставки, в месте присоединения кабеля к ВЛ должен быть установлен комплект РВ или ОПН. В этом случае заземляющий зажим разрядника, металлические оболочки кабеля, а также корпус кабельной муфты должны быть соединены между собой по кратчайшему пути. Заземляющий зажим разрядника должен быть соединен с заземлителем отдельным спуском.

Если ВЛ выполнена на деревянных опорах, на расстоянии 200-300 м от конца кабеля следует устанавливать комплект аппаратов защиты. При длине кабельной вставки более 50 м установка РВ или ОПН на ПС не требуется. Сопrotивление заземления аппарата должно быть не более значений, указанных в настоящих Нормах.

Аппараты защиты от грозовых перенапряжений (ОПН, РДИ, РВ или РТ) должны быть установлены в точках ВЛ с ослабленной изоляцией:

- на единичных железобетонных опорах ВЛ напряжением 6-10 кВ с деревянными опорами;
- на опорах, ограничивающих пролеты пересечений ВЛ;
- на опорах с кабельными муфтами.

Сопротивления заземляющих устройств деревянных опор, на которых установлены трубчатые разрядники, ОПН и защитные промежутки должны приниматься в соответствии с требованиями настоящих Норм.

Подходы ВЛ напряжением 6-10 кВ, магистрали которых выполнены в габаритах ВЛ напряжением 35 кВ, следует защищать от прямых ударов молнии тросовыми молниеотводами.

10.7 Молниезащита электрических машин

Молниезащита электрических машин (генераторов, синхронных компенсаторов и высоковольтных электродвигателей) имеет свои особенности:

- уровень электрической прочности изоляции у машин значительно ниже, чем у другого оборудования;
- отсутствие специальных ОПН, которые смогли обеспечить достаточно высокую надежность защиты такой изоляции от перенапряжений;
- повреждения изоляции машин весьма значительны, так как через место пробоя изоляции машины продолжает протекать аварийный ток за счет э.д.с. остаточного намагничивания даже после снятия возбуждения машины, отключенной от сети;
- выход из строя электрических машин обуславливает большой экономический ущерб.

Поэтому для молниезащиты электрических машин на подходе ВЛ устанавливают дополнительные ОПН, отводящие часть тока набегающей волны в землю и снижающие таким образом импульсное напряжение на машине.

Кроме того, используется защитное действие кабельных вставок на подходах, чтобы снизить крутизну фронта импульсов перенапряжений на зажимах машины, параллельно с

ней подключают конденсаторы. Снижению крутизны фронта способствуют также фидерные реакторы, установленные для снижения токов короткого замыкания.

Задача молниезащиты намного упрощается, если электрическая машина присоединяется к воздушной сети не непосредственно, а через трансформатор. Трансформатор существенно ограничивает амплитуду и крутизну импульсов перенапряжений.

Схема молниезащиты электрических машин, непосредственно связанных с воздушной сетью, содержит комплекс защитных средств: ОПН (разрядник) и малоиндуктивный конденсатор на шинах, защищенный подход ВЛ, ОПН (разрядник) на подходе ВЛ и кабельную вставку. Дополнительным элементом молниезащиты электрических машин является кабельная вставка. Она не только добавляет емкость, сглаживающую волну перенапряжений, но и отводит значительную долю тока волны в землю помимо шинного ОПН. Достаточная для практики надежность требует, чтобы длина кабельной вставки составляла не менее 300 м, а защищенного воздушного подхода – не менее 100 м; величина применяемой защитной емкости должна быть 0,5 мкФ.

Присоединение мощных электрических машин к трансформатору обычно осуществляется токопроводами, имеющими экран, и поэтому для них не представляет опасности индуктированные перенапряжения. Если же соединение машины с трансформатором производится шинным мостом или воздушной гибкой связью, то необходимо предусмотреть защиту от индуктированных перенапряжений, возникающих при ударах молнии вблизи шинного моста. Достаточно эффективным средством молниезащиты в этом случае является установка конденсаторов 0,1 – 0,5 мкФ.

Кроме индуктированных перенапряжений, электрическая машина может подвергаться воздействию импульсных перенапряжений, переходящих в обмотку НН трансформатора с обмотки ВН. Несмотря на то, что высоковольтные обмотки трансформатора имеют защиту от перенапряжений, вызванных набегающими по ВЛ волнам, возникающий в них импульс после перехода на обмотку может быть опасным для электрической машины. Вследствие большой скорости изменения напряжения импульса, его амплитуда, при переходе с одной обмотки в другую, уменьшается не пропорционально $K_{тр}$, а форма существенно изменяется.

Соединение обмоток трансформатора по схеме Y_0/Δ и Y/Δ существенно снижает вероятность появления на машине перенапряжений с амплитудой опасной для изоляции.

При малой мощности генераторов электродвигателей и синхронных компенсаторов использование промежуточного трансформатора между машиной и воздушной сетью нецелесообразно по технико–экономическим причинам.

10.8 Молниезащитные заземления в электроустановках 0,4 кВ

Молниезащитное заземление предназначено для защиты зданий и сооружений от воздействия тока молнии. Повреждения изоляции оборудования на объекте (подстанции, здании, открытой площадке) могут быть вызваны ударами молнии непосредственно в объект или возникновением высоких импульсных потенциалов в результате импульсов, набегающих с линии. При поражении молнией непосредственно линии или объектов и земли вблизи (индуцированный потенциал) от прямых ударов молнии оборудование объектов защищается системой молниеотводов и заземлений, а от набегающих по линии импульсов (волн) основной защитой является ОПН. Поэтому на всех воздушных линиях выполняются молниезащитные заземления, т.е. заземляется каждая опора. Это делается для того, чтобы ток молнии, перекрывший изоляцию воздушной линии, отводился в землю через заземлители опор. В этом случае до объекта доходят импульсы не с амплитудой тока молнии, ударившей в линию, а со значительно меньшей амплитудой, т.к. раньше произойдет перекрытие линейной изоляции.

Без молниезащитных заземлений на воздушных линиях осуществить защиту зданий, изоляции подстанционного оборудования невозможно. На трансформаторных подстанциях функции молниезащитного, рабочего и защитного (с точки зрения техники безопасности) выполняет единое заземление. Поэтому оно должно быть выполнено так, чтобы избежать возможных обратных перекрытий изоляции и излишней работы релейной защиты при несоблюдении требований по магнитной совместимости.

10.9 Заземляющее устройство электроустановок 35–750 кВ

В таблице 10.8 даны усредненные значения удельных сопротивлений грунтов для различных районов Республики Беларусь. Этими данными необходимо пользоваться при проектировании заземляющих устройств при отсутствии данных по удельному сопротив-

лению грунта объекта и не проведении вертикального электрического зондирования для получения таких данных.

ЗУ электроустановок 110–750 кВ выполняется с соблюдением требований либо к их сопротивлению, либо к напряжению прикосновения. Величина электрических параметров заземляющего устройства во многом зависит от величины удельного сопротивления земли. В отношении электрической структуры земля может быть однородной и неоднородной. В случае неоднородной земли под ее удельным сопротивлением понимается эквивалентное удельное сопротивление.

Сопоставление ЗУ электроустановок должно соответствовать ТКП 181.

Таблица 10.8 – Значения удельных сопротивлений грунтов для различных регионов Республики Беларусь

№ п/п	Грунты	Удельное сопротивление, Ом·м												
		Значения для расчета заземли- телей						Граничные значения						Усредненное значение
		Минская обл.	Брестская обл.	Витебская обл.	Гомельская обл.	Гродненская обл.	Могилевская обл.	Минская обл.	Брестская обл.	Витебская обл.	Гомельская обл.	Гродненская обл.	Могилевская обл.	
1	Глины твердые и полутвердые с примесью гравия, песка, извест- няка	110	130	145	120	120	115	70–150	80– 180	100– 190	90– 150	70– 170	70– 160	125
2	Глины мягкопластичные	100	85	105	105	110	100	70–140	60– 110	60– 150	70– 140	70– 150	60– 140	105
3	Торфы насыщенные агрессивны- ми водами	40	50	35	40	40	45	25–50	30–70	20–50	30–50	25–55	30–60	45
4	Суглинки твердые и полутвердые	155	135	225	155	160	185	110– 200	100– 170	150– 300	120– 190	110– 210	120– 250	200
5	Суглинки мягкопластичные	125	125	140	140	125	140	100– 150	100– 150	110– 170	110– 170	100– 150	110– 170	135
6	Супеси твердые	265	225	245	280	260	265	210– 320	200– 250	210– 280	210– 350	210– 310	210– 320	275
7	Супеси пластичные и текучие	155	160	175	160	160	160	120– 190	130– 190	150– 200	120– 200	120– 200	130– 190	160
8	Супеси насыщенные агрессив- ными водами	120	90	120	105	110	120	90–145	70–110	90– 150	70– 140	70–145	90–150	110
9	Пески маловлажные	7000	5000	2800	3750	4500	4000	4000– 10000	2000– 8000	600– 5000	500– 6000	1000– 8000	2000– 6000	5300
10	Пески влажные и насыщенные водой	470	355	425	405	475	500	390– 550	310– 400	300– 550	310– 500	350– 600	390– 600	450
11	Пески насыщенные агрессивными водами	310	400	280	390	400	305	220– 400	250– 550	210– 350	240– 540	250– 550	210– 400	380

Напряжение прикосновения должно соответствовать ГОСТ 12.1.038.

Конструкция заземляющего устройства должна при минимальных затратах на ее сооружение обеспечить нормируемые значения электрических параметров заземляющего устройства в течение нормативного срока службы электроустановки.

Для заземления оборудования разного класса напряжения, расположенного на территории одной электроустановки, выполняется одно общее заземляющее устройство. На территории одной электроустановки нельзя иметь два заземляющих устройства, не связанных между собой, даже если они выполняют разные функции.

Основными частями заземляющего устройства подстанций и заземляющих устройств является искусственный заземлитель и естественные заземлители в зоне расположения заземляемого оборудования. Для подстанции искусственный заземлитель выполняется в пределах ограды подстанции. При необходимости искусственный заземлитель следует расширяться за пределы ограды подстанции.

В зоне расположения оборудования искусственный заземлитель выполняется в виде заземляющей сетки. В случае расширения искусственного заземлителя за пределы зоны расположения оборудования, включая его расширение за пределы ограды, его внешняя часть выполняется в виде контурного заземлителя с вертикальными электродами.

В качестве естественных заземлителей прежде всего используются: заземленные тросы воздушных линий, отходящие от электроустановки кабели с металлическими покровами (броня, экраны, оболочка), металлические трубопроводы, не содержащие горючих газов или жидкостей.

Заземляющие устройства территориально разделенных открытых распределительных ОРУ подстанций различных классов напряжения соединяются между собой горизонтальными заземлителями—связями. Число связей выбирается с учетом величины протекающих между ОРУ различных классов напряжения токов однофазного короткого замыкания, которые могут приводить к термическому повреждению протяженных проводящих коммуникаций, а также оказывать опасное влияние и мешающие влияния на устройства релейной защиты, противоаварийной автоматики и автоматизированных систем управления.

Число связей определяется расчетом на стадии проектирования, но их должно быть

не менее четырех. Заземлители–связи прокладываются равномерно по длине соседних ОРУ, в том числе и по краям ОРУ.

Искусственный заземлитель электроустановок напряжением 35–750 кВ состоит из продольных и поперечных горизонтальных заземлителей, соединенных между собой в заземляющую сетку. Продольные и поперечные горизонтальные заземлители, прокладываемые по периметру заземляющей сетки, должны в совокупности образовывать замкнутый контур. Продольные элементы заземляющей сетки прокладываются вдоль осей оборудования со стороны их обслуживания на глубине 0,5–0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8–1 м от фундаментов оснований оборудования.

При выполнении ЗУ подстанций и ОРУ электрических станций напряжением 110–750 кВ по норме на допустимое напряжение прикосновения поперечные элементы заземляющей сетки могут прокладываться в любых удобных местах между оборудованием. При этом расстояние между ними не должно превышать 30 м.

При выполнении ЗУ подстанций и ОРУ электростанций по норме на допустимое сопротивление поперечные элементы заземляющей сетки следует прокладывать на глубине 0,5–0,7 м от поверхности земли с учетом обеспечения равномерного распределения потенциала по территории заземляющей сетки. С этой целью расстояние между ними должно увеличиваться от периферии к центру заземляющей сетки в последовательности, при которой первое и последующее расстояния, начиная от периферии, не должны превысить соответственно 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 11,0; 13,5; 16,0; 20,0 м.

При выполнении ЗУ подстанций 35 кВ поперечные элементы заземляющей сетки прокладываются в удобных местах между оборудованием, при этом их число должно быть не менее четырех, а расстояние между ними не должно превышать 20 м.

Контурный заземлитель как часть искусственного заземлителя сооружается только у ЗУ подстанций 35–110 кВ. Контурный заземлитель следует располагаться как в пределах ограды подстанции, так и вне ее.

Контурный заземлитель вне ограды сооружается с целью выполнения ЗУ, удовлетворяющего нормам на его электрические параметры.

Для подстанций 35 кВ роль контурного заземлителя можно выполнять заземлитель из системы лучевых горизонтальных заземлителей с вертикальными электродами. По возможности лучевые заземлители должны прокладываться перпендикулярно друг другу, и их число не должно превышать четырех.

Максимальная глубина промерзания грунта составляет порядка 1,8 м. С учетом это-

го и фактора эффективности работы вертикальных электродов как элементов ЗУ их длина не должна быть менее 5 м. При соответствующем обосновании (например, стесненные условия) в качестве вертикальных заземлителей могут быть использованы глубинные заземлители, длина которых позволит достичь слоев земли с низким по отношению к верхним слоям земли удельным сопротивлением. При этом надо учитывать, что с точки зрения молниезащиты не всегда глубинные заземлители полностью эффективны. Часть длины глубинного заземлителя не участвует в молниезащите объекта из-за увеличения импульсного сопротивления.

Лучевые заземлители должны прокладываться на глубине 0,5 м, при большей глубине снижается эффект уравнивания потенциала и увеличивается напряжение прикосновения.

Сечение заземляющих проводников выбирается, исходя из требований, предъявляемых к их механической прочности и термической стойкости. Сечения вертикальных электродов выбираются только по их механической и коррозионной стойкости.

Коррозионное воздействие в основном оказывается на стальные элементы ЗУ, находящиеся в земле, на оцинкованные и омедненные элементы ЗУ коррозионное воздействие незначительно и практически не учитывается. Основным фактором, который влияет на коррозионное воздействие на металлические элементы ЗУ, является удельное сопротивление грунта (а не удельное эквивалентное сопротивление земли), в котором они расположены.

В таблице 10.9 приведена коррозионная активность грунта в зависимости от его удельного сопротивления.

Если минимально допустимое сечение элементов ЗУ определяется не термической стойкостью (например, ЗУ отдельно стоящего молниеотвода), а только механической прочностью, то их сечение в зависимости от агрессивности грунта применяется по таблицам 10.10 и 10.11.

Таблица 10.9 – Зависимость коррозионной активности грунта от его удельного сопротивления

Коррозионная активность	Удельное сопротивление, Ом·м
Весьма высокая	до 5

Высокая	5–10
Повышенная	10–20
Низкая	более 100

Таблица 10.10 – Сечение стальных вертикальных заземлителей в зависимости от агрессивности грунта

Коррозионная активность грунта по отношению к стали	Диаметр заземлителей	Допустимые к применению заземлители
Весьма высокая	Сталь круглая, диаметром 16мм	–
Высокая	Сталь круглая, диаметром 16мм	–
Повышенная	Для мягких грунтов сталь круглая, диаметром 12мм	Сталь угловая 63х63х6мм
Средняя	Для мягких грунтов сталь круглая, диаметром 12мм	Сталь угловая 63х63х6мм
Низкая	Для грунтов средней твердости сталь круглая диаметром 16мм	Для мягких грунтов угловая 50х50хмм; для грунтов средней твердости сталь угловая 63х63х6мм

Таблица 10.11 – Сечение стальных горизонтальных заземлителей и заземляющих проводников в зависимости от агрессивности грунтов

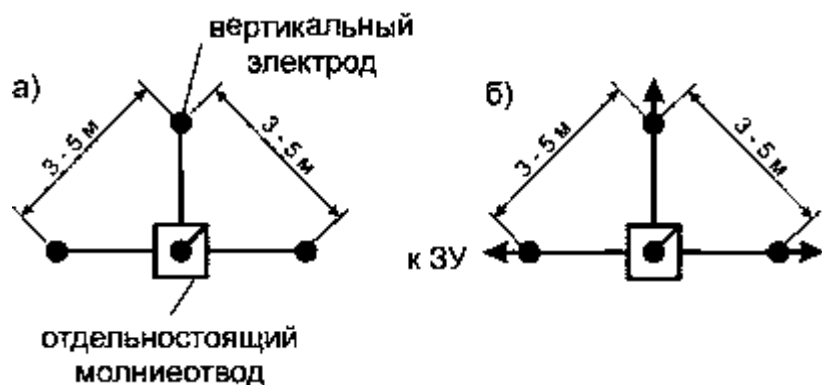
Коррозионная активность грунта по отношению к стали	Диаметр заземлителей	Допустимые к применению заземлители
Весьма высокая	Сталь круглая диаметром 16мм	Стальная полоса 20х10; 30х10; 40х10мм
Высокая	Сталь круглая диаметром 14мм	Стальная полоса 20х8; 30х8; 40х8мм
Повышенная	Сталь круглая диаметром 12мм	Стальная полоса 20х6; 30х6; 40х6мм
Средняя	Сталь круглая диаметром 12мм	Стальная полоса 20х6; 30х6; 40х6мм
Низкая	Сталь круглая диаметром 10–12мм	Стальная полоса 20х4; 30х4; 40х4мм

Соединение частей заземлителя между собой, а также присоединений заземлителей с заземляющими проводниками следует выполнять сваркой, при этом присоединение заземляющих проводников к трубопроводам должно осуществляться сваркой или хомутом. Применение подсоединения хомутом следует производить только при невозможности произвести подключение сваркой.

Заземление опорной оцинкованной металлоконструкции аппарата выполняется путем приварки заземляющего проводника к поверхности металлоконструкции. При невозможности присоединения заземляющего проводника следует использовать болтовое со-

единение. Для соединения необходимо использовать полосовую сталь сечением не менее 40х4мм.

На рисунках 10.16, 10.17, 10.18 приведены схемы заземления отдельно стоящего молниеотвода, молниеотвода, стоящего на портале.



а – заземление отдельностоящего молниеотвода, на присоединенного к ЗУ;

б – заземление отдельностоящего молниеотвода, присоединенного к ЗУ

Рисунок 10.16 – Схема заземления отдельностоящего молниеотвода

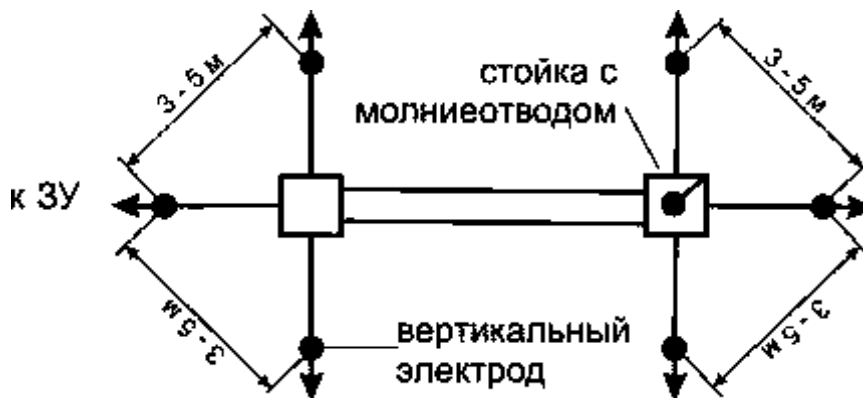


Рисунок 10.17 – Схема заземления молниеотвода, установленного на портале

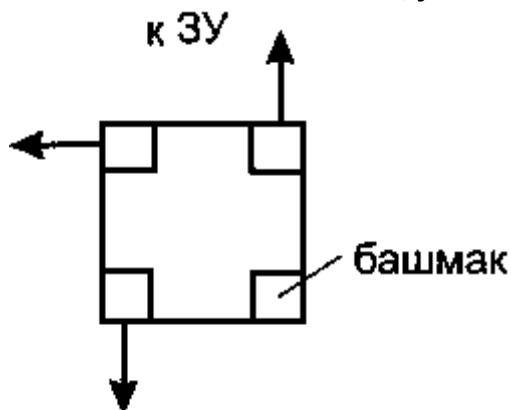


Рисунок 10.18 – Схема заземления стойки отдельно стоящего молниеотвода или стойки портала, с установленным на нем молниеотводом, имеющей четыре фундамента

При прямом ударе молнии в молниеотвод в земле образуются две характерные зоны повышенного импульсного потенциала: искровая зона и стримерная.

Искровая зона является областью с высокой проводимостью и характеризуется повышенным потенциалом. Радиус искровой зоны для средних по удельному сопротивлению грунтов и наиболее вероятных при ударах молнии в электроэнергетические объекты токов молнии составляет порядка: $r_{и}=2\text{м}$.

Стримерная зона характеризуется наличием проводящих стримеров, направленных во все стороны от искровой зоны. Радиус стримерной зоны составляет: $r_{с}=5\text{м}$.

Радиусы искровой и стримерной зон возрастают с увеличением импульсного потенциала заземления молниеотвода.

Величина импульсного потенциала снижается путем обеспечения растекания импульсных токов не менее чем трех направлениях. Для этого от молниеотвода в разных направлениях прокладываются лучевые горизонтальные заземлители. У молниеотводов, установленных на порталах, лучевые заземлители присоединяются к ЗУ.

Для отдельно стоящих молниеотводов в конце лучевых заземлителей устанавливаются вертикальные заземлители. Длина лучевых заземлителей должна быть не менее 5м.

Прокладка кабелей в искровой зоне не допускается.

Прокладку кабелей в стримерной зоне следует производить при выполнении двух способов защиты:

- способ защиты с помощью перехвата тока молнии
- способ защиты с помощью прокладки кабелей в изоляционных трубах или коробах.

Система перехвата тока молнии представляет собой проложенный в земле между молниеотводом и кабелем стальной проводник или трос (барьерный заземлитель), который по концам присоединяется к специально устраиваемым или существующим заземлителям.

Стримеры – это хорошо проводящие каналы, которые электрически связывают между собой заземление молниеотвода с заземлением системы перехвата тока молнии, как только стример достигает ее, снижает общее импульсное сопротивление молниеотвода и

тем самым снижает импульсный потенциал молниеотвода и импульсный потенциал в зоне прокладки кабеля.

Схема системы перехвата тока молнии представлена на рисунке 10.19.

В стесненных условиях, когда систему перехвата тока молнии трудно выполнить, для защиты кабель можно прокладывать в изоляционных трубах, в этом случае длина изоляционной трубы (короба) l_m зависит от радиуса стримерной зоны r_c , от удаленности кабеля от молниеотвода d и должна удовлетворить условию:

$$l_m > 2\sqrt{r_c^2 - d^2} \quad , \quad (10.17)$$

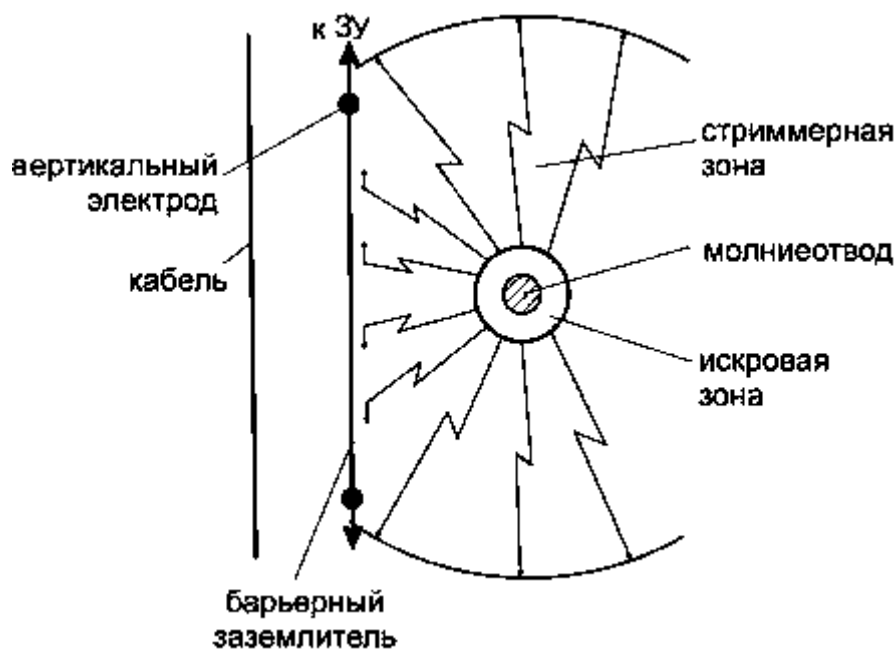


Рисунок 10.19 – Схема системы перехвата тока молнии

На рисунке 10.20 приведена зависимость l_m от d для характерного расстояния трассы прокладки кабелей от молниеотвода, равного $r_c \approx 5$ м.

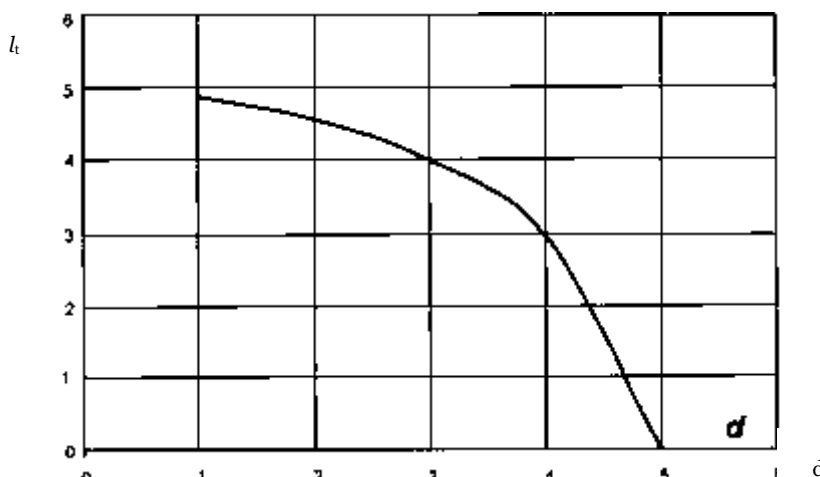


Рисунок 10.20 – Зависимость I_T от d для стримерной зоны радиусом $r_c \approx 5$ м

Источники импульсных помех во вторичных цепях могут быть подразделены на:

- внешние, непосредственно связанные с коммутациями разъединителей и выключателей напряжением выше 1 кВ, к.з. на землю, коммутациями в сети 0,4/0,23 кВ собственных нужд, с влиянием радиопередатчиков, с перенапряжениями;
- внутренние, возникающие во вторичных цепях и обусловленные коммутациями контакторов, реле соленоидов.

Электромагнитная связь вторичных цепей с источниками помех подразделяются на:

- гальваническую, когда источник помех и электрическая цепь, подверженная влиянию, связаны общим сопротивлением, например, общим заземляющим контуром;
- индуктивную, когда вторичные цепи находятся в магнитном поле токов источника помех;
- емкостную, когда вторичные цепи находятся в электрическом поле зарядов источника помех.

Помехи, возникающие в результате перехода энергии от источника помех в цепь, подверженную влиянию, могут быть снижены путем:

- подавления помех в источнике;
- подавления помех в приемнике;
- уменьшения электромагнитной связи между источником помех и цепями, подверженными влиянию.

Подавление помех в источниках помех напряжением свыше 1 кВ в настоящее время не практикуется. Во вторичных цепях эффективным средством подавления помех является применение RC–цепочек, диодов, варисторов и других элементов, подключаемых параллельно источникам помех.

Подавление помех в приемнике достигается:

- включением входных фильтров, осуществляющих селекцию полезного сигнала и установкой диодов или варисторов;
- включением оптиковолоконных развязок;
- снижением уровня помех, поступающих из сети питания, с помощью фильтров питания.

СН 3.02. -2020

По условиям обеспечения электромагнитной совместимости электросетевые объекты классифицируются по классам жесткости.

Класс первый – легкая электромагнитная обстановка, при которой:

- осуществлены оптимизированные и скоординированные мероприятия по подавлению помех, защите от перенапряжений во всех цепях;
- электропитание отдельных элементов устройств резервировано, силовые и контрольные кабели проложены отдельно;
- выполнение заземляющего устройства, прокладка кабелей, экранирование произведено в соответствии с требованиями ЭМС;
- климатические условия контролируются и приняты специальные меры по предотвращению разрядов статического электричества.

Класс второй – электромагнитная обстановка средней тяжести, при которой:

- цепи питания и управления частично оборудованы помехозащитными устройствами и устройствами для защиты от перенапряжений;
- отсутствуют силовые выключатели, устройства для отключения конденсаторов, катушек индуктивности;
- электропитание устройств АСДУ осуществляется от сетевых стабилизаторов напряжения;
- имеется тщательно выполненное заземляющее устройство;
- токовые контуры разделены гальванически;
- предусмотрено регулирование влажности воздуха, материалы, способные электролизоваться трением, отсутствуют;
- применение радиопереговорных устройств, передатчиков запрещено.

Класс третий – жесткая обстановка, при которой:

- защита от перенапряжений в силовых цепях управления не предусмотрена;
- повторного зажигания дуги в коммутационных аппаратах не происходит;
- имеется заземляющее устройство;
- силовые, контрольные и коммутационных цепей кабели разделены;
- контрольные кабели линий передачи данных, сигнализации, управления разделены;

- относительная влажность воздуха поддерживается в определенных пределах, нет материалов электризуемых трением;

- использование переносных радиопереговорочных устройств ограничено (установлены ограничения приближения к приборам на определенное расстояние).

Класс четвертый – крайне жесткая обстановка, при которой:

- защита в цепях управления и силовых контурах от перенапряжений отсутствует;
- имеются коммутационные устройства, в аппаратах которых возможно повторное зажигание дуги;

- существует неопределенность в выполнении заземляющего устройства;

- нет пространственного разделения силовых, контрольных кабелей и коммутационных цепей;

- допустимы любая влажность воздуха и наличие электролизуемых трением материалов;

- в непосредственной близости могут находиться мощные радиопередатчики;

- вблизи могут находиться дуговые технологические устройства.

Характерными источниками электромагнитных воздействий в нормальных и аварийных режимах, которые могут оказывать влияние на АСДУ на электросетевом объекте, являются:

- напряжения и токи промышленной частоты при коротких замыканиях и двойных замыканиях на землю в сетях с изолированной нейтралью в распределительных устройствах напряжением выше 1 кВ:

- импульсные токи при ударе молнии;

- электромагнитные поля радиочастотного диапазона;

- разряды статического электричества;

- магнитные поля промышленной частоты;

- импульсные магнитные поля;

- возмущения в цепях питания АСДУ постоянного и переменного тока;

- дополнительными источниками электромагнитных воздействий на электросетевом объекте, которые могут вызвать сбои в работе АСДУ, являются такие виды вспомогательного оборудования, как мощные преобразователи, сварочные аппараты, осветительные приборы, мощные тяговые механизмы, бытовые электроприборы.

При проектировании нового электросетевого объекта уровни электромагнитных воздействий определяют расчетным путем. При техническом перевооружении электросете-

вого объекта данные получают расчетно–экспериментальным путем. По результатам классификации электромагнитной обстановки (ЭМО) по видам воздействий устанавливаются степень жесткости испытаний устройств АСДУ, при этом порядковые номера класса ЭМО и степени жесткости испытаний должны совпадать. В таблице 10.12 приведены характеристики условий эксплуатации для определения класса ЭМО.

При определении класса жесткости испытания производятся в следующем объеме:

- испытание на устойчивость к воздействию динамических изменений напряжения электропитания;
- испытание на устойчивость к воздействию микросекундных импульсных помех большой энергии;
- испытание на устойчивость к воздействию колебательных затухающих помех;
- испытание на устойчивость к воздействию наносекундных помех;
- испытание на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты.

Таблица 10.12 – Характеристика условий эксплуатации

	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
Система электропитания	Электронные устройства подключены к защищенной системе электропитания, к которой неразрывно подключается другое оборудование или к автономной системе питания (система бесперебойного питания, преобразователь мощности).	Порты электропитания ТС, установленных на энергопредприятиях и электростанциях, чувствительных электрических сетей с использованием специальных трансформаторов развязки, защитных устройств и т.д.	Порты электропитания защищенного электронного оборудования и менее чувствительных электрических устройств непосредственно к электрическим сетям электростанций и энергопредприятий.	Электронные устройства и другое оборудование (в том числе, энергетическое) имеют общую систему электропитания.	

	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
Характеристика системы заземления	ТС подсоединены к специально сконструированной системе заземления, на которую не оказывают существенного влияния силовые установки, коммутации и молниевые разряды.	ТС подключены с использованием разрядных заземляющих шин к системе заземления силовых энергетических установок, в которой могут возникать напряжения помех, создаваемые коммутациями, так и молниевыми разрядами.	1. ТС имеют общую систему заземления с силовыми энергетическими установками, подверженную помеховым воздействиям относительно высокой амплитуды, создаваемым энергетическими установками и молниевыми разрядами. 2. В системе заземления используются проводящие каналы, проводники заземления в кабельных желобах (соединенных с системой защитного заземления) и контура заземления.	ТС имеют общую систему заземления энергетическими установками, подверженную значительным помеховым воздействиям высокой амплитуды, создаваемым энергетическими установками и молниевыми разрядами.	Электронные устройства не имеют распределенной системы заземления.
Наличие средств защиты кабелей	1. Все входящие в помещение кабели обеспечены средствами защиты от перенапряжений, кабелей. 2. Кабели электропитания с экранами, заземленными обоими концами, фильтрацией подаваемого электропитания.	1. Имеется ограниченное число не защищенных от перенапряжений соединительных кабелей. 2. Частичное помехоподавление в цепях силового электропитания и управления, которые переключаются только с помощью реле (не контакторами). 3. Порты электропитания и ввода-вывода подключены к экранированным кабелям.	1. Отсутствуют устройства помехоподавления в цепях силового электропитания и управления содержащих индуктивные нагрузки, которые переключаются только с помощью реле (не контакторами). 2. Порты электропитания и ввода-вывода подключены к неэкранированным кабелям.	1. Все кабели и линии обеспечены средствами защиты от перенапряжений, (первичная защита). 2. Отсутствуют устройства помехоподавления в цепях силового электропитания и управления, содержащих индуктивные нагрузки, которые переключаются как с помощью реле, так и контакторов. 3. Порты электропитания и ввода-вывода ТС подключены к неэкранированным кабелям, проложенным на открытой местности.	Не принимаются меры по снижению помех.

СН 3.02. -2020

	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
Характеристика способа прокладки кабелей	1. Разделены линии силового электропитания (переменного и постоянного тока и управляющие и измерительные цепи).	1. Разделены неэкранированные кабели силового электропитания (переменного и постоянного тока) и управляющие и измерительные цепи. 2. Порты ввода–вывода подключены к кабелям, проложенным параллельно кабелям электропитания, соответствующим рассматриваемому классу электромагнитной обстановки.	1. Силовые и сигнальные кабели не разнесены. 2. Соединительные кабели могут частично прокладываться вне помещения, на открытой местности с применением экранирующих конструкций (например, металлических кожухов) и проходить вблизи шин заземления.	1. силовые и сигнальные кабели не разнесены. 2. Отсутствует разделение цепей, связанных с более жестким уровнем электромагнитной обстановки от других цепей. 3. Соединительные кабели проложены вне помещений.	
Характеристика способа прокладки кабелей	2. Порты ввода–вывода подключены к кабелям, проложенным параллельно кабелям электропитания, соответствующим рассматриваемому классу электромагнитной обстановки и не выходящим за пределы помещения для управления.	3. Порты ТС подключены к кабелям, соединенным с оборудованием, расположенным в помещениях управления и залах релейной защиты. 4. Кабели, подключенные к ТС, отделены от кабелей, подключенных к электромеханическим реле, контакторам или другим устройствам, генерирующим перенапряжения, с использованием отдельных траншей, желобов, труб.	3. Порты ввода–вывода подключены к кабелям, проложенным параллельно кабелям электропитания, соответствующим рассматриваемому классу электромагнитной обстановки. 4. Порты ввода–вывода подключены к кабелям, не являющимся частью системы кабелей, подключенных к контакторам или другим устройствам, генерирующим импульсные помехи; вместе с тем указанные кабели могут быть проложены в общих траншеях, желобах, трубах и т.д.	4. используются многопроводные кабели, являющиеся общими для электронного оборудования и устройств, генерирующих импульсные помехи.	

	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
Характеристика возможных уровней помех	Уровень возможных коммутационных помех ограничивается помехоподавляющими устройствами.	Операции переключения и молниевые разряды могут создавать в системе заземления напряжения помех с не высокой амплитудой.	Операции переключения и молниевые разряды могут создавать в системе заземления напряжения с относительно высокой амплитудой.	1.Операции переключения и молниевые разряды могут создавать в системе заземления напряжения помехи со значительной амплитудой.	Перенапряжения, вызванные короткими замыканиями (токи до 10 кА) и молниевыми разрядами (токи до 10 кА), могут
				2. Меры по снижению помех не принимаются.	быть экстремально высокими, если не применены средства защиты.
Пример помещения	Компьютерные залы.	Помещения для средств измерения, контроля и управления на промышленном или энергетическом предприятии.	Помещения релейной защиты на подстанциях высокого напряжения.	Помещения, в которых установлено силовое техническое или коммутационное оборудование.	Обстановка на ОРУ подстанции высокого напряжения.

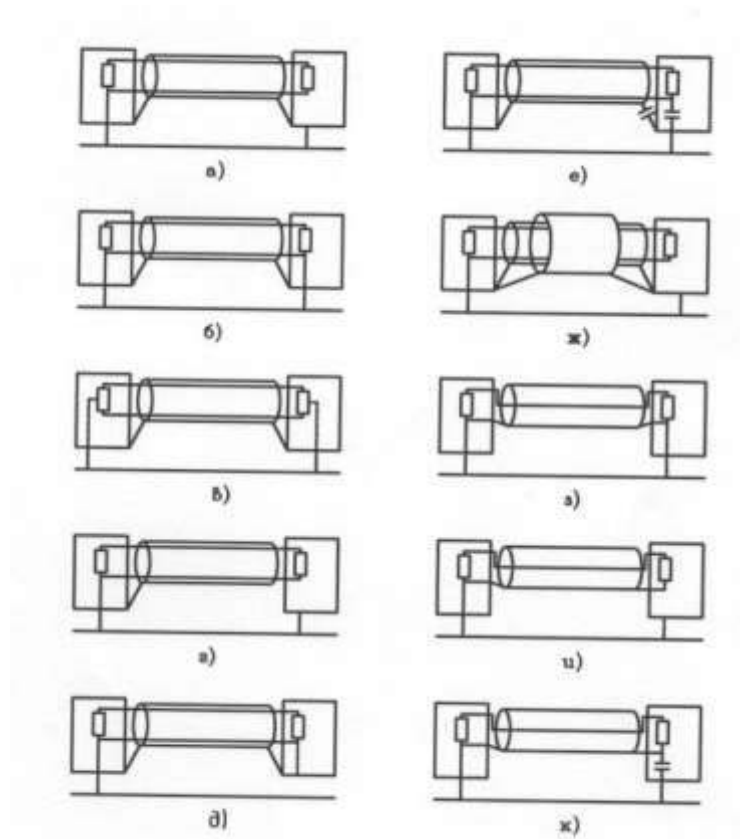
На рисунке 10.21 приведены области применения различных способов заземления жил и экранов кабелей. В таблице 10.12 приведена классификация типовых сигналов.

Схема на рисунке 10.21а – способ, при котором сигнальные цепи заземлены на одном конце во избежание появления помех промышленной частоты, а экран заземлен на обоих концах для наилучшего снижения высокочастотных помех. Данная схема широко используется для подключения оборудования на РУ (сигналы 4 таблицы 10.12) и для подключения кабелей с сигналами управления или цифровыми сигналами среднего уровня на электростанциях (сигналы 3 таблицы 10.12). Схема не подходит для подключения кабелей с чувствительными сигналами низкой частоты (2 б таблицы 10.12) в асимметричных (несимметричных) цепях, она также мало подходит высокоскоростных цифровых цепей (сигнал 1а таблицы 10.12).

Схема 10.21б пригодна для подключения, как экрана, так и сигнальной жилы. Заземление выполняется с двух сторон. Данная схема заземления считается наилучшей для высокочастотных цепей (сигнал 1 таблицы 10.12).

Схема 10.21в используется для цепей дистанционного управления. Экран кабеля заземлен с двух сторон и обеспечивает экранирование от продольных возмущений. Един-

ственным практическим способом уменьшения низкочастотной помехи в данной схеме является обеспечение значений продольных сопротивлений проводников (с учетом обратного провода в земле), много больших, чем сопротивление нагрузки. Так как активная составляющая данного сопротивления обычно очень мала, увеличению поддается только индуктивная составляющая, например, при помощи надетого на проводник кольца из магнитного материала. Данная схема позволяет избавиться от помех во всем диапазоне частот.



а – хорошее заземление для ослабления высокочастотных помех и плохое при несимметричных цепях, чувствительных к низкочастотным помехам; б – хорошее для высокочастотных цепей с выровненным опорным потенциалом и плохое при значительных продольных низкочастотных помехах; в – хорошее для ослабления помех во всем диапазоне частот; г, д – хорошее для передачи сигналов низкой частоты и плохое при значительных синфазных помехах; е – хорошее для ослабления помех высокой и низкой частоты; ж – обеспечивает хорошую защиту от помех во всем диапазоне частот; з – хорошее для цепей с сигналами СВЧ при качественной сети заземления и плохое при наличии значительных продольных возмущений; и – хорошее для коротких цепей с сигналами СВЧ; к – хорошее экранирование помех высокой частоты.

Рисунок 10.21 – Практические способы заземления контрольных жил и экранов кабелей

Схемы 10.21г и 10.21д – это обычные схемы соединения для передачи сигналов низкой частоты (2а таблицы 10.12) при наличии низкочастотных возмущений. Схема 10.21д с незаземленным корпусом электрооборудования обеспечивает большую помехозащищенность, но не обеспечивает требований по технике безопасности.

В схеме 10.21е ослабление механизма связи между токами низкой и высокой частоты достигается за счет конденсаторов, позволяющих получить снижение помех высокой частоты за счет двойного заземления без опасения появления противофазных помех низкой частоты вследствие несимметричности сети.

Схема 10.21ж объединяет в себе достоинство схем 10.21а и 10.21г, обеспечивая хорошую защиту от помех во всем диапазоне частот. Поэтому схема используется для передачи низкочастотных сигналов низкого уровня (2в таблицы 10.12).

Схема 10.21з – с коаксиальным кабелем и заземлением на обоих концах используется для передачи сигналов высокой частоты оборудованию, не подверженному воздействию помех низкой и высокой частоты, в частности радиооборудованию, работающему в диапазоне СВЧ.

Таблица 10.12 – Классификация типовых сигналов в порядке уменьшения чувствительность к внешним возмущениям

№ п/п	Вид сигнала	Обычный уровень	Типичный частотный диапазон
1а	Цифровой высокоскоростной сигнал низкого уровня, например, RS422/V11, G703, Ethernet	0,1 – 5 В	>20 кГц
1б	Широкополосный аналоговый сигнал, например от измерителей потока нейтронов	10 мкВ – 1 В	<10 МГц
2а	Цифровой низкоскоростной сигнал низкого уровня, например, от импульсных генераторов для измерений скорости или положения, RS232/V28	<20 В	<20 кГц
2б	Аналоговый низкочастотный сигнал низкого уровня, например, от датчиков измерения температуры или вибрации	<1 В	<1 кГц
3а	Дискретные сигналы среднего уровня, например сигналы управления или указания	>10 В	<100 Гц
3б	Аналоговые сигналы среднего уровня, например от датчиков технологического контроля	1 – 10 В 4– 20 мА	<100 Гц
4а	Дискретные сигналы высокого уровня, например сигналы управления выключателями и разъединителями	>50 В	<100 Гц
4б	Аналоговые сигналы высокого уровня от трансформатора тока и напряжения	>10 В >20 мА	<1 Гц

Схема 10.21и с коаксиальным кабелем и заземлением на одном конце применяется везде, где токи помех низкой частоты по внешнему проводнику могут повлиять на полезный сигнал.

Схема 10.21к, подобно схеме 10.21е, обеспечивает хорошее экранирование высоких частот без вредных воздействий, связанных с протеканием токов низкой частоты.

При диагностике состояния заземляющего устройства производится проверка на соответствие требованиям ЭМС, исходя из того, что:

- потенциал заземляющего устройства при коротком замыкании не должен превышать допустимого значения;

- разность потенциалов между РЩ и местом короткого замыкания не должна превышать испытательного значения для изоляции контрольных кабелей вторичной коммутации;

- уровни импульсных помех, связанных с подъемом потенциала при коммутациях силового оборудования и ударах молнии, не должны превышать допустимых для аппаратуры значений;

- силовое оборудование, помещения релейных щитов, щиты управления и комнаты (здания) связи подсоединяют к заземляющему устройству. Проводники, заземляющие оборудование, должны иметь, возможно, меньшую длину. Не допускается последовательное соединение заземления различного оборудования. Все проводники заземления соединяют в местах взаимного пересечения. Кабельные лотки и кабель – раст из проводящих материалов заземляют на обоих концах и при пересечении с другими металлическими элементами;

- в зданиях, содержащих электронную и микропроцессорную аппаратуру, прокладываются шины заземления вдоль стен помещений. Шины заземления образуют замкнутую петлю, которая соединяется с ЗУ не менее чем двумя проводниками того же сечения, расположенными на наибольшем расстоянии друг от друга. В зависимости от способа присоединения к шине оборудования, аппаратуры и других металлоконструкций, требующих заземления, шина прокладывается или закрыто в стенах, полу помещения, или открыто на стенах на уровне пола;

- параллельно с кабельным каналом (лотком), проходящим по территории ОРУ, прокладывают горизонтальную шину заземлителя на расстоянии не более 1 м;

– присоединение экранов кабелей выполняют к шине заземления, либо к корпусам металлических шкафов в месте входа кабелей. Длина проводника, соединяющего экран и корпус оборудования должна быть наименьшей. Экран или трубу, используемые в качестве экрана, заземляют по всему их периметру. Сечение проводников для заземления экрана выбирают не меньше сечения экрана;

– концы заземляющих проводников присоединяют к чистой металлической поверхности, поверхность контактов покрывают защитным покрытием, предотвращающим коррозию. Применение разнородных материалов для осуществления заземления аппаратов или систем к заземляющему устройству запрещается;

– лоток должен представлять единую металлическую конструкцию, в которой обеспечена непрерывность металлических соединений, сваривают места стыка отдельных частей лотка по периметру.

В качестве элементов заземляющей сетки искусственного заземления закрытых распределительных устройств в пределах здания должны быть использованы металлоконструкции под оборудование и элементы кабельных конструкций. Дополнительные элементы заземляющей сетки в виде горизонтальных заземлителей прокладываются только со стороны обслуживания оборудования, расположенного на первом этаже при наличии бетонных полов. При этом заземлители должны быть проложены в бетоне при укладке полов.

Заземление оборудования, расположенного на этажах выше первого, осуществляется с помощью магистралей заземлений, прокладываемых по стенам внутри зданий. Концы магистралей заземлений должны присоединяться к ЗУ вертикальными спусками, которые не должны одновременно быть использованы для заземления молниезащитных устройств здания. Специального уравнивания потенциалов на втором и более высоких этажах здания распределительного устройства не требуется.

Заземление оборудования комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией производится путем присоединения точек заземления к металлическим рамным конструкциям, на которых устанавливаются ячейки КРУЭ. Рамные конструкции присоединяются к заземляющей сетке, уложенной в бетонном полу под рамными конструкциями и присоединенной к ЗУ электроустановки.

10.10 Электроустановки напряжением 6–10 кВ

Заземлители состоят из нескольких электродов, проложенных в земле, с высоким удельным сопротивлением, из большого числа электродов, объединенных полосой или круглой сталью. Только в том случае, если расстояние между электродами очень велико, их сопротивление будет мало зависеть от влияния соседних электродов и иметь минимальное значение. В реальных условиях электроды располагаются более близко друг к другу, и как следствие, возникает взаимное влияние их электрических полей друг на друга при растекании тока с заземлителя. Вследствие наложения полей происходит уменьшение действующего сечения земли около электродов и увеличение их сопротивления растеканию тока. Чем больше число электродов в заземлителе и чем меньше расстояние между ними, тем сильнее сказывается взаимное влияние электродов друг на друга. Это влияние оценивается коэффициентом использования заземлителя η

$$\eta = \frac{R_0}{R_3} n, \quad (10.18)$$

где R_0 – сопротивление отдельного электрода

R_3 – сопротивление заземлителя в целом

n – число электродов

Сопротивление заземлителя в целом

$$R_3 = \frac{R_j}{\eta} n \quad (10.19)$$

В таблице 10.14 даны значения коэффициентов использования.

Таблица 10.14 – Коэффициент использования вертикальных электродов, размещенных в ряд без учета влияния полосы связи

Отношение расстояния между вертикальными электродами a/l	Число электродов, шт	Коэффициент использования η
1	2	0,84–0,87
	5	0,67–0,72
	15	0,51–0,56
2	2	0,9–0,92
	5	0,79–0,83
	15	0,66–0,73
3	2	0,93–0,95
	5	0,85–0,88

	15	0,76–0,8
--	----	----------

Сопротивление одного вертикального электрода равно

$$R_B = \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+1}{4t-1} \right), \quad (10.20)$$

где ρ – удельное сопротивление однородной земли, Ом·м;

l – длина вертикального заземлителя в м;

d – внешний диаметр электрода в м;

t – глубина заложения, равная расстоянию от поверхности земли до середины электрода.

Сопротивление горизонтального заземлителя равно

$$R_r = \frac{0,366\rho}{l} \lg \frac{l^2}{dt}, \quad (10.21)$$

где l – длина горизонтального заземлителя в м;

d – диаметр проводника заземлителя в м;

t – глубина заложения заземлителя в м.

При отсутствии данных по удельному сопротивлению эти значения можно брать из таблицы 10.8.

В таблице 10.15 даны коэффициенты использования параллельно уложенных полос на глубине 0,3–0,8м или прутка из круглой стали диаметром 10–20мм.

Расстояние между вертикальными заземлителями, исходя из эффективного использования металла, как минимум должно быть в 2 раза больше их длины, а при лучевом заземлителе лучи следует располагать под равными углами от центра и их должно быть не более 4–х.

Вертикальный электрод, забитый рядом с железобетонной стойкой опоры, не снижает сопротивление заземлителя.

Таблица 10.15 – Коэффициенты использования параллельно уложенных полос

Длина каждой полосы	Число параллельных полос	Расстояние между полосами, м		
		1	5	15
15	10	0,25	0,49	0,72
	2	0,55	0,75	0,85

На рисунках 10.22 – 10.26 даны схемы выполнения заземления опор и заземляющих устройств трансформаторных подстанций.



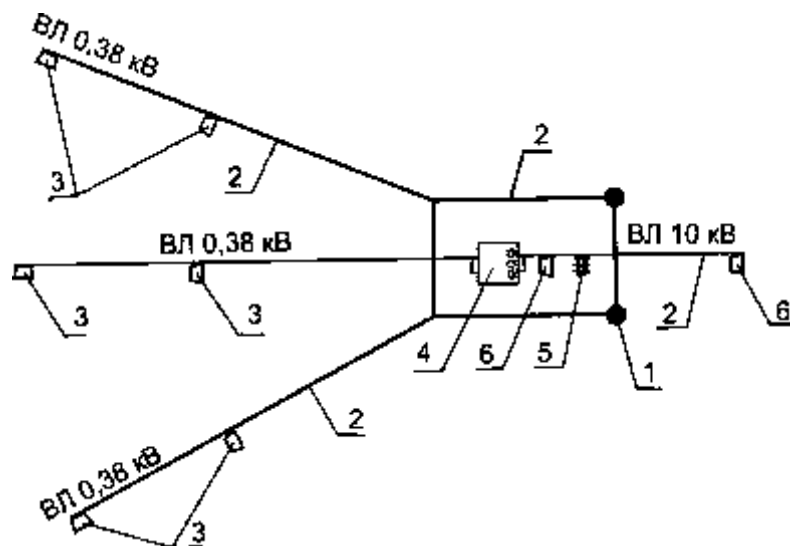
Рисунок 10.22 – Заземление внутри закрытой трансформаторной подстанции

При выполнении ЗУ трансформаторных подстанций в первую очередь выполняется обязательный заземлитель. Обязательный (совмещенный) заземлитель подстанций типа КТП и МТП состоит из замкнутых контуров, проложенных вокруг площадки, занимаемой электрооборудованием подстанции, на расстоянии 0,8–1,0 м от оборудования, и горизонтальных связей со всеми концевыми опорами ВЛ 10 кВ и 0,4 кВ. Кроме того, в двух углах контура подстанции типа КТП со стороны разъединителя забивается по одному вертикальному заземлителю длиной по 2,5 м для уравнивания потенциала на поверхности земли у разъединителя и снижения импульсного сопротивления заземлителя. Укладывать контурную часть заземлителя следует на глубине 0,3–0,5 м, но не глубже. Эффект уравнивания потенциалов по поверхности земли достаточно высок при расположении заземлителя на глубине 0,1–0,2 м.

Заземляющее устройство закрытой трансформаторной подстанции состоит из заземлителя внутри здания и наружного заземлителя. Внутри здания для магистрали заземления используются все опорные металлоконструкции.

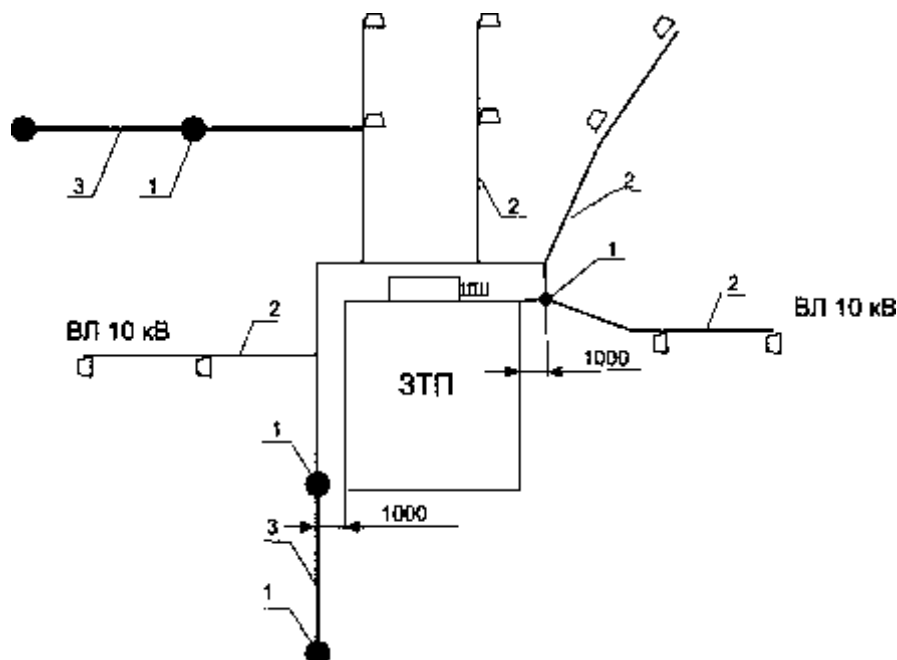
Наружный заземлитель выполняется аналогично заземлителю ЗТП и МТП. Кроме того, в обязательный заземлитель входят два вертикальных заземлителя длиной по 2,5 м, забиваемые на расстоянии 1 м от стены здания у спусков от молниеприемника для снижения импульсного сопротивления заземлителя.

Связь внутреннего и наружного заземлений осуществляется в двух местах с противоположных сторон здания ЗТП.



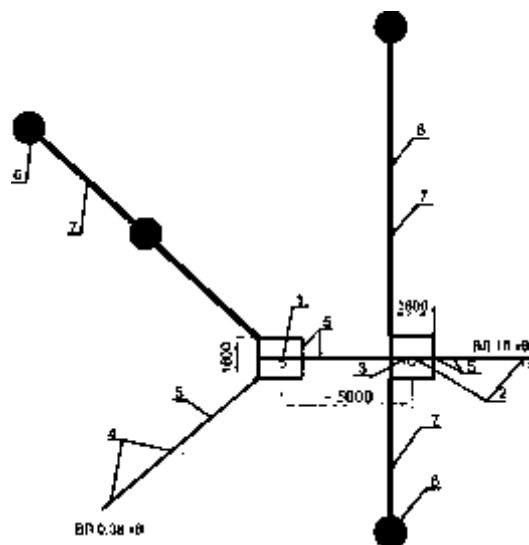
- 1 – вертикальный заземлитель; 2 – горизонтальный заземлитель (обязательный), глубина укладки 0,5 м; 3 – концевая опора ВЛ 0,38 кВ; 4 – трансформатор;
5 – разъединитель; 6 – концевая опора ВЛ 10 кВ

Рисунок 10.23 – Заземляющее устройство КТП 10/0,4 кВ при трех отходящей ВЛ 0,38 кВ



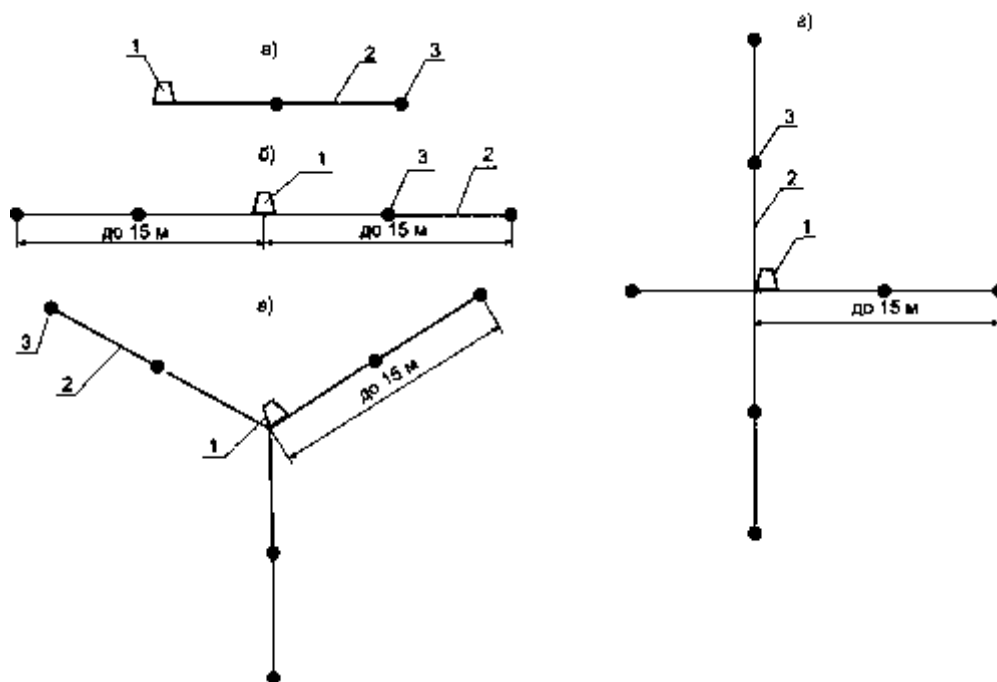
- 1 – вертикальный заземлитель; 2 – горизонтальный заземлитель (обязательный);
3 – горизонтальный заземлитель (дополнительный);
— — — — — обязательный (совмещенный) заземлитель
● — — — — — дополнительный заземлитель

Рисунок 10.24 – Наружный заземлитель закрытой трансформаторной подстанции



- 1 – стойка мачтовой ТП 10/0,4 кВ; 2 – концевая опора ВЛ 10 кВ; 3 – привод разъединителя; 4 – концевая опора ВЛ 0,38 кВ; 5 – горизонтальный заземлитель (обязательный), глубина укладки 0,5 м; 6 – вертикальный заземлитель; 7 – горизонтальный заземлитель
- — — — — обязательный (совмещенный) заземлитель
 — — — — — дополнительный заземлитель

Рисунок 10.25 – Заземляющее устройство мачтовой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ



- 1- стойка опоры; 2 – горизонтальный заземлитель; 3 – вертикальный заземлитель
 а) однолучевая схема; б) двухлучевая схема;
 в) трехлучевая схема; г) четырехлучевая схема

Рисунок 10.26 – Рациональное расположение заземлителей опор ВЛ (план)

10.11 Защита электронных средств управления (РЗА, ТМ, связь)

Нарушение целостности конструкции заземления оборудования может произойти вследствие недокументированных отклонений от проекта при сооружении ЗУ, коррозии металла в процессе эксплуатации объекта, повреждении части заземлителей объекта, повреждении части заземлителей при ремонтных работах, реконструкции отдельных ячеек, термического воздействия тока ОКЗ и т.п.

В соответствии с физической сущностью рассматриваемой проблемы обследование целостности конструкции заземления оборудования в том числе производится по величине сопротивления растеканию основания оборудования, которое характеризует качество связи конструкции заземления оборудования с ЗУ объекта (ПС или ОРУ ЭС). Измерение сопротивления основания оборудования производится путем имитации ОКЗ при пониженном напряжении. В качестве источника пониженного напряжения целесообразно использовать ТСН. Имитируемый ток ОКЗ вводится в заземляющий проводник оборудования без его разрыва и определяет потенциал заземления проверяемого оборудования.

Оценка целостности конструкции заземления оборудования производится по базовой величине её сопротивления R_6 , которая характеризует наличие достаточной связи заземления оборудования с ЗУ. В качестве базовой величины сопротивления конструкции заземлителя R_6 принимается среднее значение сопротивления во всех точках измерения, которое равно

$$R_6 = \frac{\sum_{n=1}^N R_{xn}}{N}, \quad (10.22)$$

где n – текущий индекс суммирования, соответствующий точке измерения;

R_{xn} – измеренное сопротивление заземления фундамента в точке n , Ом;

N – количество точек измерения.

Устанавливается критерий достаточности нормального состояния целостности конструкции заземлений по величине коэффициента K_d , который в зависимости от R_6 и измеренного сопротивления заземления R_x равен

$$K_d = \frac{R_x}{R_6} \leq 1,5, \quad (10.23)$$

Следует особо указать на то, что введение понятия коэффициента достаточности заземления оборудования K_d не является формальным действием для решения поставленной задачи определения состояния целостности конструкции заземления оборудования, а соответствует физическому принципу, который определяет нормальное функционирование оборудования энергетического объекта. Сущность этого принципа состоит в следующем: на энергетических объектах все оборудование имеет заземление, удовлетворяющее требованиям соответствующих нормативно–технических документов, однако из-за нарушения целостности конструкции заземления оборудования по ряду причин, незначительная часть оборудования может быть заземлена ненадлежащим образом.

В соответствии с этим принципом, средняя величина сопротивления заземления всего оборудования R_6 и характеризует степень приближения величины сопротивления заземления оборудования к требуемой величине сопротивления. Всякое отклонение величины сопротивления заземления рассматриваемого оборудования от R_6 в сторону увеличения свидетельствует о том, что целостность конструкции заземления по какой–то причине нарушена и требуется срочная её реконструкция. В этом смысле коэффициент достаточности заземления оборудования K_d и характеризует степень целостности конструкции заземления и рассматриваемого оборудования.

Сопротивление заземления фундамента R_x определяется по измеренному потенциалу заземления оборудования U_x и по току I_x как

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}, \text{ Ом.} \quad (10.24)$$

Потенциал U_x и ток I_x измеряются при имитации ОКЗ. При этом в качестве источника напряжения используется ТСН.

Имитация ОКЗ осуществляется при помощи электронного коммутатора, который через добавочное сопротивление R_d (ограничивающее ток) включается в цепь «ТСН – заземляющий проводник» и коммутирует ток I_x . Потенциал заземлителя U_x измеряется импульсным вольтметром V . Схема измерения параметров U_x , I_x приведена на рисунке 10.27.

На практике измерение параметров U_x и I_x целесообразно выполнять с помощью комплекта приборов для измерения напряжения прикосновения. Достоинством этих при-

боров является ток, что они компактны, позволяют коммутировать измерительную цепь в кратковременном режиме, что обеспечивает термическую целостность измерительных устройств и способствует улучшению условий электробезопасности при измерениях.

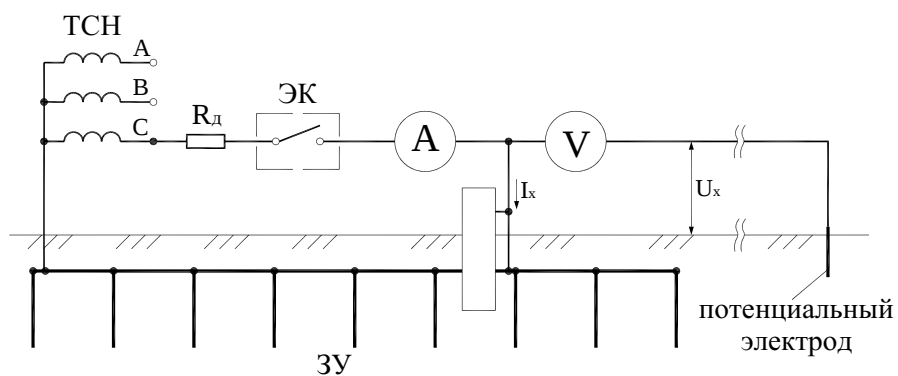


Рисунок 10.27 – Схема измерений параметров U_x и I_x

Приложение А

(справочное)

Оценка ежегодного количества N опасных случаев

А.1 Общие положения

Среднегодовое количество N опасных случаев, происходящих в результате ударов молнии, зависит от грозовой активности в зоне, в которой находится защищаемый объект, и от физических характеристик этого объекта. Для определения количества N умножают плотность ударов молнии в землю N_g на эквивалентный участок сбора данных объекта с учетом поправочных коэффициентов для физических характеристик объекта.

Плотность ударов молнии в землю N_g – это ежегодное количество ударов молнии на квадратный километр. Данное значение можно определить по местоположению разрядов молнии в землю во многих районах мира.

Примечание – Если в карте продолжительности гроз значение N_g отсутствует, то в районах с умеренным климатом его можно оценить по формуле:

$$N_g \approx 0,1 \cdot T_d, \quad (\text{А.1})$$

где T_d – количество грозовых дней в году (которое можно определять по карте количества грозовых дней в году).

К событиям, которые могут рассматриваться как опасные для защищаемого здания или сооружения, относятся следующие:

- удары молнии в здание (сооружение);
- удары молнии вблизи здания (сооружения);
- удары молнии в систему энергоснабжения, входящую в здание (сооружение);
- удары молнии вблизи системы энергоснабжения, входящей в здание (сооружение);
- удары молнии в здание (сооружение), к которому подсоединена система энергоснабжения.

События, которые можно рассматривать как опасные для защищаемой системы энергоснабжения:

- удары молнии в систему энергоснабжения;
- удары молнии вблизи системы энергоснабжения;
- удары молнии в здание (сооружение), к которому подсоединена система энергоснабжения.

А.2 Оценка ежегодного среднего количества опасных случаев, возникающих в результате ударов молнии в здание (сооружение) N_D и в здание (сооружение), подсоединенное на конце «а» линии электропередачи N_{Da}

А.2.1 Определение участка сбора данных A_d

Для изолированных зданий (сооружений), находящихся на плоской поверхности земли, участок сбора данных A_d – это зона, определяемая пересечением поверхности земли и прямой линии с уклоном 1/3, которая проходит от верхних частей здания (касаясь его там) и поворачивается вокруг него. Значения A_d можно определить графически или математически.

А. 2.1.1 Здание (сооружение) прямоугольной формы

Для изолированного здания (сооружения) прямоугольной формы длиной L , шириной W и высотой H , находящегося на плоской поверхности земли, участок сбора данных определяется:

$$A_d = L \cdot W + 6 \cdot H \cdot (L + W) + 9 \cdot \pi \cdot (H)^2, \quad (\text{А.2})$$

где L , W и H выражены в метрах (см. рисунок А.1).

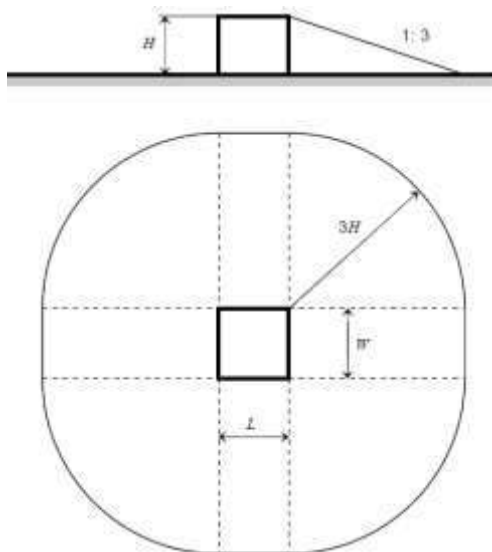


Рисунок А.1 – Участок сбора данных A_d изолированного здания (сооружения)

А.2.1.2 Здание (сооружение) сложной формы

Если здание (сооружение) имеет сложную форму, например наличие крыши с выступающими частями (см. рисунок А.2), то используют графический метод для оценки A_d (см. рисунок А.3).

При этом участок сбора данных представляет собой площадь, объединяющую A_{dmin} , определенную по формуле А.2 с учетом минимальной высоты здания (сооружения), и A_d' , относящуюся к выступающим элементам крыши.

Площадь выступающих элементов крыши A_d' определяется:

$$A_d' = 9 \cdot \pi \cdot (H_p)^2, \quad (A.3)$$

где H_p – высота выступающего элемента.

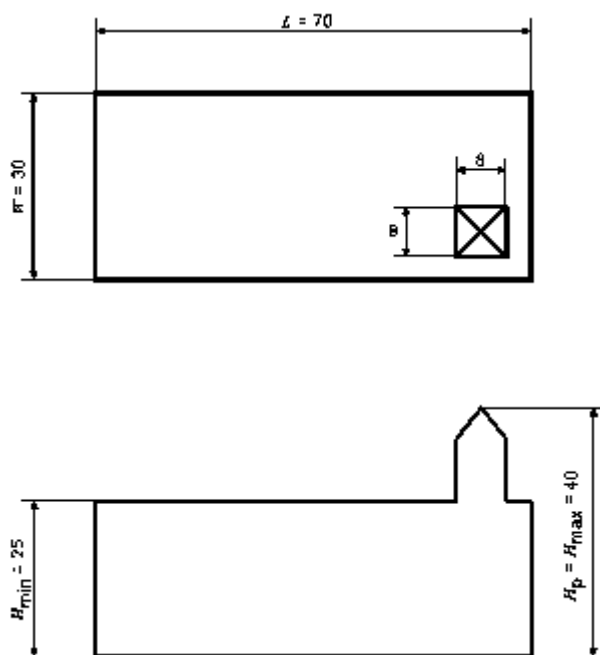


Рисунок А.2 – Здание (сооружение) сложной конфигурации (размеры в метрах)



Рисунок А.3 – Различные методы определения участка сбора данных для здания (сооружения), изображенного на рисунке А.2

А.2.1.3 Конструкция как часть здания (сооружения)

Если рассматриваемая конструкция S является только частью здания (сооружения) B , размеры конструкции S можно использовать в оценке A_d при условии выполнения следующих положений (см. рисунок А.4):

- конструкция S является отдельной вертикальной частью здания (сооружения) B ;
- здание (сооружение) B не подвергается риску взрыва;
- распространение огня между зданием (сооружением) S и другими частями здания (сооружения) B предотвращается благодаря стенам, обладающим пределом огнестойкости 120 мин ($REI \geq 120$) или за счет других равноценных средств молниезащиты;
- распространение перенапряжений вдоль обычных линий электропередачи, если таковые имеются, предотвращается благодаря наличию УЗИП, установленных в точке входа этих линий в здание (сооружение), или других равноценных средств молниезащиты.

Там, где эти условия не выполняются, используют размеры всего здания (сооружения) B .

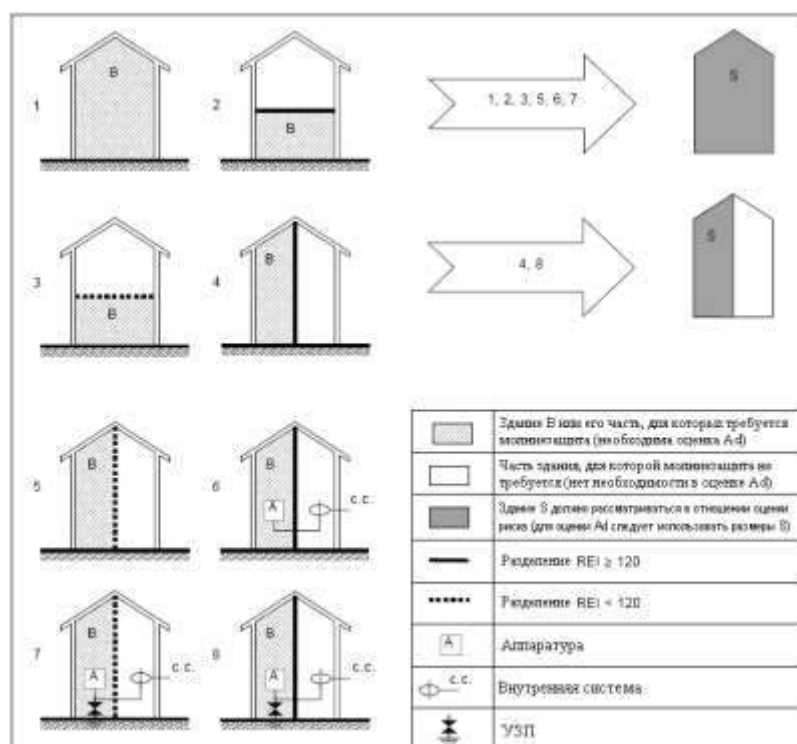


Рисунок А.4 – Здание (сооружение), рассматриваемое для оценки участка сбора данных A_d

А.2.2 Относительное местоположение здания (сооружения)

Следует принимать во внимание относительное местоположение здания (сооружения), скорректированное относительно окружающих объектов или выступающих частей, используя фактор местоположения C_d (см. таблицу А.2).

Таблица А.2 – Фактор влияния местоположения C_d

Относительное местоположение	C_d
Объект, окруженный более высокими объектами или деревьями	0,25
Объект, окруженный объектами или деревьями такой же высоты или более низкими	0,5
Изолированный объект (отсутствуют другие объекты поблизости от него)	1
Изолированный объект, находящийся на вершине холма или на возвышенности	2

А.2.3 Количество опасных случаев N_D для здания или сооружения (конец «b» системы энергоснабжения)

N_D можно определить как произведение:

$$N_D = N_g \cdot A_{d/b} \cdot C_{d/b} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{А.4})$$

где N_g – плотность ударов молнии в землю, $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$;

$A_{d/b}$ – участок сбора данных, касающихся изолированного здания (сооружения), м^2 (см. рисунок А.1);

$C_{d/b}$ – фактор влияния местоположения здания или сооружения (см. таблицу А.2).

А.2.4 Количество опасных случаев N_{Da} для прилегающего здания или сооружения (конец «a» системы энергоснабжения)

Ежегодное среднее количество опасных случаев, происходящих в результате ударов молнии в здание (сооружение) на конце «a» линии электропередачи N_{Da} , определяется как произведение:

$$N_{Da} = N_g \cdot A_{d/a} \cdot C_{d/a} \cdot C_t \cdot 10^{-6}, \quad (\text{А.5})$$

где N_g – плотность ударов молнии в землю, $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$;

$A_{d/a}$ – участок сбора данных, касающихся изолированного прилегающего здания (сооружения), м^2 (см. рисунок А.1);

$C_{d/a}$ – фактор влияния местоположения прилегающего здания или сооружения (см. таблицу А.2);

C_t – поправочный коэффициент, учитывающий влияние высоковольтного/низковольтного трансформатора, применяемого в системе энергоснабжения здания (сооружения) и расположенного между точкой удара молнии и зданием (см. таблицу А.4). Данный коэффициент применяется к участкам линии электропередачи, расположенным от трансформатора до здания (сооружения).

А.3 Оценка среднего годового количества опасных случаев, возникающих в результате ударов молнии вблизи здания (сооружения) N_M

N_M можно определять как произведение:

$$N_M = N_g \cdot (A_m - A_{d/b} \cdot C_{d/b}) \cdot 10^{-6}, \quad (\text{А.6})$$

где N_g – плотность ударов молнии в землю, $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$;

A_m – участок сбора данных о молнии, ударяющей вблизи здания (сооружения), м^2 .

Участок сбора данных A_m пролегает по линии электропередачи, расположенной на расстоянии 250 м от периметра здания или сооружения (см. рисунок А.5).

Если $N_M < 0$, то при оценке используют $N_M = 0$.

А.4 Оценка среднего годового количества опасных случаев, возникающих в результате ударов молнии в систему энергоснабжения N_L

Для системы энергоснабжения, состоящей из одного участка, N_L можно определить по формуле:

$$N_L = N_g \cdot A_l \cdot C_d \cdot C_t \cdot 10^{-6}, \quad (\text{А.7})$$

где N_g – плотность ударов молнии в землю, $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$;

A_l – участок сбора данных, касающихся молнии, ударяющей в систему энергоснабжения, м^2

(см. таблицу А.3 и рисунок А.5);

A_l – участок сбора данных, касающихся молнии, ударяющей в землю вблизи системы энергоснабжения, м^2 (см. таблицу А.3 и рисунок А.5);

Таблица А.3 – Участки сбора данных A_l и A_i в зависимости от характеристик системы энергоснабжения

	Воздушная	Подземная
A_l	$(L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)) \cdot 6 \cdot H_c$	$(L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)) \cdot \sqrt{\rho}$
A_i	$1\,000 \cdot L_c$	$25 \cdot L_c \cdot \sqrt{\rho}$

C_d – фактор влияния местоположения (см. таблицу А.2);

C_t - поправочный коэффициент, учитывающий влияние высоковольтного/низковольтного трансформатора, применяемого в системе энергоснабжения здания (сооружения) и расположенного между точкой удара молнии и зданием или сооружением (см. таблицу А.4). Данный коэффициент применяется к участкам линии электропередачи, расположенным от трансформатора до здания (сооружения).

Таблица А.4 – Фактор влияния трансформатора C_t

Трансформатор	C_t
Высоковольтные линии передачи (с высоковольтными и низковольтными трансформаторами)	0,2
Низковольтные линии электропередачи, телекоммуникационные линии, линии передачи данных	1

H_c – высота проводников системы энергоснабжения над землей, м;

L_c – длина участка системы энергоснабжения от здания (сооружения) до первого соединительного узла, м. Если L_c не известно, то принимается равным 1000 м;

H_a – высота здания (сооружения), подсоединенного на конце «а» системы энергоснабжения, м;

H_b - высота здания (сооружения), подсоединенного на конце «b» системы энергоснабжения, м;

ρ – удельное сопротивление земли, в которой проложена система энергоснабжения, Ом·м.

Если ρ не известно, то принимается равным 500 Ом·м.

Защищаемое здание (сооружение) следует рассматривать как здание (сооружение), подсоединенное на конце «b» системы энергоснабжения (см. рисунок А.5).

А.5 Оценка среднего годового количества опасных случаев, возникающих в результате ударов молнии вблизи системы энергоснабжения N_i

Для системы энергоснабжения (наземной, подземной, экранированной, неэкранированной и т.д.), состоящей из одного участка, значения N_i определяется по формуле:

$$N_i = N_g \cdot A_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot 10^{-6}, \quad (\text{А.8})$$

где N_g - плотность ударов молнии в землю, удар/(км² · год);

A_i – участок сбора данных об ударах молнии в землю вблизи системы энергоснабжения, м² (см. таблицу А.3 и рисунок А.5);

C_e – фактор влияния окружающей среды (см. таблицу А.5);

C_t - поправочный коэффициент, учитывающий влияние высоковольтного/низковольтного трансформатора, применяемого в системе энергоснабжения здания (сооружения) и расположенного между точкой удара молнии и зданием или сооружением (см. таблицу А.4). Данный коэффициент применяется к участкам линии электропередачи, расположенным от трансформатора до здания (сооружения).

Таблица А.5 – Фактор влияния окружающей среды, C_e

Окружающая среда	C_e
Городская местность с высокими зданиями (сооружениями) ¹⁾	0
Городская местность ²⁾	0,1
Местность в пригородных районах ³⁾	0,5
Сельская местность	1
¹⁾ Высота зданий (сооружений) выше 20 м. ²⁾ Высота зданий (сооружений) от 10 до 20 м. ³⁾ Высота зданий (сооружений) ниже 10 м.	
Примечание – Участок сбора данных A_i системы энергоснабжения определяется его длиной L_c и горизонтальной дальностью D_i (см. рисунок А.5), на которой удар молнии вблизи системы энергоснабжения может вызвать индуцированные перенапряжения не ниже 1,5 кВ.	

Приложение Б

(справочное)

Оценка вероятности P_x повреждения здания (сооружения)

Вероятности, о которых говорится в настоящем приложении, являются обоснованными, если меры молниезащиты соответствуют требованиям настоящего стандарта.

Значения вероятностей P_x менее 1 можно выбирать в том случае, если меры молниезащиты или характеристики являются обоснованными для всего защищаемого здания (сооружения) или зоны здания или сооружения (Z_s), для оборудования.

Б.1 Вероятность P_A того, что удар молнии в здание (сооружение) станет причиной поражения людей электрическим током

Значения вероятности P_A удара электрическим током людей из-за контактного и шагового напряжения, связанных с ударом молнии в здание (сооружение), в качестве функции уровня молниезащиты, приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Значения вероятности P_A того, что удар молнии в здание (сооружение) станет причиной поражения людей электрическим током из-за опасного контактного и шагового напряжения

Мера молниезащиты	P_A
Отсутствие мер молниезащиты	1
Электрическая изоляция (например, изоляция из сшитого полиэтилена толщиной не менее 3 мм) выступающих частей (например, токоотвода)	10^{-2}
Эффективное выравнивание потенциалов с землей (заземление)	10^{-2}
Предупредительные надписи	10^{-1}
Примечание – При соблюдении нескольких мер молниезащиты значение P_A является произведением соответствующих значений P_A .	

Б.2 Вероятность P_B того, что удар молнии в здание (сооружение) станет причиной физического повреждения

Значения вероятности P_B физического повреждения в результате удара молнии в здание (сооружение) в зависимости от уровня молниезащиты представлены в таблице Б.2.

Таблица Б.2 – Значения P_B в зависимости от мер молниезащиты, используемых в целях уменьшения повреждения здания (сооружения)

Характеристики здания	Класс системы молниезащиты	P_B
Здание (сооружение), не оснащенное системой молниезащиты	-	1
Здание (сооружение), оснащенное системой молниезащиты	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Здание (сооружение) с системой токоотводов, соответствующей I классу молниезащиты, или со сплошной металлической или железобетонной структурой, действующей как естественная система токоотвода		0,01
Здание (сооружение) с металлической крышей или системой токоотводов, возможно включающей некоторые естественные компоненты, с полной защитой всех частей крыши от прямых ударов молнии и сплошной металлической или железобетонной структурой, действующей как система естественных токоотводов		0,001
Примечание –применяются значения P_B , отличные от тех, которые указаны в таблице Б.2, если они основаны на результатах исследований, не противоречащих требованиям настоящего стандарта и требований IEC 62305.		

Б.3 Вероятность P_C того, что удар молнии в здание (сооружение) станет причиной физического повреждения внутренних систем

Значение вероятности P_C физического повреждения внутренних систем в результате удара молнии в здание (сооружение) зависит от применения для молниезащиты соответствующих устройств от перенапряжений:

$$P_C = P_{SPD} . \quad (Б.1)$$

Значения P_{SPD} зависят от уровня молниезащиты, для обеспечения которого устанавливают устройства для молниезащиты от перенапряжений, как показано в таблице Б.3.

Таблица Б.3 – Значение вероятности P_{SPD} в зависимости от уровня молниезащиты, в соответствии с которой используются устройства защиты от импульсных перенапряжений

Уровень молниезащиты	P_{SPD}
Скоординированная защита с применением устройств для молниезащиты от перенапряжений отсутствует	1
III-IV	0,03
II	0,02
I	0,01
См. примечание 3	0,005 – 0,001
Примечания: 1) Система устройств защиты от импульсных перенапряжений эффективна для снижения P_c только в зданиях (сооружениях), защищенных внешней системой молниезащиты, или зданиях (сооружениях), имеющих сплошные металлические или железобетонные структуры, которые действуют как естественные элементы молниезащиты при этом должны быть учтены требования настоящего стандарта и IEC 62305-3 к соединениям и заземлению. 2) Для экранирующих внутренних систем, соединенных с внешними линиями коммуникаций, состоящими из кабелей, специально защищенных от молний, или системы проводов, заложенных в кабельный канал, металлических проводников или труб, специально защищенных от молнии, подсоединенных к общей заземляющей шине, в соответствии с требованиями IEC МЭК 62305-4, отсутствует необходимость в системе устройств защиты от импульсных перенапряжений для снижения P_c при условии, что индуцируемое напряжение U_i выше, чем выдерживаемое импульсное напряжение U_w внутренних систем ($U_i \leq U_w$). Дополнительная информация об оценке индуцируемого напряжения U_i приведена в IEC МЭК 62305-4 (приложение А). 3) Меньшие значения P_{SPD} можно применять в случае применения устройств для молниезащиты от перенапряжений с лучшими характеристиками молниезащиты (большей способности выдерживания тока, более низким уровнем молниезащиты и т.д.) по сравнению с требованиями, установленными для I уровня молниезащиты (см. таблицу А.3 МЭК 62305-1, приложение Е МЭК 62305-1 и приложение D МЭК 62305-4).	

Б.4 Вероятность P_M того, что удар молнии вблизи здания (сооружения) станет причиной повреждения внутренних систем

Значение вероятности P_M повреждения внутренних систем в результате удара молнии вблизи здания (сооружения) зависит от принятых мер молниезащиты с учетом фактора K_{MS} .

Если система устройств защиты от импульсных перенапряжений не обеспечивается и не отвечает требованиям IEC 62305-4, тогда значение P_M должно быть равным значению P_{MS} .

При обеспечении системы устройств защиты от импульсных перенапряжений значение P_M должно быть ниже значения между P_{SPD} и P_{MS} :

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS}. \quad (Б.2)$$

Значения P_{MS} в зависимости от фактора K_{MS} представлены в таблице Б.4, где K_{MS} – это фактор, определяющий технические характеристики принятых мер молниезащиты.

Таблица Б.4 – Значение вероятности P_{MS} в зависимости от фактора K_{MS}

K_{MS}	P_{MS}
$\geq 0,4$	1
0,15	0,9
0,07	0,5
0,035	0,1
0,021	0,01
0,016	0,005
0,015	0,003
0,014	0,001
$\leq 0,013$	0,0001
Примечание – Максимальное значение K_{S1} ограничивается 1	

Для внутренних систем с оборудованием, не обладающим уровнем сопротивления и устойчивости к напряжениям, установленным в соответствующими стандартами, P_{MS1} следует принимать равным 1.

Значения фактора K_{MS} определяется как:

$$K_{MS} = K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4}, \quad (\text{Б.3})$$

где K_{S1} – учитывает эффективность экранирования здания (сооружения), систему молниезащиты или другие экраны на границе зоны молниезащиты 0/1;

K_{S2} - учитывает эффективность экранов внутри здания (сооружения) на границе зоны молниезащиты ЗМЗ X/Y ($X > 0, Y > 1$);

K_{S3} – учитывает характеристики внутренней проводки (см. таблицу Б.5);

K_{S4} – учитывает импульсное выдерживаемое напряжение защищаемой системы.

Таблица Б.5 – Значение фактора K_{S3} в зависимости от типа внутренней электропроводки

Тип внутренней проводки	K_{S3}
Неэкранированный кабель – без мер предосторожности в отношении разводки, чтобы избежать петель ¹⁾	1
Неэкранированный кабель – с мерами предосторожности в отношении разводки, чтобы избежать больших петель ²⁾	0,2
Неэкранированный кабель – с мерами предосторожности в отношении разводки, чтобы избежать петель ³⁾	0,02

Экранированные кабели и кабели в металлическом кабельном канале	0,001
¹⁾ Петли проводников в больших зданиях (участок петли в пределах 50 м ²). ²⁾ Петли проводников, проложенных в общем кабельном канале, или петле проводников в небольших зданиях (участок петли в пределах 10 м ²). ³⁾ Петли проводников, проложенных в общем кабельном канале (участок петли в пределах 0,5 м ²). ⁴⁾ Экраны и металлические кабельные каналы и проводники имеют соединение для уравнивания потенциалов с заземляющей шиной на обоих концах, а оборудование соединено с той же заземляющей шиной.	

Внутри зоны молниезащиты на безопасном расстоянии от граничного экрана по крайней мере равном ширине ячейки w , факторы K_{S1} и K_{S2} для системы молниезащиты или защитных экранов сетчатого типа определяются как:

$$K_{S1} + K_{S2} = 0,12 w, \quad (\text{Б.4})$$

где w – это ширина ячейки защитного экрана или токоотводов сетчатого типа, или пространство между металлическими колоннами здания (сооружения) или между железобетонной конструкцией, выступающей в качестве обычной системы молниезащиты, м.

Для металлических экранов толщиной от 0,1 до 0,5 мм $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4} - 10^{-5}$ для кирпичных или бетонных конструкций $K_{S1} = 1$.

Максимальное значение $K_{MS} = 1$.

Если индукционная петля пролегает близко к проводникам граничного экранирования зоны молниезащиты на расстоянии от экрана меньшем, чем безопасное расстояние, значения K_{S1} и K_{S2} будут выше. Например, если расстояние до экрана составляет $0,1w - 0,2w$, то значения K_{S1} и K_{S2} должны быть удвоены.

Для каскадного эффекта зоны молниезащиты K_{S2} получают произведением соответствующего K_{S2} каждой зоны.

При прокладке электрических проводов в сплошном металлическом трубопроводе, соединенном с шинами для выравнивания потенциалов на обоих концах, значения K_{S3} умножают на 0,1.

Фактор K_{S4} определяется как:

$$K_{S4} = 1,5/U_w, \quad (\text{Б.5})$$

где U_w – номинальное импульсное выдерживаемое напряжение защищаемой системы энергоснабжения, кВ.

При наличии оборудования с различными уровнями импульсного выдерживаемого напряжения во внутренней системе выбирают фактор K_{S4} , относящийся к самому низкому уровню импульсного напряжения.

Б.5 Вероятность P_U того, что удар молнии в систему энергоснабжения вызовет угрозу жизни людей

Значения вероятности P_U угрозы для жизни людей вследствие удара молнии в систему энергоснабжения, входящую в здание (сооружение), зависят от характеристик экранирования коммуникаций, выдерживаемого напряжения внутренних систем, связанных с коммуникациями, мер молниезащиты (физических ограничений, предупредительных надписей и т.д.) (см. таблицу Б.1), устройств защиты от импульсных перенапряжений, установленных на входе системы энергоснабжения) в соответствии с IEC 62305-3.

Примечание – В данном случае отсутствует необходимость применения системы устройств защиты от импульсных перенапряжений по IEC 62305-4 для снижения P_U . Достаточно применения устройств защиты от импульсных перенапряжений по IEC 62305-3.

Если перечисленные меры молниезащиты отсутствуют, то значение P_U соответствует значению P_{LD} , где P_{LD} – вероятность повреждения внутренних систем в результате удара молнии в подсоединенную систему энергоснабжения. Значения P_{LD} указаны в таблице Б.6.

Если устройства защиты от импульсных перенапряжений имеются, то значением P_U является меньшее значение из значений P_{SPD} (см. таблицу Б.3) и P_{LD} .

Таблица Б.6 – Значение вероятности P_{LD} в зависимости от сопротивления R_s экранирующего кабеля и выдерживаемого импульсного напряжения U_w оборудованием

U_w , кВ	$5 < R_s \leq 20$ Ом/км	$1 < R_s \leq 5$ Ом/км	$R_s \leq 1$ Ом/км
1,5	1	0,8	0,4
2,5	0,95	0,6	0,2
4	0,9	0,3	0,04
6	0,8	0,1	0,02

R_s – это сопротивление экрана кабеля, Ом/км.

Для неэкранированной системы энергоснабжения принимают $P_{LD} = 1$.

Если обеспечены меры молниезащиты, например физические ограничения, предупредительные надписи и т.д., то вероятность P_U должна снижаться посредством умножения на значения вероятности P_A , приведенные в таблице Б.1.

Б.6 Вероятность P_V того, что удар молнии в систему энергоснабжения станет причиной физического повреждения

Значения вероятности P_V физического повреждения, возникающего в результате удара молнии в систему энергоснабжения, входящей в здание (сооружение), зависят от характеристик экранирования коммуникаций, выдерживаемого напряжения внутренних систем, связанных с коммуникациями и наличия устройств защиты от импульсных перенапряжений, установленных на входе системы энергоснабжения в соответствии с IEC 62305-3.

Примечание – В данном случае отсутствует необходимость применения системы устройств защиты от импульсных перенапряжений по IEC 62305-4 для снижения PU. Достаточно применения устройств защиты от импульсных перенапряжений по IEC 62305-3.

Если устройств защиты от импульсных перенапряжений отсутствуют, то значение P_V соответствует значению P_{LD} , где P_{LD} – вероятность повреждения внутренних систем в результате удара молнии в подсоединенную систему энергоснабжения. Значения P_{LD} указаны в таблице Б.6.

Если устройства защиты от импульсных перенапряжений имеются, то значением P_V является меньшее значение из значений P_{SPD} (см. таблицу Б.3) и P_{LD} .

Б.7 Вероятность P_W того, что удар молнии в систему энергоснабжения вызовет повреждение внутренних систем

Значения вероятности P_W повреждения внутренних систем в результате удара молнии в систему энергоснабжения, входящую в здание (сооружение), зависят от характеристик экранирования коммуникаций, выдерживаемого напряжения внутренних систем, связанных с коммуникациями и наличия устройств защиты от импульсных перенапряжений, установленных на входе системы энергоснабжения в соответствии с IEC 62305-3.

Значения P_{LD} указаны в таблице Б.6.

Если устройства защиты от импульсных перенапряжений имеются, то значением P_W является меньшее значение из значений P_{SPD} (см. таблицу Б.3) и P_{LD} .

Б.8 Вероятность P_Z того, что удар молнии вблизи входящей системы энергоснабжения вызовет повреждение внутренних систем

Значения вероятности P_Z повреждения внутренних систем в результате удара молнии вблизи системы энергоснабжения, входящей в здание (сооружение), зависят от характеристик экранирования коммуникаций, выдерживаемого напряжения внутренних систем, связанных с коммуникациями и наличия устройств защиты от импульсных перенапряжений, установленных на входе системы энергоснабжения в соответствии с IEC 62305-3.

Если устройств защиты от импульсных перенапряжений отсутствуют, то значение P_Z соответствует значению P_{LI} , где P_{LI} – вероятность повреждения внутренних систем в результате удара молнии в подсоединенную систему энергоснабжения. Значения P_{LI} указаны в таблице Б.7.

Если устройства защиты от импульсных перенапряжений имеются, то значением P_Z является меньшее из значений P_{SPD} (см. таблицу Б.3) и P_{LI} .

Таблица Б.7 – Значения вероятности P_{LI} в зависимости от сопротивления R_s экранирующего кабеля и выдерживаемого импульсного напряжения U_w оборудованием

R_s , кВ	Экран отсутствует	Экран не соединен с шиной для выравни- вания потенциалов, к которой подключено оборудование	Экран соединен с шиной для выравнивания по- тенциалов и оборудование подключено к этой же самой шине		
			$5 < R_s \leq 20$ Ом/км	$1 < R_s \leq 5$ Ом/км	$R_s \leq 1$ Ом/км
1,5	1	0,5	0,15	0,04	0,02
2,5	0,4	0,2	0,06	0,02	0,008
4	0,2	0,1	0,03	0,008	0,004
6	0,1	0,05	0,02	0,004	0,002

R_s – это сопротивление экрана кабеля, Ом/км.

Приложение В

(справочное)

Оценка размера ущерба L_x

Проектировщик (владелец здания или сооружения) должен рассчитать сумму потерь L_x .

Метод расчета потерь, приведенный в настоящем приложении, предложен Международной электротехнической комиссией (МЭК).

В.1 Средний относительный годовой объем ущерба

Ущерб L_x относится к среднему относительному объему конкретного типа повреждения, которое может быть вызвано ударом молнии, и ее вторичных воздействий.

Его значение зависит от следующих аспектов:

- количества людей и времени, в течение которого они остаются в опасном месте;
- типа и значения услуг, предлагаемых населению;
- стоимости поврежденного имущества.

Значение ущерба L_x зависит от типа рассматриваемого ущерба L_1 , L_2 , L_3 и L_4 , который в свою очередь зависит от типа повреждения D_1 , D_2 и D_3 по IEC 62305-2.

Используют следующие обозначения:

- L_t – поражение людей из-за контактного и шагового напряжения;
- L_f – ущерб, относящийся к физическому повреждению;
- L_o – ущерб, относящийся к повреждению внутренних систем.

В.2 Гибель людей

Значения L_t , L_f и L_o можно определить, вычисляя относительное количество жертв, по следующей формуле:

$$L_x = (n_p / n_t) \cdot (t_p / 8760), \quad (\text{В.1})$$

где n_p – количество людей (жертв), подвергающихся вероятной опасности;

n_t – возможное общее количество людей (в здании или сооружении);

t_p – промежуток времени, выраженный количеством часов в год, в течение которого люди находятся в опасном месте, за пределами здания либо сооружения (только L_t) или внутри здания либо сооружения (L_t , L_f и L_o).

Если значения n_p , n_t и t_p точно не определены или их трудно определить, то применяют типичные средние значения L_t , L_f и L_o , которые приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Типичные средние значения L_t , L_f и L_o

Тип здания (сооружения)	L_t
Все типы (люди внутри здания или сооружения)	10^{-4}
Все типы (люди за пределами здания или сооружения)	10^{-2}
Тип здания (сооружения)	L_f
Больницы, гостиницы, жилые здания	10^{-1}
Промышленные, коммерческие здания, школы	5×10^{-2}
Здания (сооружения) для массового отдыха, церкви, музеи	2×10^{-2}
Другие	10^{-2}
Тип здания (сооружения)	L_o
Здание (сооружение) с риском взрыва	10^{-1}
Больницы	10^{-3}
Прочие типы зданий (сооружений)	0
Примечание – для зданий (сооружений) с опасностью возникновения взрыва требуется более детальная оценка значений L_f , L_o , учитывающая технологические особенности здания (сооружения), опасность возникновения взрыва, опасные зоны и меры по снижению риска	

На ущерб, связанный с гибелью людей, влияют характеристики здания (сооружения). Их следует учитывать, используя увеличивающий фактор h_z и уменьшающие факторы r_f , r_p , r_a , r_u , следующим образом:

$$L_A = r_a \cdot L_t, \quad (B.2)$$

$$L_U = r_u \cdot L_t, \quad (B.3)$$

$$L_B = L_V = r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_t, \quad (B.4)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o, \quad (B.5)$$

где r_a – фактор уменьшения гибели людей, зависящий от типа почвы (см. таблицу В.2);

r_u – фактор уменьшения гибели людей, зависящий от типа пола (см. таблицу В.2);

r_p – фактор уменьшения ущерба в результате физического повреждения, зависящий от мер, предпринимаемых для уменьшения последствий возгорания (см. таблицу В.3);

СН 3.02. -2020

r_f - фактор уменьшения ущерба в результате физического повреждения, зависящий от опасности возгорания здания или сооружения (см. таблицу В.4);

h_z – фактор увеличения ущерба в результате физического повреждения, учитывают при наличии особой опасности (см. таблицу В.5).

Таблица В.2 – Значения факторов уменьшения r_a и r_u в зависимости от типа поверхности земли или пола

Тип поверхности	Сопротивление контактов, кОм ¹⁾	r_a и r_u
Земля, бетон	≤ 1	10^{-2}
Мрамор, керамика	1 – 10	10^{-3}
Гравий, гумус, ковровое покрытие	10 – 100	10^{-4}
Асфальт, линолеум, дерево	≥ 100	10^{-5}
¹⁾ Значения, измеренные на электроде площадью 400 см ² , сжатом с силой 500 Н, в бесконечно удаленной точке.		

Таблица В.3 – Значения фактора уменьшения r_p в зависимости от оснащения, применяемого для уменьшения последствий возгорания

Оснащение	r_p
Средства противопожарной защиты отсутствуют	1
Одно из следующих средств применено: огнетушители, стационарные установки пожаротушения с ручным управлением; закрепленные управляемые вручную устройства для тушения огня; ручные пожарные извещатели, гидранты; противопожарные преграды; защищенные пути эвакуации	0,5
Одно из следующих средств применено: стационарные автоматические установки пожаротушения, автоматические пожарные извещатели ¹⁾	0,2
¹⁾ Применяют только, если имеется защита от перенапряжений и других повреждений, и если время прибытия пожарных подразделений до 10 минут. Если применено несколько средств противопожарной защиты, должно быть принято самое низкое значение r_p из таблицы. В зданиях (сооружениях) с наличием риска взрыва $r_p = 1$ для всех случаев.	

Таблица В.4 – Значения фактора уменьшения r_f в зависимости от риска возгорания здания (сооружения)

Риск	Причина риска	r_f
Взрыв	Зоны 0, 20 и твердые взрывчатые вещества	1
	Зоны 1, 21 по IEC 60079-10-1	10^{-1}

	Зоны 2, 22 по IEC 60079-10-1	10^{-3}
Пожар	Высокий	10^{-1}
	Обычный	10^{-2}
	Низкий	10^{-3}
Взрыв или пожар	Отсутствует	0
Примечания: 1) Фактор $r_f = 1$ принимается для всего здания (сооружения), либо только для части здания (сооружения), в которых обращаются взрывоопасные смеси и взрывчатые вещества. 2) Те здания (сооружения), которые построены из горючих материалов, здания (сооружения), крыши которых выполнены из горючих материалов, или здания с пожарной нагрузкой, превышающей 800 МДж/м^2, рассматривают как объекты с высоким уровнем пожарной опасности. 3) Здания с пожарной нагрузкой в пределах $400 - 800 \text{ МДж/м}^2$ рассматривают как здания с обычным уровнем пожарной опасности. 4) Здания с пожарной нагрузкой менее 400 МДж/м^2 или здания, в которых горючие материалы содержатся непостоянно, рассматривают как здания с низким уровнем пожарной опасности. 5) Для жилых зданий (от 4-х этажей и выше) в городской местности и пригородах $r_f = 0,01$. 6) Пожарную нагрузку для зданий следует определять по ТКП 474-2013, СТБ 2129-2010. 7) Взрывоопасные зоны следует определять по IEC 60079-10-1 и IEC 60079-10-2.		

Таблица В.5 – Значения фактора увеличения h_z относительного объема ущерба при наличии особой опасности

Тип конкретной опасности	h_z
Какая-либо опасность отсутствует	1
Низкий уровень паники (например, здание (сооружение) с этажностью не более двух и количеством людей не более 100)	2
Средний уровень паники (например, здания (сооружения), предназначенные для проведения культурных или спортивных мероприятий с количеством участников от 100 до 1000 чел.) Затрудненная эвакуация (например, здания, в которых находятся люди с ограниченными физическими возможностями, больницы)	5
Высокий уровень паники (например, здания, предназначенные для проведения культурных или спортивных мероприятий с количеством участников свыше 1000 чел.)	10
Опасность для близлежащей местности и окружающей среды	20
Загрязнение близлежащей местности и окружающей среды	50

В.3 Недопустимое нарушение коммунального обслуживания

Значения L_f и L_o можно определить, в зависимости от степени возможного риска по следующей приближённой формуле:

$$L_x = (n_p / n_t) \cdot (t / 8760), \quad (\text{В.6})$$

где n_p – количество людей (жертв), подвергающихся вероятной опасности;

n_t – предполагаемое общее количество людей (обслуживаемых потребителей электроэнергии);

t – ежегодная продолжительность нарушения коммунального обслуживания, ч.

Если значения n_p , n_t и t точно не определены или их трудно определить, то применяют типичные средние значения L_f и L_o , которые приведены в таблице В.6.

Таблица В.6 – Типичные средние значения L_f и L_o

Тип обслуживания	L_f	L_o
Газоснабжение, водоснабжение	10^{-1}	10^{-2}
Телевидение, связь, энергоснабжение	10^{-2}	10^{-3}

На нарушение коммунального обслуживания влияют характеристики системы и фактор уменьшения r_p :

$$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_f, \quad (B.7)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o. \quad (B.8)$$

Значения факторов r_p и r_f приведены в таблицах В.3 и В.4 соответственно.

В.4 Ущерб, наносимый культурным ценностям

Значение L_f можно определить в зависимости от степени возможного ущерба по следующей приближённой формуле:

$$L_X = c / c_t, \quad (B.9)$$

где c – среднее значение возможного ущерба зданию либо сооружению (например, страховая стоимость вероятного ущерба имуществу) в денежном выражении;

c_t – общая стоимость здания или сооружения (например, общая страховая стоимость всего имущества, находящегося в здании) в денежном выражении.

Если значения c и c_t не установлены или их сложно установить, за типичное среднее значение L_f принимают следующее значение:

$$L_f = 10^{-1}.$$

На ущерб, наносимый культурным ценностям, влияют характеристики здания (сооружения) и фактор уменьшения r_p :

$$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_f. \quad (B.10)$$

Значения факторов r_p и r_f приведены в таблицах В.3 и В.4 соответственно.

В.5 Экономический ущерб

Значения L_t , L_f и L_o можно определить с учетом относительного объема вероятного ущерба из следующего приближенного соотношения:

$$L_x = c / c_t, \quad (B.11)$$

где c – среднее значение вероятного ущерба зданию или сооружению (включая находящееся в нем оборудование и соответствующую деятельность и последствия ущерба) в денежном выражении;

c_t – общая стоимость здания или сооружения (включая находящееся в нем оборудование и соответствующую деятельность) в денежном выражении.

Если значения c и c_t не установлены или их трудно установить, то применяют типичные средние значения L_t , L_f и L_o , которые можно использовать для всех типов зданий (сооружений) и которые приведены в таблице В.7.

Таблица В.7 – Типичные средние значения L_t , L_f и L_o

Тип здания (сооружения)	L_t
Все типы (внутри зданий, сооружений)	10^{-4}
Все типы (за пределами зданий, сооружений)	10^{-2}
Тип здания (сооружения)	L_f
Больница, промышленное предприятие, музей, здание (сооружение) сельскохозяйственного назначения	0,5
Гостиница, школа, офис, церковь, здание (сооружение) для массового отдыха, торговое здание	0,2
Прочие типы зданий (сооружений)	0,1
Тип здания (сооружения)	L_o
Имеется опасность взрыва	10^{-1}
Больница, промышленное предприятие, офис, гостиница, торговое здание	10^{-2}
Музей, ферма, школа, церковь, здание (сооружение) для массового отдыха	10^{-3}
Прочие типы зданий (сооружений)	10^{-4}

На экономический ущерб влияют характеристики здания (сооружения). Их следует принимать во внимание, увеличивая коэффициенты h_z и уменьшая коэффициенты r_p , r_a , r_f , r_u следующим образом:

$$L_A = r_a \cdot L_t, \quad (B.12)$$

$$L_U = r_u \cdot L_t, \quad (B.13)$$

$$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_f, \quad (B.14)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O. \quad (B.15)$$

Значения факторов r_a и r_u указаны в таблице В.2; r_p – в таблице В.3; r_f – в таблице В.4; и h_z – в таблице В.5.

Приложение Г

(справочное)

Примеры расчета заземляющего устройства при применении смеси для нормализации заземления (далее смесь).

При применении смеси происходит частичная замена ее объемом объема исходного грунта в около электродном пространстве ЗУ. Смесь имеет значительно меньшее удельное сопротивление, чем грунт. Параметром, влияющим на изменение удельного сопротивления, будет площадь соприкосновения смеси и исходного грунта, а в случае применения смеси по всей длине электрода – периметр контакта. Эффективность замены грунта смесью тем выше, чем больше разница удельного сопротивления грунта и смеси, а так же, чем большее количество грунта в около электродном пространстве заменено. При расчете ЗУ необходимо использовать эквивалентное удельное сопротивление грунта, вместо измеренного сопротивления исходного грунта.

Перед началом проектных работ необходимо учесть ряд важных требований и обстоятельств:

1) Минимальное количество готовой смеси для нормализации заземления «Поспех» (далее смесь), применяемое при строительстве либо ремонте заземляющего устройства (далее ЗУ) представляет собой 20 литров вязкой киселеобразной массы бурого цвета, получаемой после смешивания 10 кг сухой смеси с 10 литрами воды, которую необходимо поместить в траншею, в место, где вертикальный заземлитель соединяется с горизонтальным заземлителем.

2) Для закладки смеси в данном месте необходимо выделить 1,3 погонных метров длины траншеи размером Т-1 либо Т-2 глубиной не менее 0,7 метра (см. таблицы Г.1-Г.2). В случае строительства заземляющего устройства состоящего из 2-х и более вертикальных заземлителей, соединяемых в единое целое горизонтальными заземлителями подготовка и закладка смеси в местах данных соединений проводится аналогичным образом.

Для определения Эквивалентного удельного сопротивления грунта с учетом замещения части грунта смесью можно использовать формулу, полученную на основе экспериментальных данных:

для однослойного грунта:

$$\rho_{\text{экв}} = \Psi \cdot (\rho_{\text{грунт}} e^{-1,3/P} + 20 / e^{4/P}), \text{ Ом}\cdot\text{м}, \quad (\text{Г.1})$$

для двухслойного грунта:

$$\rho_{\text{экв}} = \Psi \left(\frac{\rho_{1\text{грунта}} \cdot \rho_{2\text{грунта}} \cdot l}{\left(\rho_{1\text{грунта}} (l - H + t) + \rho_{2\text{грунта}} (H - t) \right)} e^{-1,3/P} + 20 / e^{4/P} \right) \quad (\text{Г.2})$$

где,

$\rho_{\text{экв}}$ – искомое расчетное удельное сопротивление земли, Ом·м;

$\rho_{\text{грунта}}$ – удельное сопротивление земли, полученное в результате измерений, Ом·м;

Ψ – коэффициент сезонности, при выборе которого учитываются сезонные колебания температуры, а так же то, что применение смеси снижает температуру замерзания грунта на 4⁰С (выбирается по таблицам 1, 2 или их актуальным аналогам для конкретной местности),

H – толщина верхнего слоя грунта, м;

t - заглубление вертикального заземлителя (глубина траншеи) $t = 0.7$ м;

l – длина вертикального заземлителя;

P –Периметр сечения замещающей грунт смеси.

Расчет сопротивления растеканию тока одиночного вертикального заземлителя.

В случае использования стержневого круглого сечения заземлителя, заглубленного в землю (см. рисунок Г.1) с использованием смеси, расчетная формула имеет вид:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d_{\text{экв}}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right); \quad (\text{Г.3})$$

l - длина вертикального стержня, м;

$d_{\text{экв}}$ - эквивалентный диаметр заземлителя, м;

t - расстояние от поверхности грунта до середины длины вертикального стержня.

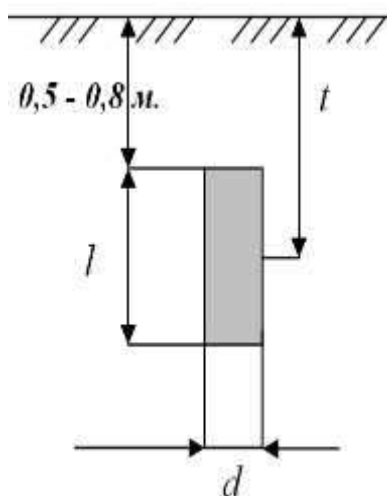


Рисунок Г.1

$$d_{\text{экв}} = 1 + \frac{(d_{\text{муфты}} - d_{\text{зазем}})}{d_{\text{зазем}}} \cdot \frac{\rho_{\text{экв}}}{\rho_{\text{грунта_изм}}}, \quad (\text{Г.4})$$

Данная поправка корректирует вклад стабилизации влажности в околоэлектродном слое грунта после его замещения смесью.

Расчет сопротивления растекания тока горизонтальных заземлителей.

В данном случае проводится расчет сопротивления растекания тока горизонтального заземлителя в виде стержня либо горизонтальной соединительной полосы R_z , Ом (см. рисунок Г.2). В случае использования при строительстве заземления горизонтального полосового заземлителя расчет выполняется по формуле:

$$R_z = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi l_z} \ln \frac{2l_z^2}{bt}; \quad (\text{Г.5})$$

где: $\rho_{\text{экв}}$ – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

l_z – длина горизонтальной полосы, м;

b – ширина полосы, м;

t – расстояние от поверхности грунта до середины ширины горизонтальной полосы.

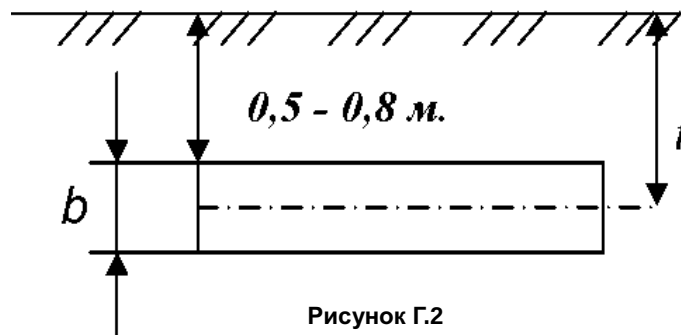


Таблица Г.1 – Расход смеси при строительстве нового ЗУ

Расход смеси при ширине траншеи	0,2 метра/траншея Т-1/		0,3 метра/траншея Т-2/	
Глубина погружения вертикального заземлителя, метров	Объем готовой смеси, литров	Количество ведер	Объем готовой смеси, литров	Количество ведер
3	40	2	60	3
4,5	40	2	60	3
6	40	2	60	3
7,5	40	2	60	3
9	60	3	60	3
10,5	60	3	60	3
12	60	3	60	3
13,5	60	3	80	4
15	60	3	80	4
16,5	60	3	80	4
18	60	3	80	4
19,5	60	3	80	4
21	80	4	80	4
22,5	80	4	80	4
24	80	4	100	5
25,5	80	4	100	5
27	80	4	100	5
28,5	80	4	100	5
30	80	4	100	5

Таблица Г.2 – Расход смеси при ремонте ЗУ с вышедшим из нормы сопротивлением

Расход смеси	при ширине траншеи 0,2 метра/траншея Т-1/
на 1 погонный метр ЗУ	1 ведро, 20 литров

Расчет ЗУ из пластин заземляющих.

Для определения эквивалентного удельного сопротивления грунта с учетом замещения части грунта смесью можно использовать формулу полученную на основе экспериментальных данных:

$$R = \frac{\rho_{\text{экв}}}{4} \sqrt{\frac{\pi}{2A}} \quad (\text{Г.6})$$

$\rho_{\text{экв}}$ - эквивалентное удельное сопротивление грунта (Ом м);

A - площадь одной грани пластины в квадратных метрах (м^2).

Значение $\rho_{\text{экв}}$ изменяется в зависимости от типа грунта, климатических условий, применения смесей.

Если расчеты основаны на табличных значениях удельного сопротивления грунта, следует использовать наибольшее значение ρ для данного типа почвы и региона. В случае натурных измерений следует увеличивать значения на коэффициент сезонности $\rho_{\text{экв}} = \Psi \cdot \rho_{\text{грунт}}$. Расчеты с использованием измеренных значений при использовании смеси следует проводить следующим образом.

для однослойного грунта:

$$\rho_{\text{экв}} = \Psi \cdot (\rho_{\text{грунт}} e^{-0,13/S} + 20 / e^{0,4/S}), \text{ Ом м, } \quad (\text{Г.7})$$

для двухслойного грунта:

$$\rho_{\text{экв}} = \Psi \left(\frac{\rho_{1\text{грунта}} \cdot \rho_{2\text{грунта}} \cdot l}{\left(\rho_{1\text{грунта}} (l - H + t) + \rho_{2\text{грунта}} (H - t) \right)} e^{-0,13/S} + 20 / e^{0,4/S} \right) \text{ Ом м, } \quad (\text{Г.8})$$

где,

$\rho_{\text{экв}}$ – искомое расчетное удельное сопротивление земли, Ом·м;

$\rho_{\text{грунта}}$ – удельное сопротивление земли, полученное в результате измерений, Ом·м;

Ψ – коэффициент сезонности, при выборе которого учитывается сезонные колебания температуры, а так же то, что применение смеси снижает температуру

замерзания грунта на 4°C (выбирается по таблицам 2 и 3 или по их актуальным аналогам для конкретной местности),

H – толщина верхнего слоя грунта, м;

t - заглубление заземлителя (глубина траншеи) $t = 0,7$ м,

l – ширина пластины, м,

S – толщина слоя обсыпки пластины замещающей смесью.

Если при расчетах либо измерениях сопротивление одной пластины превышает требуемое значение, то две или более пластин могут использоваться параллельно, и тогда общее сопротивление с учетом коэффициента использования проводимости пластин обратно пропорционально количеству используемых пластин заземления, при условии, что каждая пластина установлена вне зоны сопротивления любой другой (рисунок Г.3).

Следует учитывать, что при количестве пластин заземляющих до 10 штук, коэффициент использования проводимости равен 0,8, при количестве от 10 до 15 штук - 0,75, от 15 до 20 штук - 0,7, при применении количества пластин свыше 20 штук коэффициент использования проводимости равен 0,6. Для пластин сопротивление растеканию тока обратно пропорционально линейному размеру, а не площади поверхности, то есть пластина с размером сторон 500*500 мм будет иметь сопротивление примерно на 20% выше, чем пластина с размером сторон 500*750 мм.

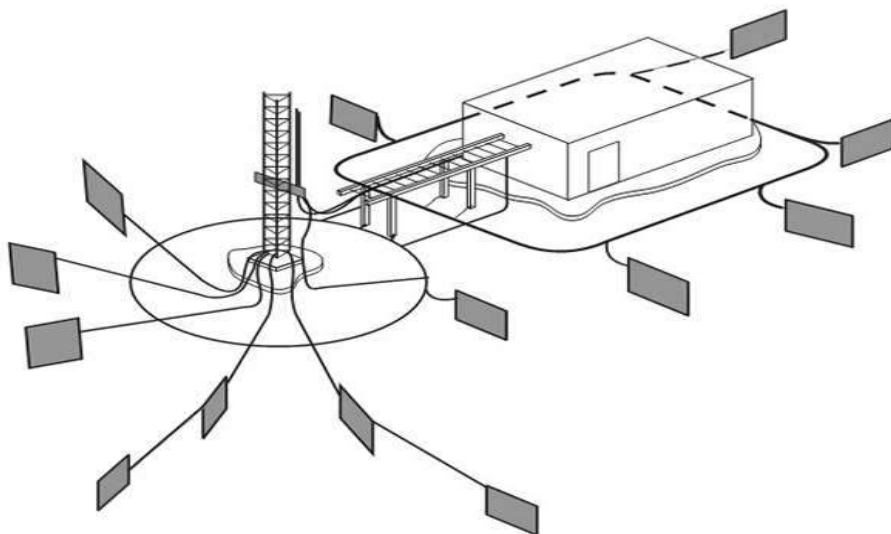


Рисунок Г.3 – ЗУ при помощи пластин заземления

Если ЗУ выполняется путем соединения пластин с вертикальным заземлителем, где пластина используется вместо зажима для горизонтального заземлителя, коэффициент использования проводимости пластин заземляющих увеличивается до 0,95. Однако при комбинировании пластин заземляющих с вертикальным заземлителем в ЗУ, состоящем из группового заземлителя, находящаяся рядом по соседству пластина заземляющая будет располагаться аналогично на последующем вертикальном заземлителе, разнесенном с первым вертикальным заземлителем на расстояние равное глубине их погружения.

Для уменьшения удельного сопротивления грунта на каждую из пластин заземляющих необходимо вылить не менее 2-х ведер-40 литров смеси для нормализации заземления. В этих целях, смонтированная в траншее пластина вначале присыпается грунтом, а затем насыпанный на нее грунт отодвигается от ее плоскостей и ребер лопатой на расстояние 0,1 метра. После поливки пластины смесью она полностью засыпается грунтом.

Библиография

- [1] IEC 62305–1:2006 Protection against lightning Part 1: General principles.
(Защита от атмосферного электричества. Часть 1. Общие принципы).
- [2] IEC 62305–2:2006 Protection against lightning – Part 2: Risk management.
(Защита от атмосферного электричества. Часть 2. Управление риском).
- [3] IEC 62305–3:2006 Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
(Защита от атмосферного электричества. Часть 3. Физические повреждения конструкций и опасность).
- [4] IEC 62305–4:2006 Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures.
(Защита от атмосферного электричества. Часть 4. Электрические и электронные системы внутри конструкций).
- [5] IEC 62305–5:2006 Protection against lightning – Part 5: Services.
(Защита от атмосферного электричества. Часть 5. Системы энергоснабжения).
- [6] IEC 60079–10–1:2008 Среды взрывоопасные. Часть 10–1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды.
- [7] IEC 60079–10–2:2009 Среды взрывоопасные. Часть 10–2. Классификация зон. Взрывоопасные пыльные среды.
- [8] Отчет рабочей группы IEEE.
- [9] IEC 61643–1:2005 Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 1. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным энергораспределительным системам. Требования и испытания.
- [10] IEC 61643–21:2009 Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к телекоммуникационным и сигнализационным сетям. Требования к

- эксплуатационным характеристикам и методы испытаний.
- [11] IEC 61643–
12:2008 Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 12. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным энергораспределительным системам. Принципы выбора и применения.
- [12] IEC 60364–5–
53:2002 Электроустановки зданий. Часть 5–53. Выбор и монтаж электрического оборудования. Изоляция, коммутация и контроль.
- [13] IEC 61643–
22:2004 Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 22. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к телекоммуникационным и сигнализационным сетям. Принципы выбора и применения.

Директор РУП «Стройтехнорм»

И.Л. Лишай

Начальника отдела инжиниринговых
услуги экспертной деятельности РУП «Стройтехнорм»

О.М. Король

Ответственный исполнитель

Е.Г.Петрушкевич