
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО 56947007-
29.130.15.114-2012**

**РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ
ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-750 кВ**

Дата введения: 03.02.2012

ОАО «ФСК ЕЭС»
2012

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»; объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации – ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения»; общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним – ГОСТ 1.5-2001; правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации – ГОСТ Р 1.5-2004.

Сведения о стандарте

РАЗРАБОТАН: ООО «Научно-производственная фирма. Электротехника: наука и практика» (НПФ «ЭЛНАП»), Национальным исследовательским университетом «Московский энергетический институт», Новосибирским государственным техническим университетом (НГТУ).

ВНЕСЁН: Департаментом технологического развития и инноваций ОАО «ФСК ЕЭС».

УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ:
Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 03.02.2012 № 55.

ВВЕДЁН: ВПЕРВЫЕ.

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Департамент технологического развития и инноваций ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу: 117630, Москва, ул. Ак. Челомея, д. 5А, электронной почтой по адресу: vaga-na@fsk-ees.ru; smirnova-sn@fsk-ees.ru.

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС».

Содержание

	Стр.
Введение.....	4
1. Область применения.....	4
2. Нормативные ссылки.....	4
3. Термины и определения.....	5
4. Обозначения и сокращения.....	8
5. Общие положения.....	9
6. Нормируемые параметры.....	11
7. Предпроектные изыскания и сбор исходных данных.....	12
8. Конструктивное выполнение заземляющих устройств подстанций, принадлежащих сети с эффективно заземлённой нейтралью.....	15
8.1 Общие требования.....	15
8.2. Подстанции с открытыми распределительными устройствами.....	18
8.3. Подстанции с закрытыми распределительными устройствами.....	23
8.4. Подстанции с элегазовой изоляцией.....	24
8.5. Комплектные подстанции.....	26
9. Конструктивное выполнение заземляющих устройств подстанций 6-35 кВ	27
10. Конструктивное выполнение заземляющих устройств в зданиях ОПУ, РЩ и вспомогательных сооружений.....	27
11. Конструктивное выполнение заземления молниезащитных устройств.....	29
12. Конструктивное выполнение заземляющих устройств объектов свя- зи.....	33
13. Мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости.....	33
14. Особенности проектирования заземляющих устройств при техническом пе- ревооружении, реконструкции и расширении подстанции.....	35
15. Методические Указания по расчету параметров заземляющих устройств.....	36
Приложение А. Справочный материал.....	42
Приложение Б. Примеры расчетов.....	51
Приложение В. Требования к компьютерным программам по расчету пара- метров заземляющих устройств.....	57
Приложение Г. Библиография.....	59
Приложение Д. Типовые решения по конструктивному выполнению заземляющих устройств подстанций.....	60

Введение

«Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ» (далее по тексту: Руководящие указания) разработаны с учетом «Положения о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС», «Норм технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» и других действующих нормативно-технических документов.

Руководящие указания содержат требования к заземляющим устройствам подстанций с открытыми, закрытыми и комплектными распределительными устройствами, а также с распределительными устройствами с элегазовой изоляцией по условиям обеспечения электробезопасности и ЭМС.

В Руководящих указаниях даны рекомендации по проведению предпроектных изысканий, методам расчетов параметров заземляющих устройств и конструктивному выполнению заземляющих устройств распределительных устройств, зданий и сооружений, расположенных на территории подстанций, и объектов связи.

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на заземляющие устройства вновь сооружаемых и реконструируемых электрических подстанций напряжением 6-750 кВ.

Положения настоящего стандарта обязательны для применения проектными, строительно-монтажными, наладочными, эксплуатационными и ремонтными организациями.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты и ведомственные нормативные документы.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Минэнерго РФ. - 7-е издание 2002 г.

ГОСТ 12.1.038 - 82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

ГОСТ Р 50571.10-96 (МЭК 364-5-54-80). Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники.

ГОСТ Р 50571.21-2000 (МЭК 60364-5-548-96). Раздел 548. Заземляющие устройства и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации.

ГОСТ 50571.18-2000 (МЭК 60364-4-442-93) Ч.4. Требования по обеспечению безопасности. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1кВ.

ГОСТ 51317.6.5-2006 (МЭК 61000-6-5-2001). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний.

СО 34.35.311.2004. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях.

СО 34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. Минэнерго России.

РД 34.21.122-87. "Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений".

ГОСТ 10434-82. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования.

РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.

РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений.

3 Термины и определения

3.1 базовая конструкция заземляющего устройства: Первичная конструкция заземляющего устройства, закладываемая в расчёт, конфигурация которой зависит от класса напряжения и компоновки оборудования электроустановки.

3.2 внешние устройства молниезащиты: Комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

3.3 внешний контур заземления (здания): Замкнутый горизонтальный заземлитель, проложенный вокруг здания.

3.4 внутреннее устройство заземления (здания): Совокупность магистралей заземления и отдельных заземляющих проводников, расположенных внутри здания.

3.5 выносной заземлитель: Заземлитель, выполненный за пределами территории энергообъекта, не охватывающий эту территорию и соединённый с заземляющим устройством энергообъекта подземными или надземными проводниками.

3.6 выравнивание потенциалов: Снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле или в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или за счёт применения специальных покрытий земли с низким удельным сопротивлением.

3.7 вторичное оборудование: Аппаратура (устройства) релейной защиты и электроавтоматики, противоаварийной автоматики; автоматизированной системы управления технологическим процессом; автоматизированной системы диспетчерского управления; системы сбора и передачи информации; автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии; противопожарной системы; охранной

сигнализации; видеонаблюдения; системы оперативного постоянного тока; системы собственных нужд переменного тока 0,4 кВ; системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования; системы диагностики силового оборудования, контрольные кабели и т.п.

3.8. двойное замыкание на землю: Замыкание на землю двух фаз в различных точках сети с изолированной (заземлённой через дугогасящий реактор или резистор) нейтралью.

3.9 естественный заземлитель: Сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

3.10 заземление: Преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

3.11 заземляющее устройство: Совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

3.12 заземлитель: Проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

3.13 заземляющий проводник: Проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

3.14 замыкание на землю: Случайный электрический контакт между токоведущими частями, находящимися под напряжением, и землей.

3.15 защитное зануление: Преднамеренное соединение открытых проводящих частей электроустановок напряжением до 1 кВ с глухо заземлённой нейтралью трансформатора.

3.16 защитный заземляющий проводник: Защитный проводник, предназначенный для защитного заземления.

3.17 защитный проводник уравнивания потенциалов: Защитный проводник, предназначенный для защитного уравнивания потенциалов.

3.18 зона нулевого потенциала (относительная земля): Часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

3.19 зона растекания (локальная земля): Зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала. Термин *земля* следует понимать как *земля в зоне растекания*.

3.20 искусственный заземлитель: Заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

3.21 коррозия заземлителей: Разрушение заземлителей вследствие их электрохимического взаимодействия с коррозионной средой или под воздействием стекающих с заземлителя переменных и постоянных токов.

3.22 коэффициент передачи: Отношение наибольшего значения импульса напряжения на заземляющем устройстве к наибольшему значению импульса напряжения на входных портах технических средств.

3.23 магистраль заземления: Заземляющий проводник с двумя или более ответвлениями.

3.24 напряжение на заземляющем устройстве: Напряжение, возникающее между точкой ввода тока в заземлитель и зоной нулевого потенциала.

3.25 напряжение прикосновения: Напряжение между двумя открытыми проводящими частями или между открытой проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

3.26 напряжение шага: Напряжение между двумя точками на поверхности земли, на расстоянии 1 м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека, при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

3.27 нулевой защитный проводник (РЕ-проводник): Защитный проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для присоединения открытых проводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника питания.

3.28 нулевой рабочий (нейтральный) проводник (N-проводник): Проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухо заземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

3.29 ожидаемое напряжение прикосновения: Напряжение между одновременно доступными прикосновению проводящими частями, когда человек или животное их не касается.

3.30 открытая проводящая часть: Доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

3.31 опорная точка ЗУ: Точка на заземляющем устройстве, являющаяся наиболее частым местом ввода тока. Такими точками могут быть – места заземления нейтралей трансформаторов.

3.32 потенциалоповышающий ток: Ток, стекающий с заземлителя в землю и создающий напряжение на заземляющем устройстве.

3.33 разряд статического электричества: Импульсный перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами при непосредственном контакте или при сближении их на некоторое, достаточно маленькое расстояние.

3.34 разность потенциалов на заземляющем устройстве: Разность потенциалов, возникающая между различными точками заземляющего устройства подстанции при коротком замыкании в электрической сети, вызванная протеканием тока короткого замыкания по элементам заземляющего устройства и растеканием его в земле.

3.35 совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник (PEN-проводник): Проводник в электроустановках до 1 кВ, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

3.36 сопротивление заземляющего устройства: Отношение напряжения на заземляющем устройстве к потенциалоповышающему току.

3.37 токоотвод: Часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

3.38 уравнивание потенциалов: Электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов. Система уравнивания потенциалов – совокупность проводящих частей и соединительных проводников уравнивания потенциалов.

3.39 устойчивость к электромагнитной помехе, помехоустойчивость: Способность технического средства сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения технического средства.

3.40 эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой: Удельное электрическое сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой.

3.41 электромагнитная совместимость технических средств: Способность технических средств функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

3.42 электромагнитная обстановка: Совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазонах.

3.43 электромагнитная помеха: Электромагнитное явление, процесс, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования технических средств.

4 Обозначения и сокращения

АТ	- автотрансформатор
ВЛ	- воздушная линия электропередачи
ВЧ	- высокочастотная(ый)
ВЭЗ	- вертикальное электрическое зондирование
ГЩУ	- главный щит управления
ДГР	- дугогасящий реактор
ЗРУ	- закрытое распределительное устройство
ЗУ	- заземляющее устройство
КЗ	- короткое замыкание
КЛ	- кабельная линия электропередачи
КРУ	- комплектное распределительное устройство
КРУЭ	- комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией
ОРУ	- открытое распределительное устройство
ОПУ	- общеподстанционный пульт управления
ОПН	- нелинейный ограничитель перенапряжений

ПС	- подстанция
РВ	- разрядник вентильный
РУ	- распределительное устройство
РЗА	- релейная защита и автоматика
РЩ	- релейный щит
Т	- трансформатор
ТТ	- трансформатор тока
ТН	- трансформатор напряжения
ТС	- техническое средство
УРОВ	- устройство резервирования отказа выключателей
ЭМС	- электромагнитная совместимость

5 Общие положения

5.1 В соответствии с требованиями СО 153-34. 20.122-2009 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» в проекте должен быть разработан раздел (том) «Защита от перенапряжений, заземление, электромагнитная совместимость». В состав раздела (тома) по ЗУ должны входить пояснительная записка и чертежи заземляющего устройства.

В пояснительной записке должны быть даны результаты расчетов нормируемых параметров по условиям обеспечения электробезопасности и ЭМС с указанием расчетных точек КЗ, значений токов КЗ и их составляющих (токи нейтралей трансформаторов/автотрансформаторов, токи по ВЛ, потенциалоповышающие токи).

5.2 ЗУ должно обеспечить защиту от поражения электрическим током (электробезопасность персонала) при появлении потенциалов на открытых проводящих частях в нормальных и аварийных режимах работы электроустановок. Электробезопасность характеризуется предельно допустимыми значениями напряжения прикосновения и должна быть обеспечена при любых условиях эксплуатации подстанции. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения установлены в ГОСТ 12.1.038 – 82 (Приложение А).

ЗУ должно иметь параметры, обеспечивающие электромагнитную совместимость оборудования электроустановок. В соответствии с требованиями ЭМС ЗУ должно быть выполнено так, чтобы уровни напряжений и токов, воздействующих на вторичное оборудование при коротких замыканиях и коммутациях в первичных цепях, не превышали допустимых значений для вторичного оборудования. Допустимые (испытательные) уровни электромагнитных воздействий установлены в ГОСТ Р 51317.6.5-2006.

ЗУ должно обеспечить надёжное заземление устройств молниезащиты и ограничителей перенапряжений. В соответствии с этим грозовые и коммутационные перенапряжения, воздействующие на изоляцию первичного и вторичного оборудования соответствующего класса напряжения, не должны превышать допустимых уровней.

ЗУ предназначено также для реализации рабочего заземления электроустановок всех напряжений.

5.3 При проектировании ЗУ должны быть обеспечены:

- защита естественных заземлителей и проводящих коммуникаций от повреждения при протекании (стекании) токов аварийных режимов;
- взрыво- и пожаробезопасность электроустановок, оборудования и сооружений (за счёт исключения перегрева искусственных и естественных элементов ЗУ, возникновения электрических дуг и искрения между открытыми проводящими частями, включая заземляющие проводники, с разными потенциалами);
- действие релейных защит от замыканий на землю.

Надежность выполнения перечисленных функций ЗУ обеспечивается соблюдением нормируемых параметров заземляющего устройства.

5.4 Проектирование заземляющего устройства рекомендуется проводить на стадии «проектная документация», когда проработаны решения:

- по строительной части;
- по схемам, составу и компоновкам первичного оборудования;
- по составу и расположению вторичного оборудования и оборудования связи;
- по трассам прокладки кабелей всех напряжений и назначений;
- по трассам прокладки трубопроводов всех назначений, включая воздуховоды.

5.5. На стадии «рабочая документация» выполняются рабочие чертежи деталей ЗУ (присоединение к оборудованию, присоединение естественных заземлителей, заземление экранов и оболочек кабелей с проверкой их термической стойкости, конструкция сварных соединений, уточнение прокладки заземляющих проводников внутри помещений и т.п.). Допускается проведение проверочных расчётов и местные изменения конструкции ЗУ, не приводящие к изменению её стоимости в сторону увеличения.

5.6 Проектирование ЗУ, как правило, включает следующие этапы:

- проведение предпроектных изысканий;
- проектирование заземляющей сети в зданиях и сооружениях;
- разработка базовой конструкции ЗУ на открытой части распределительных устройств;
- расчёты и корректировка базовой конструкции с учётом всех требований к ЗУ, включая уточнение числа и расположения искусственных заземлителей и заземляющих проводников, их сечения (с учётом термической стойкости и коррозии).

5.7. Рекомендуется на стадии «рабочая документация» включить в состав проекта работы по проверке параметров смонтированного ЗУ в соответствии с Методическими указаниями по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. По результатам проверки в рабочие чертежи должны быть внесены необходимые корректировки. Работы по проверке ЗУ должны выполняться специализированными организациями.

6 Нормируемые параметры

ЗУ электрической подстанции должны обеспечивать нормируемые параметры (табл.1) по условиям обеспечения электробезопасности и ЭМС для нормальных и наиболее опасных аварийных режимов:

- однофазное (двухфазное) короткое замыкание на землю на ПС;
- короткое замыкание на землю на линиях, отходящих от ПС;
- двойное замыкание на землю в сети с изолированной (заземлённой через дугогасящий реактор или резистор) нейтралью;
- стекание токов молнии и токов через ограничители перенапряжений;
- стекание токов несимметрии и токов шунтирующих реакторов.

Таблица 1 – Нормируемые параметры заземляющего устройства

	Нормируемый параметр	Допустимое значение
1.	Напряжение прикосновения.	<p><u>ГОСТ 12.1.038-82</u> (см. Приложение А).</p> <p>Предельно допустимое напряжение прикосновения зависит от времени отключения КЗ.</p> <p><u>ПУЭ п.1.7.91.</u> В качестве расчетного времени воздействия следует принимать сумму времени действия защиты и полного времени отключения выключателя. При определении допустимых значений напряжений прикосновения у рабочих мест следует принимать время действия резервной защиты, а для остальной территории – основной защиты.</p> <p>В качестве рабочих мест на подстанции, как правило, рассматривают выключатели, разъединители и трансформаторы/автотрансформаторы с РПН, измерительные трансформаторы.</p>
2.	Сопротивление заземляющего устройства.	<p><u>ПУЭ гл.1.7.</u></p> <p>Предельно допустимые значения сопротивлений ЗУ приведены в Приложение А.</p>
3.	Напряжение на ЗУ относительно зоны нулевого потенциала.	<p><u>ПУЭ п.1.7.89.</u></p> <p>Напряжение на ЗУ при стекании с него тока замыкания на землю не должно, как правило, превышать 10 кВ.</p> <p>Напряжение выше 10 кВ на ЗУ допускается, если исключен вынос потенциала за пределы подстанции.</p> <p>При напряжении выше 5 кВ должны быть предусмотрены меры по защите изоляции отходящих кабелей связи и телемеханике и по предотвращению выноса опасных потенциалов за пределы подстанции.</p>
4.	Напряжение между какой-либо точкой заземления силового оборудования (при КЗ на землю) и точками ЗУ в месте расположения вторичного оборудования (РЩ, ОПУ и др.), к которому приходят контрольные кабели от силового оборудования.	<p><u>СО 34.35.311-2004 (П.В.1).</u></p> <p>Для цепей с номинальным напряжением не более 250В – 2 кВ.</p> <p>При использовании контрольных кабелей, электрическая прочность изоляции которых ниже 2 кВ, напряжение должно быть принято равное испытательному напряжению.</p>

	Нормируемый параметр	Допустимое значение
5.	Температура нагрева заземленных с двух сторон экранов и брони кабелей при КЗ на подстанции.	<u>ПУЭ пп.1.4.16, 1.7.126</u> Кабели с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение до 10 кВ $\leq 200^{\circ}\text{C}$, кабели с ПВХ изоляцией $\leq 160^{\circ}\text{C}$, кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена или пропиленовой резины $\leq 250^{\circ}\text{C}$, кабели с изоляцией из бутиловой резины $\leq 220^{\circ}\text{C}$.
6.	Импульсный потенциал на ЗУ при коммутациях силового оборудования и КЗ на землю.	<u>СО 34.35.311-2004 п.2.2.</u> Для вторичных цепей напряжения и тока, заземленных на РУ, не более $2,5 \text{ кВ} \cdot K_{\text{перед}}$. Коэффициент передачи $K_{\text{перед}}$ определяют экспериментально или расчетным путем. Наименьшее значение $K_{\text{перед}} = 2$. Для вторичных цепей, не заземленных на РУ, - не более 10 кВ.
7.	Температура нагрева заземляющих проводников и заземлителей при коротких замыканиях.	<u>ПУЭ п.1.4.16.</u> Не более 400°C (с учетом коррозионного износа). Для стальных проводников, присоединяемых к аппаратам, - не более 300°C .
8.	Расстояние от ЗУ молниеотводов до оборудования и кабельных трасс вторичных цепей.	Определяют расчетом из условия исключения пробоя с ЗУ молниеотводов на первичные и вторичные цепи. В расчетах среднюю напряженность электрического пробоя в грунте принимают по РД 153-34.3-35.125-99 (СО 34.35.125-99), табл. П15.3, См. приложение А.
9.	Сопротивление контакта между заземляющим проводником и заземляемым оборудованием.	Не более 0,05 Ом
10.	Коррозионное состояние элементов заземляющего устройства в процессе эксплуатации.	Разрушение не более 50% сечения (при выполнении п.7 по температуре нагрева).

7 Предпроектные изыскания и сбор исходных данных.

7.1 На этапе предпроектных изысканий должны быть выполнены следующие работы:

- Выявлены и нанесены на ситуационный план все инженерные сооружения, находящиеся вблизи площадки проектируемой ПС.

- Выполнено вертикальное электрическое зондирование грунта на площадке электроустановки (см. Приложение А). Глубина зондирования должна быть не менее 5 диагоналей площадки ПС. Если из-за ограниченных размеров площади территории зондирования невозможно выполнить измерения для указанной глубины зондирования рекомендуется использовать геологические данные о строении грунтов в месте строительства подстанции.

- В грунтах с удельным сопротивлением верхнего слоя ниже 50 Ом·м и в районах, расположенных южнее 48 параллели, необходимо выполнить определение коррозионных свойств грунта с целью выбора сечения заземлите-

ля, обеспечивающего его долговечность в течение заданного срока службы. Во всех случаях должны быть представлены геохимические данные (общая минерализация грунтовых вод, концентрация ионов Cl^- и SO_4^{2-}) и коррозионная активность грунта по отношению к стали и бетону.

Результаты измерений электрического сопротивления грунта должны быть приведены к наиболее неблагоприятным климатическим условиям (см. Приложение А). Характеристики электрической структуры грунта могут быть так же определены с помощью данных по геоподоснове объекта. Сведения об электрических характеристиках различных грунтов приведены в Приложении А.

Данные о характеристиках электрической структуры грунта используются при расчете параметров ЗУ, а коррозионные параметры грунта – для выбора мероприятий по обеспечению долговечности заземлителей.

7.2 К исходным данным, полученным при предпроектных изысканиях, относятся сведения о геоэлектрической структуре грунта и коррозионные параметры грунта.

7.2.1 Сведения о геоэлектрической структуре грунта на площадке ПС (см. также Приложение А):

- многослойная (в минимальном случае – двухслойная) электрическая модель грунта (значения удельных сопротивлений и мощностей слоёв до глубины не менее 5-и диагоналей (наибольшего горизонтального размера) площадки электроустановки);
- геологическое строение грунта;
- уровень грунтовых вод и его годовые колебания;
- глубина промерзания грунта;
- коэффициент изменения удельного сопротивления верхних слоёв грунта (при отсутствии данных изысканий принимается по табл. П.А.6).

7.2.2 Коррозионные параметры грунта:

- наличие и характеристики поля блуждающих постоянных токов (при расположении ПС вблизи электроустановок постоянного тока (подстанции постоянного тока, железная дорога, алюминиевое производство и т.п.);
- окислительно-восстановительный потенциал стали в грунте;
- влажность грунта и степень насыщения (пор влагой);
- концентрация солей в грунтовом растворе.

Кроме того, для определения коррозионных характеристик грунта следует использовать данные по удельному сопротивлению верхнего слоя грунта (до глубины заложения горизонтальных заземлителей).

7.2.3 При необходимости планировки площадки подстанции при помощи насыпного грунта предпочтение следует отдавать глинистым и суглинистым грунтам, как имеющим низкое удельное сопротивление. Допускается выполнять насыпной грунт с включением щебня. Не рекомендуется применять в качестве насыпного грунта песок, щебень и гравий, если слой насыпного грунта превышает 1 м. Удельное сопротивление насыпного грунта следует принимать по табл. П.А.5.

7.3. Ситуационный план расположения площадки ПС с нанесёнными на нём существующими и предполагаемыми инженерными сооружениями:

- железнодорожные пути (с указанием напряжения электрификации при её наличии);
- трубопроводы всех назначений (подземные и наземные);
- кабельные линии (в земле и на эстакадах) с указанием типов кабелей;
- воздушные линии электропередачи с указанием на наличие (отсутствие) грозозащитного троса;
- существующие электроустановки (ТП) и установки связи.

7.4. Материалы по строительной части проектируемой ПС:

- общий план подстанции;
- планы основных зданий и сооружений (ОПУ, РЩ, РУ, Т/АТ, реакторы);
- планы вспомогательных зданий и сооружений (склады, гаражи, мастерские, маслохозяйство и т.п.);
- тип РУ (ОРУ, КРУЭ, КРУ, ЗРУ);
- виды молниеотводов: отдельно стоящие, порталные, сетка, прожекторные мачты, антенные мачты;
- сведения о выходящих за пределы электроустановки заземлителях и проводящих коммуникациях: грозозащитных тросов ВЛ; отходящих силовых кабелей и кабелей связи; металлических трубопроводов;
- сведения о конструкции фундаментов зданий и оборудования (свайные, подножки, лежневые и пр.);
- трассы прокладки кабельных каналов, лотков, галерей;
- трассы прокладки трубопроводов различного назначения (пожаротушения, воздухопроводы, водопровод и др.);
- сведения об обустройстве поверхности грунта (подсыпка щебнем, асфальтирование и т.п.).

7.5 Материалы по электротехнической части проектируемой ПС:

- схема первичных соединений;
- токи однофазного короткого замыкания в сети 110 кВ и выше с указанием фаз и их составляющие (токи нейтралей, токи по всем ВЛ, потенциалоповышающие токи);
- токи двойного замыкания на землю в сети 6-35 кВ;
- токи однофазного замыкания на землю в сети 6-35 кВ;
- номинальные токи ДГР и резисторов (при наличии этих устройств);
- времена отключения КЗ основными и резервными защитами и время на работы УРОВ.
- типы кабелей вторичной коммутации (с экранами, бронёй и оболочкой).

7.6 При выполнении проекта реконструкции (техпереворужения) ПС на этапе предпроектных изысканий должны быть использованы результаты обследования ЗУ. Исполнительную схему ЗУ применяют в качестве исходных данных для проведения расчетов.

8 Конструктивное выполнение заземляющих устройств подстанций, принадлежащих сети с заземлённой нейтралью.

8.1 Общие требования

8.1.1 На территории ПС напряжением 110 кВ и выше, принадлежащих сети с эффективно заземленной нейтралью, как правило, расположены: РУ различного напряжения, силовые трансформаторы/автотрансформаторы, реакторы, шинопроводы, отдельно стоящие молниеотводы, опоры под оборудование, несущие конструкции, здания ОПУ, РЩ, связи, а также вспомогательные здания и сооружения (склады, гаражи и др.).

Заземляющие устройства всех зданий и сооружений на ПС должны быть объединены в одно общее заземляющее устройство, обеспечивающее выполнение условий электробезопасности и ЭМС по нормированным параметрам (см. табл.1).

Допускается применение отдельного ЗУ для объектов (отдельно стоящие молниеотводы, переходной пункт, вспомогательные здания и сооружения), расположенных на территории ПС при соблюдении следующих условий:

- между объектом и ЗУ ПС отсутствуют металлические связи (броня, оболочки, РЕ, N, PEN проводники, металлоконструкции);
- исключается пробой между ЗУ при КЗ и ударах молнии (должно быть подтверждено расчетом);
- к объекту не подходят контрольные кабели и кабели сети 0,4 кВ от ТСН подстанции;
- отдельное ЗУ на объекте должно обеспечивать выполнение условий электробезопасности и ЭМС.

8.1.2. На ПС должны быть заземлены путем присоединения (с помощью заземляющих проводников) к заземлителю или магистрали заземления:

- приводы электрических аппаратов и корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т.п.;
- металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические кабельные муфты, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, металлические оболочки проводов, металлические рукава и трубы электропроводки, оболочки и опорные конструкции шинопроводов, металлические лотки, короба, а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование;
- каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов.

Заземляющие проводники следует подсоединять к оборудованию при помощи сварки. Сварное соединение каждого заземляющего проводника с оборудованием должно выполняться не менее чем двумя сварными швами (с двух сторон проводника) длиной не менее 50 мм или болтовым соединением.

Допускается применение болтового соединения с элементами, обеспечивающими его прочность и низкое электрическое сопротивление на протя-

жении всего периода эксплуатации, особенно при возможных вибрациях (трансформаторы) и других механических воздействиях.

8.1.3 При выполнении ЗУ ПС используют искусственные и естественные заземлители.

Материал, конструкция и размеры заземлителей, заземляющих и нулевых защитных проводников должны обеспечивать стойкость к механическим, химическим и термическим воздействиям в течение всего периода эксплуатации.

Искусственные заземлители могут быть выполнены из черной стали или медными. Сечение заземляющих проводников и горизонтальных заземлителей следует выбирать по условию п.7 табл.1.

Заземлители и заземляющие проводники соединяются между собой при помощи сварки или болтового соединения. При этом каждое сварное соединение должно выполняться не менее чем двумя сварными швами (с двух сторон проводника) длиной не менее 50 мм.

В случае опасности коррозии заземляющих устройств необходимо выполнять одно из следующих мероприятий:

- увеличение сечения заземлителей и заземляющих проводников с учетом расчетного срока их службы;

- применение медных заземлителей и заземляющих проводников.

Долговечность заземляющего устройства рекомендуется обеспечивать:

- выбором круглого сечения заземлителей и заземляющих проводников;

- применением вертикальных заземлителей, которые являются протекторами по отношению к горизонтальным заземлителям сетки;

- защитным покрытием (в два слоя) мест входа в грунт и мест сварных соединений горизонтальных заземлителей с вертикальными и с заземляющими проводниками (для защитного покрытия следует применять защитные материалы, например, «ЦИНОЛ» или «ЦИНОТАН»): у мест входа в грунт – на 20 см выше и ниже поверхности грунта; в местах сварных соединений – полностью сварной шов и на 5-10 см в обе стороны от сварного шва.

В качестве естественных заземлителей могут быть использованы:

- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей, в том числе, железобетонные фундаменты зданий и сооружений, имеющие защитные гидроизоляционные покрытия в неагрессивных, слабоагрессивных и среднеагрессивных средах;

- металлические трубы водопровода, проложенные в земле;

- обсадные трубы буровых скважин;

- подъездные рельсовые пути при устройстве перемычек между рельсами в случае отсутствия автоблокировки на них и наличии изолированного стыка в начале подъездного пути (изоляция от станционных рельсовых цепей);

- пути перекачки трансформаторов;

- металлические оболочки бронированных кабелей, проложенных в земле;

- заземлители опор ВЛ, соединенные с заземляющим устройством ПС при помощи грозозащитного троса ВЛ, если трос не изолирован от опор ВЛ;
- другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения.

Не рекомендуется использовать в качестве естественных заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей и трубопроводов канализации и центрального отопления. Указанные ограничения не исключают необходимости присоединения таких трубопроводов к заземляющему устройству с целью уравнивания потенциалов в соответствии с 1.7.82 ПУЭ.

Возможность использования естественных заземлителей по условию плотности протекающих по ним токов, необходимость сварки арматурных стержней железобетонных фундаментов и конструкций и необходимость приварки анкерных болтов стальных колонн к арматурным стержням железобетонных фундаментов, а также возможность использования фундаментов как естественных заземлителей в сильноагрессивных средах должны быть определены расчетом.

У сборных железобетонных фундаментов при использовании их в качестве естественных заземлителей должна быть обеспечена электрическая связь (сварка) между арматурой и наружными закладными частями, присоединяемыми к ЗУ. Монолитные железобетонные фундаменты должны снабжаться специальными закладными частями, приваренными к арматуре.

Использование естественных заземлителей в качестве элементов ЗУ не должно приводить к их повреждению при протекании по ним токов короткого замыкания или к нарушению работы устройств, с которыми они связаны.

При включении в систему уравнивания потенциалов трубопроводов с горючими и взрывоопасными жидкостями, газами и смесями должны быть обеспечены меры, исключающие искрение в местах присоединения проводников уравнивания потенциалов (сварка) и во фланцах трубопроводов (шунтирующие перемычки).

8.1.4 Для выравнивания потенциалов вокруг зданий и сооружений необходимо соблюдение одного из следующих условий:

1) прокладка в земле на глубине 1 м и на расстоянии 1 м от фундамента здания или от периметра территории, занимаемой оборудованием, контурного заземлителя, соединенного с системой уравнивания потенциалов этого здания или этой территории, а у входов и у въездов в здание – укладка проводников на расстоянии 1 и 2 м от контурного заземлителя на глубине 1 и 1,5 м соответственно и соединение этих проводников с контурным заземлителем;

2) использование железобетонных фундаментов в качестве заземлителей, если при этом обеспечивается допустимый уровень выравнивания потенциалов.

Обеспечение условий выравнивания потенциалов с помощью железобетонных фундаментов, используемых в качестве заземлителей, определяется в

соответствии с ГОСТ 12.1.030 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».

Не требуется выполнение условий, указанных в п.п. 1) и 2), если вокруг зданий имеются асфальтовые отмотки, в том числе у входов и у въездов. Если у какого-либо входа (въезда) отмотка отсутствует, у этого входа (въезда) должно быть выполнено выравнивание потенциалов путем укладки двух проводников, как указано в п. 1), или соблюдено условие по п. 2).

8.1.5 Для обеспечения надёжной работы охранной сигнализации и других устройств (например, видеонаблюдения), установленных по периметру ограждения ПС, и обеспечения безопасности людей и животных контур заземляющего устройства ПС должен выходить за пределы ограждения ПС и располагаться в 1 м от него, на глубине 1 м. При расчётных размерах ЗУ, превышающих размеры указанного контура, этот контур, проложенный вокруг ограждения, сохраняется. Допускается не выполнять внешний контур за пределами ограждения у ПС напряжением 110 кВ и ниже при отсутствии электроприёмников на ограждении (включая электрозамки и охранную сигнализацию), пропускных пунктов и других электрифицированных сооружений, встроенных или соприкасающихся с ограждением ПС. В этом случае ограждение ПС не должно подсоединяться к внутреннему ЗУ ПС, и располагаться от него на расстоянии не менее 2 м.

8.1.6 Во избежание выноса потенциала не допускается питание электроприёмников, находящихся за пределами заземляющих устройств электроустановок выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью, от обмоток до 1 кВ с заземленной нейтралью трансформаторов, находящихся в пределах контура заземляющего устройства электроустановки выше 1 кВ.

При необходимости, питание таких электроприёмников может осуществляться от трансформатора с изолированной нейтралью на стороне до 1 кВ по кабельной линии, выполненной кабелем без металлической оболочки и без брони, или по ВЛ.

При этом напряжение на заземляющем устройстве не должно превышать напряжение срабатывания пробивного предохранителя, установленного на стороне низшего напряжения трансформатора с изолированной нейтралью.

Питание таких электроприёмников может также осуществляться от разделительного трансформатора. Разделительный трансформатор и линия от его вторичной обмотки к электроприёмнику, если она проходит по территории, занимаемой заземляющим устройством электроустановки выше 1 кВ, должны иметь изоляцию от земли на расчетное значение напряжения на заземляющем устройстве.

8.2 Подстанции с открытыми распределительными устройствами

8.2.1 Искусственный заземлитель подстанций с ОРУ 110-750 кВ состоит из продольных и поперечных горизонтальных заземлителей, соединенных между собой в заземляющую сетку, вертикальных заземлителей и заземляющих проводников.

При выполнении проекта ЗУ рекомендуется выделить две основные части искусственного заземлителя: базовую конструкцию, размещенную в зоне расположения оборудования РУ, и внешнюю часть, которая расположена за пределами базовой конструкции. При наличии на ПС нескольких РУ различных напряжений для каждого РУ рекомендуется выполнять базовую конструкцию ЗУ. Базовые конструкции РУ различного напряжения должны быть соединены не менее, чем двумя связями и объединены общим внешним контуром, охватывающим все ОРУ.

8.2.2 Для выравнивания электрического потенциала и обеспечения присоединения электрооборудования к заземлителю на территории, занятой ПС с открытым распределительным устройством, прокладывают продольные и поперечные горизонтальные заземлители и соединяют их между собой в заземляющую сетку.

Горизонтальные заземлители следует также прокладывать по краю территории, занимаемой заземляющим устройством, так, чтобы они в совокупности образовывали замкнутый контур.

При выходе заземляющего устройства за пределы ограждения ПС горизонтальные заземлители, находящиеся вне территории ПС, следует прокладывать на глубине не менее 1 м. Внешний контур заземляющего устройства в этом случае рекомендуется выполнять в виде многоугольника с тупыми или скругленными углами.

8.2.3 Базовая конструкция должна обеспечивать: удобство присоединения оборудования, выравнивание потенциалов в местах ввода тока КЗ, снижение импульсного сопротивления в местах заземления молниеотводов, разрядников и ОПН, ТТ, ТН и другого силового оборудования, к которому прокладывают контрольные кабели.

К базовой конструкции должны быть присоединены все естественные заземлители, включая железобетонные фундаменты зданий и оборудования.

Заземляющие проводники, присоединяющие оборудование или конструкции к заземлителю, следует прокладывать в земле на глубине не менее 0,3 м.

8.2.4 Продольные заземлители базовой конструкции рекомендуется прокладывать вдоль осей электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,3 – 0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8 – 1,0 м от фундаментов или оснований оборудования. Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены одна к другой, а расстояние между основаниями или фундаментами двух рядов не превышает 3,0 м.

Поперечные заземлители следует прокладывать в удобных местах между оборудованием на глубине, соответствующей прокладке продольных заземлителей базовой конструкции. Расстояние между ними рекомендуется принимать увеличивающемся от периферии к центру заземляющей сетки. В скальных грунтах глубина прокладки горизонтальных заземлителей может быть уменьшена до 0,15 м. В грунтах с повышенной коррозионной опасно-

стью глубина укладки горизонтальных заземлителей выбирается по условиям коррозии.

Расстояния между продольными и расстояния между поперечными горизонтальными искусственными заземлителями не должны превышать 30 м.

8.2.5 Размеры ячеек заземляющей сетки, примыкающих к местам присоединения нейтралей силовых трансформаторов и короткозамыкателей к заземляющему устройству, не должны превышать $6 \times 6 \text{ м}^2$.

Следует прокладывать продольные и поперечные горизонтальные заземлители в четырех направлениях вблизи мест расположения заземляемых нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей, шунтирующих реакторов. При этом непосредственно у мест присоединения оборудования заземляющими проводниками к ЗУ растекание тока должно осуществляться не менее чем в двух направлениях.

Обязательным элементом базовой конструкции в районе расположения силовых трансформаторов и реакторов должны быть рельсовые пути перекатки трансформаторов (при их наличии). Все стыки рельсов должны быть шунтированы стальными проводниками диаметром не менее 6 мм, привариваемыми к рельсам. С рельсами следует также соединить при помощи горизонтальных заземлителей: места заземления нейтралей трансформаторов и/или нейтральных точек автотрансформаторных групп и базовые конструкции ОРУ, питающихся от этих трансформаторов, (не менее чем 2-ми горизонтальными заземлителями сечением не менее 300 мм^2). Не следует подсоединять непосредственно к рельсам заземляющие проводники от молниеотводов и ограничителей перенапряжений.

Для снижения импульсного сопротивления плотность сетки заземлителя должна быть повышена вблизи высоковольтного силового оборудования, особенно около: силовых трансформаторов; емкостных трансформаторов напряжения; молниеотводов; разрядников; ОПН; опор линий электропередачи и других заземленных опорных конструкций; трансформаторов связи для систем передачи данных по ВЛ. Прокладка горизонтальных заземлителей осуществляется так, чтобы обеспечить растекание тока по ЗУ в 3-х -4-х направлениях. Кроме того, у молниеотводов на расстоянии 3-5 м устанавливается не менее 2-х вертикальных заземлителей длиной не менее 5 м. Также вертикальные заземлители устанавливаются у разрядников и ОПН. К числу вертикальных заземлителей следует относить фундаменты с глубиной погружения не менее 2м. Горизонтальные заземлители у молниеотводов, разрядников и ОПН должны прокладываться относительно друг друга таким образом, чтобы расстояние между вертикальными заземлителями было больше их длины.

8.2.6 Конструктивное выполнение ЗУ зданий ОПУ, РЩ, связи, а также вспомогательных зданий и сооружений (склады, гаражи и др.), расположенных на ПС с ОРУ, осуществляется в соответствии с рекомендациями п.8 и п.10 настоящих Руководящих указаний.

8.2.7 Конструктивное выполнение ЗУ ПС должно обеспечить нормируемые параметры, указанные в таблице 1, что должно быть подтверждено результатами расчетов.

Если при конструктивном выполнении ЗУ по п.8.2.1-8.2.4 не обеспечивается какой-либо из нормируемых параметров, указанных в табл.1, должны быть разработаны дополнительные мероприятия.

8.2.8 При напряжении на ЗУ выше допустимого значения (см. п.3 табл.1) должны быть приняты мероприятия по снижению сопротивления ЗУ: дополнение базовой конструкции вертикальными заземлителями; расширение внешней части искусственного заземлителя с установкой или без установки вертикальных заземлителей; устройство скважных и выносных заземлителей.

Вертикальные заземлители должны быть установлены равномерно по периметру заземляющего устройства. Если оборудование установлено на лежневых фундаментах, дополнительно вертикальные заземлители могут располагаться внутри базовой конструкции. В этом случае их рекомендуется устанавливать на рабочих местах. Длина и число вертикальных заземлителей должны быть определены расчетом. Следует учитывать, что существенное снижение сопротивления ЗУ при установке вертикальных заземлителей может быть получено при заглублении их в слои грунта с низким удельным сопротивлением.

Расширение искусственного заземлителя за пределы базовой конструкции осуществляется путем прокладки контурного горизонтального заземлителя в пределах ограды ПС или на свободной от застройки и разрешенной к использованию территории вне ПС. За пределами ограды ПС горизонтальные заземлители должны прокладываться на глубине не менее 1м. Контурный заземлитель должен быть присоединён к базовой конструкции не менее, чем 4-мя горизонтальными заземлителями, не менее, чем по 1-му с каждой стороны контура.

Скважинный заземлитель сооружается на территории ПС или в непосредственной близости от нее. Его длина должна быть достаточной для достижения слоев земли с низким удельным сопротивлением.

Выносной заземлитель сооружается в местах с низким удельным сопротивлением грунтов в недоступных для частого, пребывания людей и животных. Чаще всего в качестве таких мест используются заболоченные места, заброшенные участки лугов, поймы рек, водоемы, пруды, впадины с рыхлыми отложениями.

Выносной заземлитель представляет собой горизонтальный контур с вертикальными заземлителями или без них, который выполняется в виде многоугольника с тупыми или скругленными углами и прокладывается на глубине не менее 1 м. Соединение выносного заземлителя с базовой конструкцией ПС осуществляется с помощью горизонтальных заземлителей, а также воздушными или кабельными линиями. Удаленность выносного заземлителя от искусственного заземлителя при их соединении горизонталь-

ными заземлителями не должна превышать 0,5 км, а при соединения воздушными или кабельными линиями - 2 км.

Число горизонтальных заземлителей, соединяющих базовую конструкцию с выносным заземлителем, должно быть не менее двух. Прокладка их осуществляется на глубине не менее 1 м.

Число и сечение проводов, жил кабеля или горизонтальных заземлителей выбирается, исходя из требования, чтобы продольное сопротивление линии было меньше сопротивления выносного заземлителя.

При устройстве выносного заземлителя должны быть предусмотрены меры по защите людей и животных от поражения электрическим током в результате прикосновения к его токопроводящим не изолированным частям. Для этого необходимо, чтобы линия была изолирована от земли на напряжение не менее напряжения на ЗУ, и исключена возможность прикосновения к проводнику, соединяющему линию с выносным заземлителем.

Кабельная линия должна подключаться к локальному заземлителю под землей, а место соединения конца кабеля с заземлителем в целях защиты от коррозии должно иметь гидроизоляцию.

8.2.9 Для снижения напряжений прикосновения до допустимых значений (см. табл.1 п.1) на территории ПС рекомендуются следующие мероприятия: уменьшение шага ячеек сетки заземлителей, местное выравнивание потенциала и использование высокоомных (гравий, щебень) или изоляционных (асфальт) покрытий.

Местное выравнивание потенциала должно быть выполнено у оборудования на рабочих местах. Для местного выравнивания потенциала рекомендуется выполнить квадратную решетку размером не менее 1м с ячейками не более 0,5м из стали круглого сечения диаметром не менее 6мм. Решетка должны быть присоединена к оборудованию в одном или двух местах.

Выравнивание потенциалов для обеспечения допустимого напряжения прикосновения рекомендуется сочетать и допускается заменять покрытиями из асфальта толщиной не менее 5 см, щебня толщиной не менее 10см или изоляционного бетона. Площадь покрытия должна выступать за устройства выравнивания потенциала не менее чем на 0,2м.

8.2.10 Напряжение между какой-либо точкой заземления силового оборудования (при КЗ на землю) и точками ЗУ в месте расположения вторичного оборудования (РЩ, ОПУ и др.), к которому приходят контрольные ели от силового оборудования (см. табл. 1 п. 4) может быть снижено до допустимых значений за счет: уменьшения шага ячеек сетки заземлителей, прокладки дополнительных связей между ОРУ и зданием РЩ, а также между РУ различных напряжений.

Для уменьшения тока в экранах и броне кабелей (температуры их нагрева), заземленных с двух сторон при КЗ на подстанции. (см. табл.1 п.5) необходимо проложить дополнительные связи по ЗУ между ОРУ и РЩ.

Заземлённые с двух сторон экран и броня кабелей обязательно проверяется по условиям нагрева при КЗ на оборудовании, от которого отходят эти кабели. Особое внимание следует уделить участкам кабелей от оборудования

до клеммного шкафа, как имеющим наибольшие градиенты напряжения по экрану при КЗ на оборудовании. Для уменьшения тока в экранах кабелей на этих участках рекомендуется прокладка кабелей в металлической трубе с соответствующим расчётным обоснованием.

Для снижения импульсного потенциала на ЗУ при коммутациях силового оборудования и КЗ на землю должно быть выполнено выравнивание потенциала путем прокладки дополнительных заземляющих проводников и увеличения плотности сетки заземлителей в месте расположения оборудования.

8.2.11. ОРУ напряжением 6-35 кВ на подстанциях с высшим напряжением 110 кВ и выше (включая ОРУ 35 кВ групп однофазных АТ) проектируются по нормам для электроустановок, принадлежащих сети с эффективно заземлённой нейтралью. Нормируемые параметры ЗУ рассчитываются по значению токов двойного замыкания на землю. Рекомендуется также делать проверочные расчеты напряжений прикосновения в периферийных точках этих ОРУ при замыканиях на ОРУ высших классов напряжений.

Часть ЗУ, находящаяся между силовым трансформатором (трансформаторами) и токоограничивающим реактором (реакторами) рассчитывается по току двухфазного замыкания на землю, вычисленному без учёта реакторов. При этом базовая конструкция ЗУ должна содержать как минимум два горизонтальных заземлителя диаметром не менее 20 мм, соединяющих элементы ЗУ в районах силового трансформатора и токоограничивающего реактора.

ЗУ ОРУ, находящегося за реактором, рассчитывается по току двойного замыкания на землю. При этом одна точка замыкания выбирается на ОРУ, а другая – на ближайшей опоре ВЛ, не связанной с ЗУ ОРУ грозозащитным тросом, заземлителем или оболочкой кабеля. В качестве базовой конструкции таких ОРУ рекомендуется выбирать сетку горизонтальных заземлителей с ячейкой $6 \times 6 \text{ м}^2$.

8.3 Подстанции с закрытыми распределительными устройствами

8.3.1 В качестве элементов базовой конструкций искусственного заземлителя подстанций с ЗРУ в пределах здания в первую очередь должны быть использованы металлоконструкции под оборудование и элементы кабельных конструкций. Дополнительные элементы базовой конструкции в виде горизонтальных заземлителей прокладываются только со стороны обслуживания оборудования, расположенного на первом этаже при наличии наливных и бетонных полов. При этом заземлители должны быть проложены в бетоне при укладке полов.

Все естественные и искусственные элементы базовой конструкции должны быть многократно соединены между собой и не менее чем в четырех местах присоединены к контурному горизонтальному заземлителю, который прокладывается по периметру здания. Контурный заземлитель может быть расположен как внутри здания, так и за его пределами на расстоянии 1 м от стен здания (см. п.8.1.3, 8.1.4). В качестве контурного заземлителя рекомен-

дуются использовать арматуру фундамента здания. При выполнении гидроизоляции с помощью синтетических материалов фундамент здания не может быть использован в качестве заземлителя.

В случае наличия оборудования наружной установки (например, силовые трансформаторы) базовая конструкция должна охватывать это оборудование и выполняться в соответствии с рекомендациями п.8.2.

8.3.2 Заземление оборудования РУ осуществляется с помощью магистралей заземления, прокладываемых по стенам с учетом удобства присоединения оборудования. Закладные элементы металлоконструкций здания должны быть присоединены к магистралям заземления. Магистрали заземлений должны соединяться не менее чем в четырех местах вертикальными спусками между этажами и с контурным заземлителем.

Для снижения импульсного сопротивления заземления оборудования в помещениях РУ рекомендуется выполнить сетку с шагом не менее 2 м. В качестве сетки может применяться арматура железобетонной конструкции пола (при обеспечении электрического соединения арматуры между собой). Сетка присоединяется к закладным металлоконструкциям оборудования и к магистрали заземления не менее чем в четырех местах равномерно по периметру.

8.3.3 В помещениях РЩ, ЩСН, ЩПТ, АСУ ТП и др. заземление должно быть выполнено в соответствии с п.10 настоящих Руководящих указаний.

8.3.4 ЗУ системы молниезащиты должно быть выполнено в соответствии с п.11 настоящих Руководящих указаний.

8.3.5 Конструктивное выполнение ЗУ ПС должно обеспечить нормируемые параметры, указанные в таблице 1, что должно быть подтверждено результатами расчетов.

8.3.6 При напряжении на ЗУ выше допустимого значения (см.п.3 табл.1) должны быть выполнены специальные мероприятия, указанные в п.8.2.8 настоящих Руководящих указаний.

8.3.7 Если нормируемые параметры ЗУ, указанные в п.1, 4, 5 табл.1 превышают допустимые значения должны быть проложены дополнительные проводники системы уравнивания потенциалов.

8.4 Подстанции с элегазовой изоляцией

8.4.1 Конструктивное выполнение ЗУ ПС с элегазовой изоляцией должно осуществляться в соответствии с рекомендациями п. 8.3 Настоящих руководящих указаний. Соединение открытых проводящих частей (корпусов и деталей) оборудования между собой производится по чертежам завода-изготовителя.

8.4.2 В помещениях распределительных устройств с элегазовым оборудованием прокладывают непрерывную стальную (медную) высокочастотную (ВЧ) сетку с шагом не более $2 \times 2 \text{ м}^2$, залитую бетоном, или металлические пластины, расположенные на одном или нескольких уровнях. В качестве сетки может применяться арматура железобетонной конструкции пола. ВЧ сетка присоединяется к закладным металлоконструкциям, на которых устанавливается оборудование. По периметру помещения с оборудованием КРУЭ про-

кладывают магистральный заземляющий проводник (шина) уравнивания потенциалов. К шине присоединяют закладные металлоконструкций, оборудование КРУЭ и ВЧ сетку.

Заземление оборудования КРУЭ выполняется в соответствии с заводскими чертежами. Для заземления оборудования КРУЭ оборудуют выводы от ВЧ сетки и закладных металлоконструкций, число которых должно быть не менее 2-х для каждого присоединения КРУЭ. Все оборудование КРУЭ соединяют между собой замкнутой шиной уравнивания потенциалов.

Корпус элегазового оборудования присоединяют к сети заземления у основания каждой опоры (кронштейна). Данные соединения выполняют при помощи не менее 2-х заземляющих проводников.

8.4.3 От магистрального заземляющего проводника к внешнему заземлителю прокладывают заземляющие проводники. Количество заземляющих проводников определяют расчетом, но не менее 4-х.

8.4.4 Для выравнивания потенциалов в помещении КРУЭ 10-20кВ корпуса ячеек КРУЭ должны быть присоединены к закладным металлоконструкциям и соединены между собой заземляющими проводниками (например, стальной полосой). Связи между рядами ячеек КРУЭ и внутренним контуром заземления выполняются с шагом не более 10м.

8.4.5 Для выравнивания потенциалов в камерах трансформаторов:

- внутри помещений трансформаторных (и автотрансформаторных) камер по периметру по стене прокладывается стальная полоса системы уравнивания потенциалов на высоте 0,5м от пола;
- на полу трансформаторной камеры выполняется сетка из стальной полосы с шагом не более 6х6м;
- корпус трансформатора присоединяется к точке пересечения проводников сетки для обеспечения растекания тока в 4 направлениях;
- в местах заземления нейтралей силовых трансформаторов прокладываются продольные и поперечные заземляющие проводники в четырех направлениях, соединенные с сеткой на полу трансформаторной камеры.

8.4.6 В помещениях РЩ, ЩСН, ЩПТ, АСУ ТП и др. заземление должно быть выполнено в соответствии с п.10 настоящих Руководящих указаний.

8.4.7 ЗУ системы молниезащиты должно быть выполнено в соответствии с п.11 настоящих Руководящих указаний.

8.4.8 Конструктивное выполнение ЗУ ПС должно обеспечить нормируемые параметры, указанные в таблице 1, что должно быть подтверждено результатами расчетов.

8.4.9 При напряжении на ЗУ выше допустимого значения (см.п.3 табл.1) должны быть выполнены специальные мероприятия, указанные в п.8.2.7 настоящих Руководящих указаний.

8.4.10 Если нормируемые параметры ЗУ, указанные в п.1, 4, 5 табл.1 превышают допустимые значения должны быть проложены дополнительные проводники системы уравнивания потенциалов.

8.5 Комплектные подстанции

8.5.1 Базовая конструкция ЗУ комплектной подстанции состоит из:

- сетки горизонтальных заземлителей, располагаемой на территории, занятой оборудованием;
- внешнего контура горизонтальных заземлителей, охватывающих территорию подстанции и концевые опоры всех ВЛ.

К базовой конструкции подсоединяются все естественные заземлители, включая системы «трос-опоры» всех ВЛ.

8.5.2 Сетка горизонтальных заземлителей разрабатывается для типичных схем расположения оборудования (для каждого из типов комплектных подстанций) и используется как типовая в аналогичных проектах. При её разработке следует учитывать соответствующие требования, изложенные в п.8.1 и п.8.2 настоящих Руководящих указаний. Обязательным элементом сетки должен быть замкнутый горизонтальный заземлитель, охватывающий площадь, занятую оборудованием, включая ЗРУ. Эту сетку допускается прокладывать на глубине 0,3 м.

8.5.3 Внешний контур горизонтальных заземлителей, охватывающий территорию подстанции и концевые опоры всех ВЛ, может иметь произвольную конфигурацию, зависящую от условий местности. Следует избегать острых углов, а при прямоугольной конфигурации контура не превышать отношения большей стороны к меньшей, равного 2. Противоположные стороны контура должны быть соединены горизонтальными заземлителями, прокладываемыми на глубине 1 м, как и заземлители самого контура.

8.5.4. Сетка, расположенная на территории, занятой оборудованием, должны быть соединена с горизонтальными заземлителями контура вертикальными перемычками не менее чем в 4-х местах. У входов и въездов на ПС по обеим сторонам от входа/въезда должны быть оборудованы наклонные заземлители, соединяющие внутреннюю сетку с внешним контуром.

8.5.5. При расчётах ЗУ комплектной подстанции в зависимости от тока короткого замыкания и электрических характеристик грунта корректируются лишь размеры внешнего контура. При этом следует учитывать отвод части тока КЗ грозозащитными тросами ВЛ 110 кВ и выше. При выявленной расчётом необходимости увеличения площади внешнего контура более 10000 м² рекомендуется применять вертикальные электроды по периметру контура для снижения напряжения на ЗУ и на территории ПС для снижений напряжений прикосновения.

8.5.6 Внешний контурный заземлитель с поперечными связями рекомендуется сооружать до начала строительно-монтажных работ. Его сооружение рекомендуется включать в состав строительно-монтажных работ. Заземляющая сетка на территории, занятой оборудованием, сооружается при монтаже оборудования комплектной ПС.

9 Конструктивное выполнение заземляющих устройств подстанций 6-35 кВ

9.1 Подстанции 6-35кВ, принадлежащие сети с изолированной или заземлённой через дугогасящий реактор или резистор нейтралью, могут быть выполнены с ОРУ или ЗРУ.

9.2 Конструктивное выполнение ЗУ с ОРУ должно быть выполнено в соответствии с рекомендациями п.8.2, а с ЗРУ в соответствии с рекомендациями п.8.3 настоящих Руководящих указаний.

9.3 В помещениях РЩ, ЩСН, ЩПТ, АСУ ТП и др. заземление должно быть выполнено в соответствии с п.10 настоящих Руководящих указаний.

9.4 ЗУ системы молниезащиты должно быть выполнено в соответствии с п.11 настоящих Руководящих указаний.

9.5 Конструктивное выполнение ЗУ ПС должно обеспечить нормируемые параметры, указанные в таблице 1, что должно быть подтверждено результатами расчетов. Нормируемые параметры ЗУ рассчитываются по значению токов двойного замыкания на землю.

9.6 Долговечность заземляющего устройства обеспечивается выполнением мероприятий, указанных в п. 8.1.2 и 8.1.3

10 Конструктивное выполнение заземляющих устройств в зданиях ОПУ, РЩ и вспомогательных сооружений

10.1 Внутри зданий (ГЩУ, РЩ и ОПУ), а также других зданий и сооружений, содержащих вторичное оборудование и системы связи, применяют замкнутую сеть заземления (систему уравнивания потенциалов). Магистраль заземления должны образовывать замкнутые контуры по внутренним периметрам помещений здания. Магистраль заземления, расположенные на разных отметках зданий, должны соединяться между собой не менее чем в 4-х точках.

10.2 К заземляющему устройству присоединяют все находящиеся в здании металлические конструкции (рамы, рельсы, балки, железобетонная арматура, кабельные лотки и каналы и т.д.).

Для заземления корпусов оборудования, экранов кабелей следует использовать систему уравнивания потенциалов здания в соответствии с ГОСТ Р 50571.10-96.

Соединения и присоединения заземляющих проводников, защитных проводников и проводников системы уравнивания и выравнивания потенциалов должны быть надежными, видимыми и контролируемыми и обеспечивать непрерывность электрической цепи. Соединения стальных проводников рекомендуется выполнять при помощи сварки. Допускается в помещениях и в наружных установках без агрессивных сред выполнять соединения заземляющих и нулевых защитных проводников другими способами, обеспечивающими требования ГОСТ 10434 «Соединения контактные электрические. Общие технические требования» ко 2-му классу соединений».

Соединения должны быть защищены от коррозии и механических повреждений. Для болтовых соединений должны быть предусмотрены меры против ослабления контакта.

10.3 Ряды рамных конструкций оборудования (шкафов, панелей) соединяют между собой проводниками с шагом не более чем 2 м. Каждый ряд рамной конструкции присоединяют к магистралям заземления не менее, чем в 4-х местах. Экраны кабелей и параллельные заземленные проводники присоединяют к шинам заземления (корпусам) шкафов/панелей. Внутреннее устройство заземления присоединяют к наружному контуру заземления не менее, чем в 4-х точках.

Присоединение к системе уравнивания потенциалов помещения осуществляют при помощи сварки или болтового соединения.

10.4 Выполнение системы заземления внутри шкафа состоит в том, чтобы создать эквипотенциальную плоскость, к которой подключаются короткими соединительными проводниками все устройства. Такой эквипотенциальной плоскостью внутри шкафа может служить проводящая задняя стенка (или специальная металлическая плоскость, возможно сетчатой структуры), к которой присоединяются все корпуса устройств и отдельные крепежные элементы (например, «DIN-рейки»).

Все подвижные и неподвижные элементы должны иметь не менее 2-х связей друг с другом (в том числе каждый элемент внутренней перегородки, «DIN-рейки», двери). Соединение с общей эквипотенциальной плоскостью выполняют либо при помощи гибкой связи, либо при помощи надежного контакта (контактная поверхность, освобожденная от покрытия или неокрашенная). Длина соединительных проводников должна быть не более 25 см.

Двери должны иметь механизмы, обеспечивающие электрический контакт с корпусом в закрытом состоянии по всему периметру двери.

Для заземления различных элементов, в том числе резервных жил вторичных цепей, должны быть предусмотрены шинки вдоль боковин, соединенные с корпусом шкафа.

10.5 Экраны вторичных кабелей следует заземлять с обоих концов.

Для заземления экранов рекомендуется использовать специальные зажимы или разъемы.

Заземленные с обоих концов экраны проверяются на термическую стойкость. Если контрольный кабель состоит из отрезков, разделенных клеммными шкафами, то на термическую стойкость проверяется каждый из этих отрезков, выходящих или находящихся на ОРУ, при условии ввода тока в точку заземления оборудования высокого напряжения, находящегося вблизи клеммного шкафа.

11 Конструктивное выполнение заземления молниезащитных устройств

11.1 Защита от грозовых перенапряжений РУ и ПС должна быть выполнена в соответствии с требованиями ПУЭ п.4.2.133-4.2.159. При проектировании грозозащиты ПС должны также учитываться требования РД 153-34.3-35.125-99(СО34.35.125-99), СО-153.34.21.122-2003 и РД 34.21.122-87.

Молниезащита ОРУ может быть выполнена стержневыми (отдельно стоящими или установленными на конструкциях) и тросовыми молниеотводами. В качестве естественных молниеотводов могут быть использованы высокие объекты: опоры ВЛ, прожекторные мачты, радиомачты и т.п.

Защита зданий закрытых РУ и ПС может быть выполнена с помощью стержневых молниеотводов или молниеприемной сетки.

11.2 От стоек конструкций ОРУ с молниеотводами должно быть обеспечено растекание тока молнии по магистралям заземления не менее чем в двух направлениях с углом не менее 90^0 между соседними. Кроме того, должно быть установлено не менее одного вертикального электрода длиной 3-5 м на каждом направлении, на расстоянии не менее длины электрода от места присоединения к магистрали заземления стойки с молниеотводом.

Место присоединения конструкции со стержневым или тросовым молниеотводом к ЗУ должно быть расположено на расстоянии не менее 15 м по магистралям заземления от места присоединения к нему Т/АТ, реакторов и конструкций КРУН 6-10 кВ. Расстояние в земле между точкой заземления молниеотвода и точкой заземления нейтрали или бака Т/АТ должно быть не менее 3 м.

Допускается присоединение молниеотводов, установленных на конструкциях, к ЗУ на расстоянии менее 15м по магистралям заземления, если выполняются условия п.4.2.36 ПУЭ. На трансформаторных порталах, порталах шунтирующих реакторов и конструкциях ОРУ, удаленных от трансформаторов или реакторов по магистралям заземления на расстоянии менее 15 м, молниеотводы могут устанавливаться при эквивалентном удельном сопротивлении земли в грозовой сезон не более 350 Ом·м и при соблюдении следующих условий:

- непосредственно на всех выводах обмоток 3-35 кВ трансформаторов или на расстоянии не более 5 м от них по ошиновке, включая ответвления к защитным аппаратам, должны быть установлены соответствующие ОПН 3-35 кВ или РВ;

- должно быть обеспечено растекание тока молнии от стойки конструкции с молниеотводом по трем-четырем направлениям с углом не менее 90^0 между ними;

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

- на ПС с высшим напряжением 20 и 35 кВ при установке молниеотвода на трансформаторном портале сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом без учета заземлителей, расположенных вне контура заземления ОРУ;

- заземляющие проводники РВ или ОПН и силовых трансформаторов рекомендуется присоединять к заземляющему устройству ПС поблизости один от другого или выполнять их так, чтобы место присоединения РВ или ОПН к заземляющему устройству находилось между точками присоединения заземляющих проводников портала с молниеотводом и трансформатора. Заземляющие проводники измерительных трансформаторов тока необходимо присоединить к заземляющему устройству РУ в наиболее удаленных от заземления РВ или ОПН местах.

11.3 Отдельно стоящие молниеотводы рекомендуется выполнять с обособленными заземлителями с сопротивлением не более 80 Ом при импульсном токе 60 кА.

Расстояние S_3 , м, между обособленным заземлителем молниеотвода и заземляющим устройством ОРУ (ПС) должно быть равным (но не менее 3 м):

$$S_3 > 0,2R_u,$$

где R_u - импульсное сопротивление заземления, Ом, отдельно стоящего молниеотвода.

Заземлители отдельно стоящих молниеотводов в ОРУ могут быть присоединены к заземляющему устройству ОРУ (ПС) при соблюдении указанных 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) и конструкций КРУН - 6-10 кВ. В месте присоединения заземлителя отдельно стоящего молниеотвода к заземляющему устройству ОРУ 35-150 кВ магистрали заземления должны быть выполнены по двум направлениям с углом не менее 90° между ними.

11.4 Заземлители молниеотводов, установленных на прожекторных мачтах, должны быть присоединены к заземляющему устройству ПС. В случае несоблюдения условий, указанных в п.11.2 дополнительно к общим требованиям присоединения заземлителей отдельно стоящих молниеотводов должны быть соблюдены следующие требования:

- в радиусе 5 м от молниеотвода следует установить три вертикальных электрода длиной 3-5 м;

- 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 РВ или ОПН.

При использовании прожекторных мачт в качестве молниеотводов электропроводку к ним на участке от точки выхода из кабельного сооружения до мачты и далее по ней следует выполнять кабелями с металлической оболочкой либо кабелями без металлической оболочкой в трубах. Около конструкции с молниеотводом эти кабели должны быть проложены непосредственно в земле на протяжении не менее 10 м.

В месте ввода кабелей в кабельное сооружение металлическая оболочка кабелей, броня и металлическая труба должны быть соединены с заземляющим устройством ПС.

11.5 Тросовые молниеотводы ВЛ 110 кВ и выше, как правило, следует присоединять к заземленным конструкциям ОРУ (ПС).

От стоек конструкций ОРУ 110-220 кВ, к которым присоединены тросовые молниеотводы, должны быть выполнены магистрали заземления не менее чем по двум-трем направлениям с углом не менее 90° между ними.

Тросовые молниеотводы, защищающие подходы ВЛ 35 кВ, разрешается присоединять к заземленным конструкциям ОРУ при эквивалентном удельном сопротивлении земли в грозовой сезон: до 750 Ом·м -независимо от площади заземляющего контура ПС; более 750 Ом·м -при площади заземляющего контура ПС 10 000 м² и более.

От стоек конструкций ОРУ 35 кВ, к которым присоединены тросовые молниеотводы, магистрали заземления должны быть выполнены не менее чем по двум-трем направлениям с углом не менее 90° между ними. Кроме того, на каждом направлении должно быть установлено по одному вертикальному электроду длиной 3-5 м на расстоянии не менее 5 м.

Сопротивление заземлителей ближайших к ОРУ опор ВЛ напряжением 35 кВ не должно превышать 10 Ом.

11.6 Расчеты потенциалов на ЗУ при ударе молнии в молниеотвод следует проводить с помощью компьютерной программы. При разработке проекта техперевооружения распределение потенциалов на ЗУ рекомендуется определять на этапе предпроектных изысканий экспериментально методом имитационного моделирования в соответствии с СО 34.35.311.2004.

11.7 В тех случаях, когда для принятых условий не выполняются требования по уровням импульсных помех или по условию обратного перекрытия с ЗУ на кабели должно быть применено одно из указанных ниже мероприятий:

- снижение импульсного сопротивления ЗУ молниеотвода, путём прокладки дополнительных заземлителей и заземляющих проводников;
- изменение трассы прокладки вторичных кабелей;
- изменение места размещения молниеотводов (токоотводов).

После реализации указанных мероприятий должны быть повторно проведены расчеты.

11.8 При применении в качестве молниеприемника сетки на крышах зданий рекомендуется использовать металлические конструкции зданий в качестве токоотводов, заземляющих проводников и заземлителей системы молниезащиты.

Для зданий с железобетонными конструкциями необходимо максимально использовать естественные элементы. В качестве молниезащитных заземлителей использовать железобетонные фундаменты зданий и внешние заземлители ПС. В качестве токоотводов использовать стальные каркасы зданий (стальные колонны, фермы и балки). Молниеприемную часть зданий выполнить из искусственных молниеприемников в виде «сетки» и (или) стержневых молниеприемников в соответствии с требованиями нормативных документов. Обеспечить электрическую непрерывность стального каркаса и фундамента здания следующими способами:

- не менее 50% соединений арматурных стержней фундамента между собой выполнить сваркой или вязкой проволокой;
- выполнить сварочное соединение всех стальных колон здания с арматурой его железобетонного фундамента;
- выполнить сварочное или болтовое соединение всех стальных колон здания с расположенными под крышей поперечными фермами;
- выполнить сварочное или болтовое соединение поперечных ферм с продольными балками.

Если в здании применяются не стальные, а железобетонные колонны, то в каждой колонне по всей ее высоте необходимо обеспечить электрическую непрерывность не менее 2-х арматурных стержней, которые и следует присоединять к арматуре фундамента и фермам. Часть расположенных по периметру здания стальных колонн присоединить проводниками к внешнему заземлителю электросетевого объекта. Среднее расстояние между присоединяемыми к заземлителю колоннами должно быть не более 20 м. Соединить горизонтальные молниеприемные проводники, прокладываемые по периметру крыши, с колоннами здания. Расстояние между точками присоединений – не более 20 м.

11.9 Гидроизоляцию фундамента здания должна быть выполнена битумными или битумно-латексными покрытиями. Применение полимерных покрытий при использовании фундамента здания в качестве молниезащитного заземлителя не допускается.

11.10 При наличии нескольких зданий, между которыми проложены вторичные кабели, необходимо прокладывать дополнительные заземлители (параллельные заземляющие проводники) для снижения разности потенциалов на ЗУ и токовой нагрузки на экраны кабелей. Шаг сетки из заземлителей (количество параллельных проводников) определяется расчетом.

11.11 Для кирпичных зданий выполняют искусственную систему уравнивания потенциалов. Выбор количества и сечения проводников определяют расчетом.

На всех этажах обеспечивают соединения металлических конструкций зданий с внутренней системой уравнивания потенциалов, а на отметке 0м –

соединения с внешним заземляющим устройством.

11.12 Долговечность элементов заземляющего устройства молниезащиты обеспечивается выполнением мероприятий, указанных в п. 8.1.2 и п. 8.1.3.

12 Конструктивное выполнение заземляющих устройств объектов связи

12.1 Заземление помещений связи выполняют в соответствии с требованиями стандарта ANSI/TIA/EIA-607-1994.

12.2 Аппаратура связи должна быть присоединена к заземляющему устройству здания посредством изолированного заземляющего проводника. Заземляющий проводник должен быть изготовлен из меди, и иметь сечение не менее 60 мм^2 .

Заземляющий проводник присоединяют с одной стороны к главной заземляющей шине вводного распределительного устройства здания (щита собственных нужд), гальванически связанной с глухозаземлённой нейтралью трансформатора собственных нужд и металлоконструкциями здания. С другой стороны заземляющий проводник присоединяют к установленной в аппаратной шине заземления аппаратуры связи.

12.3 Блоки аппаратуры связи должны присоединяться к главной заземляющей шине аппаратной посредством заземляющих перемычек. Все металлические лотки телекоммуникационной кабельной системы, расположенные в аппаратной должны быть присоединены шлейфами к шине заземления аппаратной.

12.4 Шина заземления распределительного щитка аппаратуры связи, получающей питание от сети переменного тока или корпус щитка, должны быть соединены шлейфом с шиной заземления аппаратной.

12.5 Система заземления электрических сетей переменного тока 0,38 кВ в помещении аппаратной должна удовлетворять требованиям TN-S системы, т. е. не допускается применение объединённого защитного и нулевого рабочего PEN-проводника.

13 Мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости

13.1 Нормируемые параметры ЗУ, указанные в п.3-6, 8 табл.1, определяют выполнение условий обеспечения ЭМС вторичного оборудования на ПС в отношении ЗУ.

13.2 Для обеспечения ЭМС при выполнении ЗУ подстанции с ОРУ дополнительно к требованиям, установленным в ПУЭ гл.1.7, следует выполнить следующие мероприятия:

- уменьшить неэквипотенциальность ЗУ (до допустимого значения не более 2кВ), выполнив сетку заземлителей с меньшим шагом, увеличив сечение заземлителей и заземляющих проводников, или применив в качестве материала заземлителей и заземляющих проводников медь вместо стали;

- снизить импульсное сопротивление заземления силового оборудования, оборудовав не менее 2-х заземляющих проводников, увеличив плотность сетки вблизи силового оборудования и установив дополнительные вертикальные заземлители;

- снизить токи в экранах кабелей, проложив дополнительные связи ОРУ с РЩ (ОПУ);

- снизить импульсное сопротивление заземления молниеотводов, увеличив плотность сетки и установив дополнительные вертикальные или глубинные заземлители.

13.3 В помещениях распределительных устройств с элегазовым оборудованием для обеспечения ЭМС необходимо дополнительно проложить высокочастотную сетку. В качестве сетки может применяться арматура железобетонной конструкции пола.

13.4 Внутри зданий (ГЩУ, РЩ и ОПУ), а также других зданий и сооружений, содержащих вторичное оборудование и системы связи, должна быть применена замкнутая сеть заземления (система уравнивания потенциалов) в соответствии с п.10 настоящих Руководящих указаний.

Экраны вторичных кабелей следует заземлять с обоих концов.

Для заземления экранов рекомендуется использовать специальные зажимы или разъемы.

13.5 Помещения, в которых находится микропроцессорная техника, должны иметь антистатические напольные покрытия. Заземление этих покрытий должно осуществляться в соответствии с инструкцией изготовителя покрытия. Стеkanie зарядов с покрытия в землю также обеспечивается за счёт естественного заземления (контакта с железобетоном и цементной стяжкой).

13.6 В тех случаях, когда для принятых решений по молниезащите в соответствии с ПУЭ п.4.2.133-4.2.159 не выполняются требования по обеспечению ЭМС должно быть применено одно из указанных ниже мероприятий:

- снижение импульсного сопротивления ЗУ молниеотвода, путём прокладки дополнительных заземлителей и заземляющих проводников;
- изменение трассы прокладки вторичных кабелей;
- изменение места размещения молниеотводов (токоотводов).

При применении в качестве молниеприемника сетки на зданиях рекомендуется использовать металлические конструкции зданий в качестве токоотводов, заземляющих проводников и заземлителей системы молниезащиты.

При наличии нескольких зданий, между которыми проложены вторичные кабели, необходимо прокладывать дополнительные заземлители (параллельные заземляющие проводники) для снижения разности потенциалов на ЗУ и токовой нагрузки на экраны кабелей.

14 Особенности проектирования заземляющих устройств при техническом перевооружении, реконструкции и расширении подстанции

14.1 При техперевооружении, реконструкции и расширении подстанции должен быть выполнен проект реконструкция заземляющего устройства в соответствии с положениями, изложенными в настоящих РУ.

14.2 Исходные данные для проектирования должны быть получены на основании обследования существующего ЗУ в соответствии с РД 153-34.0-20.525-00.

К исходным данным относятся:

- Исполнительная схема существующего ЗУ.
- Электрические модели грунта для расчёта ЗУ, полученные на основе проведённых измерений методом ВЭЗ. Рекомендуется выполнить уточнение моделей путем сравнения расчётных и измеренных параметров существующего ЗУ. Допускается для расчёта различных параметров иметь различные модели, принципиально не противоречащие друг другу.
- Другие исходные данные в соответствии с разделом 7 настоящих РУ.

14.3 В качестве основы для проектируемой реконструкции ЗУ должна быть использована исполнительная схема существующего ЗУ.

ЗУ проектируется как новое в случаях:

- отсутствия единой конструкции ЗУ на ОРУ или ПС (выполнено локальное заземление каждого оборудования);
- коррозионного износа горизонтальных заземлителей с потерей более 50 % сечения и не проходящих по условиям термической стойкости.

Демонтаж элементов существующего ЗУ не предусматривается.

14.4 При расширении ПС существующее ЗУ следует принимать за базовую конструкцию, в которую включаются дополнительные элементы, вызванные расширением ПС (ЗУ новых ячеек).

14.5 При выполнении проекта реконструкции (модернизации) ЗУ должны быть обеспечены нормируемые параметры ЗУ (см. табл.1).

В проекте реконструкции следует предусмотреть следующие мероприятия:

- усиление заземляющих проводников в соответствии с возросшими токами короткого и двухфазного замыканий;
- установку дополнительных вертикальных электродов в местах повышенных импульсных потенциалов и повышенных напряжений прикосновения;
- прокладку дополнительных горизонтальных заземлителей для снижения разностей потенциалов по ЗУ;
- расширения ЗУ за пределы ограждения ПС в случае установки охранной сигнализации, освещения и других электрифицированных объектов, связанных с ограждением ПС;
- включение в состав ЗУ железнодорожных путей перекачки трансформаторов в соответствии с 8.2.4.

14.6 Независимо от этапа реконструкции (расширения, модернизации) ПС ЗУ на каждом этапе должно в полной мере соответствовать требованиям настоящих РУ.

15 Методические указания по расчету параметров заземляющих устройств

15.1. Общие положения

Расчет параметров ЗУ рекомендуется проводить с помощью специализированного программного обеспечения (см. Приложение В).

Для определения параметров ЗУ должны быть проведены расчеты распределения токов и потенциалов по элементам заземляющего устройства, а также потенциалов в грунте и на поверхности грунта в следующих режимах:

- установившийся режим короткого замыкания на подстанции (на всех ОРУ) или в примыкающей электрической сети с эффективно заземленной нейтралью;
- установившийся режим двойного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью, или нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор;
- переходного режима короткого замыкания;
- однофазное замыкание в электрической сети, содержащей дугогасящий реактор или резистор, устанавливаемые на проектируемой ПС;
- ввод высокочастотного импульсного тока в ЗУ при коммутациях и КЗ;
- удары молнии в молниеотводы, расположенные на территории ПС.

По результатам расчета должны быть определены сопротивление ЗУ, напряжение на ЗУ, напряжения прикосновения, термическая стойкость искусственных и естественных заземляющих проводников, заземленных экранов и оболочек кабелей, напряжения, прикладываемые к изоляции кабелей и техническим средствам.

Расчеты рекомендуется выполнять по следующему алгоритму:

А. В программу расчета следует внести эквивалентную схему замещения базовой конфигурации ЗУ и информацию об электрических характеристиках грунта.

В. В определенные точки ЗУ (предполагаемые места КЗ, места заземления нейтралей Т(АТ), молниеотводы) следует ввести расчетные значения токов.

Г. Произвести расчет распределения токов и потенциалов по элементам заземляющего устройства, а также потенциалов в грунте и на поверхности грунта.

Д. По результатам расчета определить значения параметров ЗУ. При превышении допустимых значений нормируемых параметров выполнить корректировку схемы ЗУ с учетом рекомендаций настоящих Руководящих указаний.

Е. Произвести повторный расчет для скорректированной схемы.

Ж. Пункты Д-Е повторить до достижения всех параметров ЗУ до нормируемых значений.

Расчеты следует проводить для случаев ввода тока на каждом ОРУ ПС. Число расчетных мест ввода тока КЗ – от 2 до 8 в зависимости от размеров ОРУ (по площади или количеству ячеек).

Число расчетных мест ударов молнии – все молниеотводы вблизи кабельных каналов, лотков, оборудования со вторичными цепями.

Точки ввода высокочастотного импульсного тока при коммутациях и КЗ следует выбирать в местах установки силовых Т/АТ, ректоров ТН и ТТ - на каждом ОРУ ПС от 2 до 8 в зависимости от размеров ОРУ.

Для ПС с площадью до 1000 м² или при расположении ПС грунтах с высоким удельным сопротивлением особое внимание должно быть уделено введению в расчетную схему естественных заземлителей:

- система трос-опора, при наличии заземленного на ПС и опорах грозотроса,
- фундаменты зданий и оборудования,
- скважины, трубопроводы,
- прочие металlosвязи с внешними объектами.

15.2 Расчет параметров ЗУ подстанции с эффективно заземлённой нейтралью.

15.2.1 В режиме установившегося однофазного КЗ на подстанции с эффективно заземлённой нейтралью на расчетной схеме ЗУ (для каждого РУ) следует задавать:

- ввод полного тока КЗ в предполагаемое место КЗ;
- ввод токов нейтралей силовых Т (АТ) в места их заземления.

Токи должны задаваться со своими фазами.

15.2.2 Для расчетов наибольших значений напряжения прикосновения рекомендуется производить расчет для ввода тока в точки ЗУ, находящиеся на периферии ОРУ и наиболее удаленные от мест расположения силовых Т/АТ. Выбранное место КЗ должно быть вблизи рабочих мест.

15.2.3 Для расчетов наибольших значений напряжения между какой-либо точкой заземления силового оборудования и точками ЗУ в месте расположения вторичного оборудования, к которому приходят контрольные кабели от силового оборудования, рекомендуется производить расчет для ввода тока в точки ЗУ, находящиеся на периферии ОРУ и наиболее удаленные от мест расположения РЩ.

15.2.4 Для расчетов наибольших значений токов в заземленных с двух сторон экранов и брони кабелей рекомендуется производить расчет для ввода тока в точки ЗУ оборудования, находящегося вблизи РЩ (ОПУ, ГЩУ). Во всех случаях следует проверять на термическую стойкость участки кабелей, расположенные между электрическим аппаратом и клеммным шкафом при вводе тока в точку заземления аппарата.

15.2.5 После проведения расчета должен быть проведен анализ результатов расчета в следующем порядке.

По результатам расчета должны быть определены:

- напряжение на ЗУ;
- потенциал в месте КЗ;

- потенциал в местах установки вторичного оборудования (ОПУ, РЩ, ГЩУ и т.п.);
- напряжение прикосновения вблизи места КЗ;
- токи в экранах (броне, оболочке) кабелей.

15.2.6 Сечение заземляющих проводников и заземлителей следует выбирать по условию тепловой устойчивости (см. п.7 табл.1) с учётом запаса на коррозию (см. п. 15.2.7).

Допустимое сечение заземляющего проводника по термической стойкости $S_{\text{ты}}$ определяют по формуле:

$$S_{\text{ты}} = I_{\text{кз}} S_{1\text{кА}} q$$

$S_{1\text{кА}}$ – допустимое сечение для тока в 1 кА продолжительностью воздействия 1 секунда;

q – коэффициент, учитывающий продолжительность воздействия тока.

$$q = \begin{cases} \sqrt{t + 0,09}, & t < 1 \text{ с} \\ 0,8\sqrt{t}, & t > 1 \text{ с} \end{cases}$$

Значения $S_{1\text{кА}}$ приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Допустимое сечение $S_{1\text{кА}}$ для проводников при токе 1 кА длительноностью 1 с.

Тип проводника	$S_{1\text{кА}},$ мм ² /кА
Горизонтальный стальной заземлитель	14,0
Заземляющий проводник из стали, подсоединенный к аппарату	16,5
Горизонтальный медный заземлитель	4,6
Заземляющий проводник из меди, подсоединенный к аппарату	5,4
Арматура железобетона	30,3

15.2.7. При использовании стальных заземлителей и заземляющих проводников к расчётному значению сечения, выбранного по термической стойкости ($S_{\text{ты}}$), добавляется сечение, которое будет потеряно стальным заземлителем из-за коррозии в месте его установки ($S_{\text{кор}}$) за время дальнейшей эксплуатации электроустановки (t). Таким образом, полная площадь сечения стального заземляющего проводника и заземлителя должна быть равна

$$S_{\text{полн}} = S_{\text{ты}} + S_{\text{кор}}(t);$$

Если $\delta_K(t)$ – глубина коррозии стального искусственного заземлителя или заземляющего проводника круглого сечения для требуемого срока службы электроустановки - (t), мм, то добавка к сечению по термической стойкости заземлителя по условиям коррозии составит:

$$S_{\text{кор}}(t) = \pi \cdot \delta_K(t) \cdot \left(\sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{ты}}}{\pi}} + \delta_K(t) \right)$$

Соответственно диаметр искусственного заземлителя с учётом потерь на коррозию будет равен:

$$D_{из} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{полн}}{\pi}}.$$

Это расчётное значение диаметра увеличивается до ближайшего номинального диаметра прутка.

Для заземлителя и заземляющего проводника из полосовой стали на значение $2 \delta_k(t)$ увеличивается толщина полосы, и затем выбирается номинальная толщина полосы с ближайшим большим значением.

Значение $\delta_k(t)$ определяется расчётом (Приложение П.А.6). В зонах повышенной коррозии (К₀-К₃, см. П.А.6) рекомендуется применять сталь только круглого сечения.

При расположении площадки ЗУ вблизи железной дороги, электрифицированной на постоянном токе, и выявлении поля блуждающих постоянных токов выполняется проект электрохимической (дренажной) защиты подземных сооружений ПС от коррозии блуждающими токами.

15.2.8 Расчёт температуры нагрева медных и алюминиевых экранов контрольных кабелей при коротких замыканиях в электроустановках напряжением 110 кВ и выше при заземлении экранов с двух сторон проводится по выражению:

$$\Delta\Theta = 7 \cdot \left(\frac{U_{нз}}{L} \right)^{1,5} \cdot \sqrt{\tau}, \text{ где}$$

$\Delta\Theta$ - нагрев экрана кабеля (в °С),

$U_{нз}$ – приложенное к заземлённым концам экрана напряжение, обусловленное неэквипотенциальностью заземляющего устройства (В),

L - длина рассчитываемого участка кабеля, (м)

τ – время отключения короткого замыкания, (сек).

Наибольшие температуры нагрева бывают у участков кабелей на ОРУ от аппарата до клеммного шкафа (шлейфовые заходы) при вводе тока КЗ в точку заземления аппарата. Эти участки рассчитываются в первую очередь.

Если температура нагрева экранов кабелей превышает нормированное значение (см. п.5 табл.1), следует выполнить мероприятия по снижению токов в экранах кабелей при КЗ. Для этого прокладывают дополнительные связи между аппаратом и клеммным шкафом, между базовой конструкцией ЗУ и РЩ (ОПУ, ГРЩ) и т.д.

15.2.9 Если полученная разность потенциалов, прикладываемая к изоляции вторичного кабеля, превышает нормируемое значение, следует выполнить одно из следующих мероприятий:

- увеличить сечение заземляющих проводников и заземлителей,
- проложить дополнительные заземлители между периферией данного ОРУ и местами расположения ОПУ (РЩ) и Т (АТ).

15.2.10 Определение напряжения прикосновения следует выполнять с учетом сопротивлений тела человека и основания. Сопротивление основания

должно быть определено с учетом обустройства верхнего слоя грунта (глина, трава, песок, щебень, асфальт).

Если напряжение прикосновения на территории (вне рабочих мест) превышает нормируемое значение, следует выполнить одно из следующих мероприятий:

- уменьшить шаг сетки ЗУ (проложить дополнительные горизонтальные заземляющие проводники),
- произвести подсыпку щебнем.

Если напряжение прикосновения на рабочем месте превышает нормируемое значение даже с учетом подсыпки, на рабочем месте следует выполнить выравнивающую сетку. Если выявлена значительная разность потенциалов между оборудованием и опорной точкой ЗУ, напряжение прикосновения может быть также снижено путём прокладка дополнительных магистральных заземляющих проводников от данного оборудования к опорной точке.

15.2.11 Если напряжение на ЗУ превышает норму, следует снижать сопротивление ЗУ.

Снижения сопротивления ЗУ можно достичь следующими способами:

- при наличии низкоомных подстилающих слоев грунта следует применять большее количество вертикальных электродов, либо увеличивать их длину. При большой глубине залегания низкоомных грунтов следует рассмотреть рациональность применения глубинных электродов,
- при малой площади ПС следует рассмотреть применение ЗУ большей площади, выходящего за территорию ПС,
- при наличии локальных территорий с пониженным сопротивлением грунта или водоемов, следует рассмотреть выполнение выносного ЗУ,

Если повышенный потенциал вызван значительной неэквипотенциальностью ЗУ, то применяются соответствующие мероприятия для снижения возникающих разностей потенциалов.

15.3 Расчет параметров ЗУ при установившемся режиме двойного КЗ на землю.

Для сети с изолированной нейтралью расчетным случаем является двойное замыкание на землю. В этом случае необходимо выбрать два места ввода тока, наиболее удаленных друг от друга в пределах территории, занимаемой этой сетью. При наличии токоограничивающих реакторов в этой сети расчет рекомендуется производить отдельно для участка сети с максимальным током КЗ (до реакторов) и для участка с максимальным разномом точек этой сети. См. также п. 8.2.7.

В выбранные места двойного КЗ на землю следует задать ввод тока (с различными фазами) и выполнить расчет.

15.4 Расчет параметров ЗУ для переходного режима КЗ и коммутаций.

При расчете переходного режима КЗ и коммутаций на расчетной схеме ЗУ следует задать ввод высокочастотного импульсного тока в предполагаемое место КЗ или коммутируемого аппарата. Параметры импульсного тока

рекомендуется определить расчетом переходного процесса в первичной схеме с помощью компьютерной программы.

Расчет распределения потенциалов рекомендуется производить для точек ЗУ, в местах расположения Т/АТ, ТТ, ТН. Расчет должен проводиться с учетом присоединения к ЗУ экранов контрольных кабелей.

После проведения расчета выполняется анализ результатов расчета.

Если ВЧ потенциал в месте КЗ превышает нормируемое значение, то рекомендуется выполнить следующие мероприятия:

- при двух и менее отходящих от оборудования горизонтальных заземлителей следует проложить дополнительные горизонтальные заземляющие проводники;

- на каждом отходящем горизонтальном заземлителе установить вертикальные электроды длиной 5 м на расстоянии 5 м от оборудования.

15.5 Расчёт ЗУ при однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью, содержащей дугогасящий реактор или резистор.

Расчёту подлежат ЗУ, к которым подсоединены дугогасящие реакторы или/и резисторы. За расчётный ток принимается ток, равный 125% номинального тока присоединённого к ЗУ наиболее мощного из этих аппаратов. Должны быть выполнены расчёты напряжения на ЗУ и напряжений прикосновения. В случае превышения этими величинами нормируемых значений используются меры, описанные в 14.2 и 14.3.

15.7 Расчет ЗУ при ударах молнии.

При расчете удара молнии на расчетной схеме ЗУ следует задать - ввод импульсного тока молнии в молниеприемник;

Форма тока молнии – стандартная 10/350 мкс, амплитуда 100 кА.

В качестве мест ввода тока выбираются молниеприемники, расположенные вблизи трасс прокладки кабелей вторичных цепей и мест установки оборудования, к которым присоединяются такие кабели.

После проведения расчета следует выполнить анализ результатов расчета.

Если градиенты потенциала вблизи молниеотвода превышает нормируемые значения, то производят следующие мероприятия:

- на каждом отходящем горизонтальном заземлителе устанавливают дополнительные вертикальные электроды длиной 5 м на расстоянии 10 м от оборудования.

- увеличивают расстояние от молниеприемника до кабелей.

Приложение А

Справочные материалы

П.А.1 Предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам (ГОСТ 12.1.038-82).

В таблицах П.А.1-П.А.3 даны зависимости предельно допустимых уровней напряжения прикосновения в зависимости от времени воздействия для нормальных и аварийных режимов.

Таблица П.А.1 - Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, при нормальном (неаварийном) режиме (продолжительность воздействия не более 10 мин в сутки)

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный 50 Гц	2,0	0,3
Постоянный	8,0	1,0

Примечание: Для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25°С) и влажности (более 75%) приведенные в таблице значения должны быть уменьшены в три раза.

Таблица П.А.2 - Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения при аварийном режиме электроустановок, напряжением до 1 кВ с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1 кВ с изолированной нейтралью

	Предельно допустимое напряжение прикосновения U, В											
	Время воздействия t, с	0,01 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0 Св 1,0
Переменный 50 Гц		650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50 36
Постоянный		650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200 40

Таблица П.А.3- Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения при аварийном режиме электроустановок с частотой тока 50 Гц, напряжением выше 1000 В, с эффективным и глухим заземлением нейтрали

Продолжительность воздействия t, с	Предельно допустимый уровень напряжения прикосновения U, В
До 0,1	500
0,2	400
0,5	200
0,7	130
1,0	100
Св. 1,0 до 5,0	65

Предельно допустимые значения напряжения шага в ГОСТ 12.1.038-82 не установлены. На практике в качестве допустимого значения напряжения шага принимают напряжение прикосновения.

В российских нормативных документах не установлены предельно допустимые значения импульсных (при ударе молнии) напряжений прикосновения. Согласно стандар-

ту МЭК 1662 предельно допустимое значение энергии импульса, при котором вероятность возникновения вентрикулярной фибрилляции не превышает 2%, составляет 6 Дж. При этом напряжение прикосновения не должно превышать 6 кВ.

П.А.2 Определение удельного электрического сопротивления грунта

Характеристики электрической структуры грунта необходимы для расчета параметров заземляющего устройства с учетом наиболее неблагоприятных климатических условий.

Для определения удельного электрического сопротивления грунта проводят измерения по методу вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Метод ВЭЗ позволяет выявить электрическую неоднородность структуры грунта – число и толщину слоев с различными значениями удельного электрического сопротивления грунта.

Перед началом измерений на территории объекта выбирают площадку, свободную от подземных коммуникаций (трубопроводы, бронированные кабели и т. п.) и металлоконструкций, влияющих на результаты измерений.

В центре площадки на поверхности земли по одной прямой линии устанавливают четыре электрода, и собирают электрическую схему, представленную на рис.П.А.1. В качестве электродов применяют стальные неокрашенные стержни. Расстояние MN между потенциальными электродами выбирают из условия: $MN < AB/3$. Глубина погружения потенциальных электродов b должна удовлетворять условию: $b < MN/6$. Глубина погружения токовых электродов d должна удовлетворять условию $d < AB/6$.

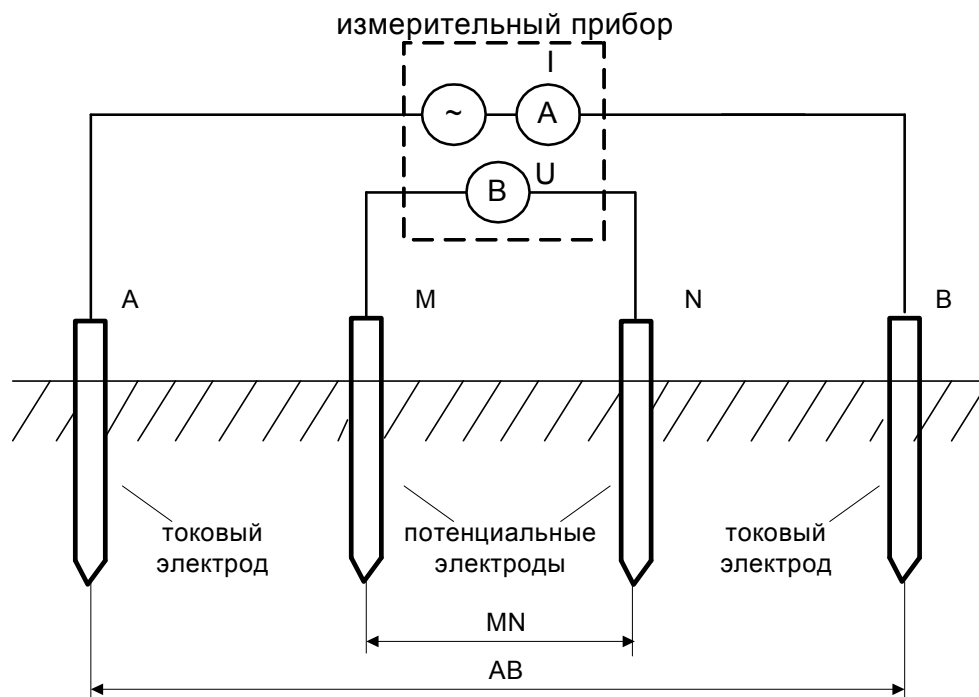


Рис.П.А.1 Схема измерительной цепи для определения значений удельного сопротивления грунта

Включают источник тока генерирующего блока прибора, и измеряют значения выходного тока прибора I и разности потенциалов U между потенциальными электродами. Повторяются следующие измерения при других значениях AB . Расстояния AB и MN рекомендуется увеличивать в последовательности, указанной в таблице П.А.4.. При уменьшении измеряемой величины U до значения порога чувствительности вольтметра необходимо увеличить расстояние MN и повторить измерения при том же расстоянии AB , после чего расстояние AB увеличивать далее. Результаты измерений заносятся в таблицу П.А.4.

Таблица П.А.4 - Результаты измерений для определения характеристик электрической структуры грунта по методу ВЭЗ.

№ измерения	$AB/2$, м	MN , м	k , м	I , мА	U , мВ	$R_{каж.} = U/I$	$\rho_{каж.}$, Ом*м
1	1	0,5	5,890				
2	2	0,5	24,74				
3	3	0,5	56,16				
4	3	2	12,57				
5	4,5	2	30,24				
6	6,0	2	54,98				
7	9,0	2	125,7				
8	15	2	351,9				
9	15	10	62,83				
10	25	2	980,2				
11	25	10	188,5				
12	40	10	494,8				
13	65	10	1319				
14	65	40	300,4				
15	100	10	3134				
16	100	40	754,0				

Для каждого измерения определяют «кажущееся» значение удельного сопротивления грунта $\rho_{каж.}$ по формуле (следует отметить, что многие приборы измеряют не падение напряжения U между потенциальными электродами, а значение эквивалентного сопротивления $R_{каж.} = U/I$):

$$\rho_{каж.} = R_{каж.} \cdot k = \frac{U}{I} \cdot k,$$

где k – коэффициент установки, приведённый в табл. 3. для каждого из сочетаний разносов электродов.

Результаты расчетов заносятся в таблицу 3. По результатам измерений в билогарифмических координатах строят кривую ВЭЗ – зависимость «кажущегося» удельного сопротивления грунта от полуразноса токовых электродов $AB/2$. В результате интерпретации кривых ВЭЗ получают многослойную модель грунта. Если размеры выбранной площадки на территории объекта ограничены, то измерения повторяют за пределами территории объекта. В этом случае для верхних слоев грунта принимают результаты измерений на территории объекта, а для нижних слоев – за пределами объекта.

При проведении расчетов с помощью компьютерных программ можно применять двухслойную модель грунта. Методика приведения многослойного грунта к двухслойной модели следующая.

Полученная экспериментально кривая ВЭЗ – зависимость удельного сопротивления грунта ρ от половины расстояния между токовыми электродами D сопоставляется с теоретическими кривыми «кажущегося» значения ρ для двухслойного грунта, рассчитываемыми по формуле:

$$\rho = \rho_1 \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \right)^n \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{4nh}{D} \right)^2 \right)^3}} \right]$$

h – глубина раздела слоев, м; ρ_1, ρ_2 – удельное сопротивление грунта верхнего и нижнего слоев соответственно, Ом*м.

Значения h, ρ_1, ρ_2 , при которых теоретическая кривая наиболее близка к кривой ВЭЗ, принимаются, соответственно, в качестве значений толщины верхнего слоя грунта и удельного сопротивлений верхнего и нижнего слоев грунта. Определение значений h, ρ_1, ρ_2 может быть проведено с помощью численных методов высшей математики, например, методом наименьших квадратов.

Для приведения многослойной модели грунта к двухслойной может быть применен, так называемый, метод палеток (см. литературу /6/ Приложение Г).

В таблице П.А.5 приведены сведения об удельном сопротивлении различных грунтов, необходимые для проведения расчетов на основании данных о геоподоснове.

Таблица П.А.5- Рекомендуемые расчетные значения удельного электрического сопротивления

Слой земли	Сопротивление земли, Ом*м
Песок (при температуре выше 0° С): сильно увлажненный грунтовыми водами умеренно увлажненный влажный слегка влажный сухой	10-60 60-130 130-400 400-1500 1500-4200
Суглинок: сильно увлажненный грунтовыми водами (при температуре выше 0° С) промерзший слой (при температуре -5° С)	10-60 60-190
Глина (при температуре выше 0° С)	20-60
Торф: при температуре около 0° С при температуре выше 0° С	40-50 1040
Солончаковые почвы (при температуре выше 0°)	15-25
Щебень: сухой мокрый	Не менее 5000 Не менее 3000
Дресва (при температуре выше 0° С)	5500
Гранитное основание (при температуре выше 0° С)	22500

Результаты измерений должны быть приведены к наиболее неблагоприятным климатическим условиям.

П.А.3 Справочные данные по сезонным коэффициентам

Для приведения результатов измерений удельного сопротивления грунта к наиболее неблагоприятным климатическим условиям применяют сезонные коэффициенты, значения которых для различных типов грунтов приведены в таблице П.А.6.

Таблица П.А.6 - Сезонные коэффициенты удельного сопротивления грунта $K_{\rho \text{ сезона}}$.

Тип грунта	Сезонный коэффициент удельного сопротивления грунта при влажности		
	малой	средней	большой
Глина	2	3	10
Супесь, суглинок	3	5	20
Песок	3	10	50

П.А.4 Справочные данные по наибольшим допустимым сопротивлениям заземляющих устройств

Значения наибольших допустимых сопротивлений заземляющих устройств различных электроустановок в соответствии с ПУЭ и РД 34.45-51.300-97 приведены в таблице П.А.7.

Таблица П.А.7- Наибольшие допустимые сопротивления заземляющих устройств

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление, Ом
1. Электроустановки напряжением выше 1 кВ, кроме ВЛ ¹⁾	Электроустановка сети с эффективно заземленной нейтралью	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	0,5
	Электроустановка сети с изолированной нейтралью при использовании заземляющего устройства только для установки выше 1 кВ	Искусственный заземлитель вместе с подсоединенными естественными заземлителями	$250/I^{2)}$ но не более 10
	Электроустановка сети с изолированной нейтралью при использовании заземляющего устройства для электроустановки до 1 кВ	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	$125/I^{2)}$ при этом должны быть выполнены требования к заземлению установки до 1 кВ
	Подстанция с высшим напряжением 20-35 кВ при установке молниеотвода на трансформаторном портале	Заземлитель подстанции	4, без учета заземлителей, расположенных вне контура заземления ОРУ
	Отдельно стоящий молниеотвод	Обособленный заземлитель	80
2. Электроустановки напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, кроме ВЛ ³⁾	Электроустановка с глухозаземленными нейтралью генераторов или трансформаторов или выводами источников однофазного тока	Искусственный заземлитель с подключенными естественными заземлителями и учетом использования заземлителей повторных заземлений нулевого провода ВЛ до 1 кВ при количестве отходящих линий не менее двух при напряжении источника, В: трехфазный/однофазный	2

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление, Ом
		660/380 380/220 220/127 Заземлитель, расположенный в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока при напряжении источника, В: трехфазный/однофазный 660/380 380/220 220/127	4 8 15 30 60
3. ВЛ напряжением выше 1 кВ ⁴⁾	Опоры, имеющие грозозащитный трос или другие устройства грозозащиты, железобетонные и металлические опоры ВЛ 35 кВ и такие же опоры ВЛ 3-20 кВ в населенной местности, а также заземлители электрооборудования, установленного на опорах ВЛ 110 кВ и выше	Заземлитель опоры при удельном эквивалентном сопротивлении p , Ом·м: до 100; более 100 до 500; более 500 до 1000; более 1000 до 5000; более 5000	10 ⁵⁾ 15 ⁵⁾ 20 ⁵⁾ 30 ⁵⁾ $6 \cdot 10^{-3} p^{5)}$
	Электрооборудование, установленное на опорах ВЛ 3-35 кВ	Заземлитель опоры	$250/I^{(2)}$, но не более 10
	Железобетонные и металлические опоры ВЛ 3-20 кВ в ненаселенной местности	Заземлитель опоры при удельном сопротивлении грунта p , Ом/м: до 100; более 100	30 ⁵⁾ $0,3p^{5)}$
	Трубчатые разрядники и защитные промежутки ВЛ 3-220 кВ	Заземлитель разрядника или защитного промежутка при удельном сопротивлении грунта p , Ом·м: не выше 1000; более 1000	10 15
	Разрядники на подходах ВЛ к подстанциям с вращающимися машинами	Заземлитель разрядника	5
4. ВЛ напряжением до 1 кВ ³⁾	Опора ВЛ с устройством грозозащиты	Заземлитель опоры для грозозащиты	30

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление, Ом
	Опоры с повторными заземлителями нулевого рабочего провода	Общее сопротивление заземления всех повторных заземлений при напряжении источника, В: трехфазный/однофазный 660/380 380/220 220/127 Заземлитель каждого из повторных заземлений при напряжении источника, В: трехфазный/однофазный 660/380 380/220 220/127	 5 10 20 15 30 60

¹⁾ Для электроустановок выше 1 кВ при удельном сопротивлении грунта ρ более 500 Ом·м допускается увеличение сопротивления в $0,002\rho$ раз, но не более десятикратного.

²⁾ I - расчетный ток замыкания на землю, А.

В качестве расчетного тока принимается:

- в сетях без компенсации емкостного тока - ток замыкания на землю;
- в сетях с компенсацией емкостного тока:
 - для заземляющих устройств, к которым присоединены дугогасящие реакторы, - ток, равный 125% номинального тока этих реакторов;
 - для заземляющих устройств, к которым не присоединены дугогасящие реакторы, ток замыкания на землю, проходящий в сети при отключении наиболее мощного из дугогасящих реакторов или наиболее разветвленного участка сети.

³⁾ Для установок и ВЛ напряжением до 1 кВ при удельном сопротивлении грунта ρ более 100 Ом·м допускается увеличение указанных выше норм в $0,01\rho$ раз, но не более десятикратного.

⁴⁾ Сопротивление заземлителей опор ВЛ на подходах к подстанциям должно соответствовать требованиям Правил устройства электроустановок.

⁵⁾ Для опор высотой более 40 м на участках ВЛ, защищенных тросами, сопротивление заземлителей должно быть в 2 раза меньше приведенных в таблице.

П.А.5 Справочные данные по электрической прочности грунта.

Характеристики электрической структуры грунта могут быть определены с помощью данных по геоподоснове объекта. Сведения об электрических характеристиках различных грунтов приведены в таблице П.А.8 по РД 153-34.3-35.125-99 (СО 34.35.125-99).

Таблица П.А.8 Сведения об электрических характеристиках различных грунтов

Тип грунта или материала	Влажность %	Напряжённость электрического поля в начале искрообразования, кВ/м	Электрическая прочность грунта в однородном поле, кВ/м
Глина	17	40-250	950-1100
Песок	7-8	230-480	1200-1400
Песок с глиной	10	300	1000
Песок с гравием	10	700-1100	1000
Торф и перегной	60-70	600-1300	700-850
Скальный грунт	-	-	750-1800
Бетон	20	130-330	700
Бетон	Сухой	-	35-120

П.А.6 Расчёт глубины коррозии

Глубина коррозии рассчитывается по выражению:

$$\delta_k(t) = a_k \cdot \ln^3 t + b_k \cdot \ln^2 t + c_k \cdot \ln t + d_k,$$

где t – расчётное время эксплуатации заземлителя в месяцах (рекомендуется не менее 30 лет), а коэффициенты a_k , b_k , c_k , d_k , принимаются по таблице П.А.9.

Таблица П.А.9 Коэффициенты уравнения для прогноза глубины коррозии стальных заземлителей

Коррозионная зона	Коэффициенты уравнения				Расчётная глубина коррозии через 30 лет, мм
	a_k	b_k	c_k	d_k	
K_0	0,0206	0,1054	0,0410	0,0593	8,8
K_1	0,0118	0,0350	- 0,0612	0,1430	3,4
K_2	0,0056	0,0220	- 0,0107	0,0408	2,0
K_3	0,0050	0,0031	-0,0410	0,2430	1,1
K_4	0,0026	0,0092	- 0,0104	0,0224	0,8
K_5	0,0013	0,0030	- 0,0068	0,0440	0,4

Коррозионная зона ($K_0...K_5$) определяется по выражению:

$$Z_k = 6,167 - 0,833 \cdot \ln \left(\frac{|\varphi_{ов}| - 125}{\rho_{эkv}} \right),$$

в котором $\varphi_{ов}$ – окислительно-восстановительный потенциал образца стального заземлителя в грунте в мВ, измеренный по отношению к медно-сульфатному электроду; $\rho_{эkv}$ – удельное сопротивление верхнего слоя грунта (в котором располагаются горизонтальные заземлители), Ом·м.

При отсутствии данных по значениям окислительно-восстановительного потенциала коррозионную зону можно определить по таблице П.А.10.

Таблица П.А.10 Определение коррозионной зоны по физико-химическим параметрам грунта.

Удельное сопротивление верхнего слоя грунта, $\rho_{\text{ЭКВ}}$, Ом·м	Естественная влажность W %	Степень насыщения пор влагой, k_w , о.е.	Концентрация агрессивных ионов в грунтовом растворе C , %	Коррозионная зона	Качественная оценка коррозии
<2	10...20	0,5...0,7	0,1	K₀	Очень сильная
2...5	10...20	0,5...0,7	0,05...0,1	K₁	
5...10	20...25	0,7...0,85	0,015...0,05	K₂	Сильная
10...20	2...10	0,05...0,5	0,005...0,013	K₃	Средняя
20...100	2...10	0,05...0,5	0,001...0,005	K₄	
>100	>20 или <2	>0,085 или <0,05	<0,001	K₅	Слабая

Параметры грунта, входящие в таблицу, определяются при изысканиях на площадке ПС:

Естественная влажность:

$$W\% = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%,$$

где ($m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}$) – разность масс стаканчика с пробой грунта до и после высушивания, $m_{\text{сух}}$ – масса стаканчика с сухим грунтом.

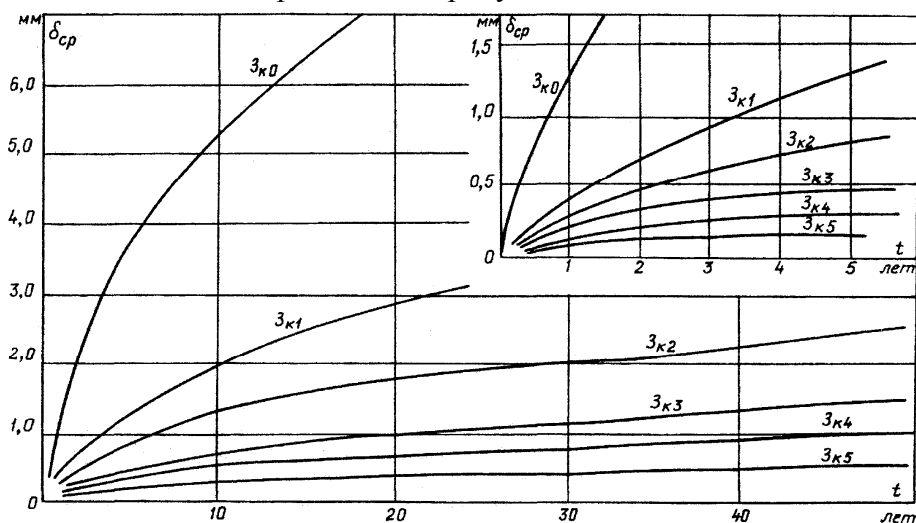
Степень насыщения пор влагой:

$$k_w = \frac{W\%}{100} \cdot \frac{d_{\text{мин}}}{(d_{\text{мин}} - d_{\text{сух}})},$$

где $d_{\text{мин}}$ – средняя плотность минералов грунта (плотность частиц грунта), $d_{\text{сух}}$ – плотность сухого грунта.

Концентрация агрессивных ионов в грунтовом растворе C , % - массовое количество ионов хлора и сульфатов ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$), отнесённое к массе грунта в %.

На территории России распространены в основном коррозионные зоны $K_3 \dots K_5$. Динамика коррозии в зонах $K_0 \dots K_5$ приведена на рисунке:



Зависимость глубины коррозии стальных заземлителей ($\delta_{\text{ср}}$) от времени для различных коррозионных зон

Приложение Б

Пример расчета параметров заземляющего устройства подстанции

П.Б.1 Исходные данные для расчетов.

Исходные данные для проведения расчетов характеристик заземляющего устройства, напряжений и токов промышленной частоты, воздействующих на контрольные кабели и вторичное оборудование, приведены в таблице П.Б.1.

Таблица П.Б.1 - Исходные данные для расчетов

№ п/п	Наименование	Значение	Примечание
1	Эквивалентные значения удельного сопротивления грунта ρ , приведенные к двухслойной модели, с учетом наиболее неблагоприятных климатических условий.	Верхний слой: $\rho_1 = 200 \text{ Ом}\times\text{м}$. Нижний слой: $\rho_2 = 40 \text{ Ом}\times\text{м}$. Глубина раздела слоев: $h = 1,4 \text{ м}$.	Указанные значения удельного сопротивления грунта ρ определены на основании «Справки о геологическом строении и гидрогеологических условиях участка...». В качестве наиболее неблагоприятных климатических условий принято промерзания грунта в зимний период.
2	Расчетные значения тока однофазного короткого замыкания $3I_0$ Значения токов приняты с учетом перспективы развития энергосистемы на 10 лет.		Время отключения КЗ принято равным 0,1 с (время работы основной защиты).
	ОРУ-110 кВ.	40 кА	в нейтраль Т – 700 А
3	Расчетное значение тока двухфазного КЗ (двойного замыкания на землю): КРУ-10 кВ КРУ- 6 кВ	 11,8 кА 6.1 кА	
4	План расположения зданий и сооружений на территории подстанции (компоновка объекта), трассы прокладки кабелей цепей вторичной коммутации.	На территории ПС расположены: - здание ОПУ и ЗРУ 10 и 6 кВ; - ОРУ-110 кВ; - кабельные лотки 10 и 6 кВ; - силовые трансформаторы ТРДН 80000/110У1 2шт.; - трансформаторы ТДНС 16000/20У1	

		2шт.; - маслосборник; - канализационная насосная; - ДГК 6 компл.; Молниеотводы H=30м 4шт.	
6	Схемы заземляющего устройства.	Чертежи: Заземление и молниезащита.	
7	Горизонтальные проводники сетки заземлителя.	Полоса стальная сечением 60х5мм ² .	Ст.3 ГОСТ-535-2005.
8	Вертикальные заземлители.	Сталь диаметр 16 мм, длина - 5м.	Круг. Ст.3 ГОСТ-535-2005.
9	Заземляющие проводники.	Прокладку ответвительных полос заземления к электрооборудованию выполнить полосой 5х60мм ² в двух местах по месту.	
10	Проводники системы уравнивания потенциалов в помещениях здания ОПУ и ЗРУ.	Полоса стальная сечением 60х5мм ² .	Магистраль заземления прокладываются вдоль стен на уровне 0.5 м от уровня пола.
11	Тип контрольных кабелей.	КВВГэ	-
12	Естественные элементы заземляющего устройства.	Трубопроводы. Броня силовых кабелей. Экраны контрольных кабелей: эквивалентное сечение 1мм ² по меди. Металлоконструкции здания.	-
13	Система электропитания переменного тока 0,4 кВ.	TN-S.	
14	Отходящие от объекта коммуникации.	Трубопроводы Кабели: силовые, связи, телемеханики.	
15	Конструктивное выполнение заземляющего устройства подстанции.	1. На всей территории ПС выполнена сетка из продольных и поперечных горизонтальных заземлителей с неравномерным шагом из стали полосой 60х5мм ² . 2. Магистраль наружного заземления выполняются полосой 5х60мм ² , прокладываемых на глубине 0,5-0,7 м, и электродов заземления диаметром 16мм длиной 5 м, которые всверливаются в траншею. 3. Для защиты от заноса высоких потенциалов по	

	<p>подземным коммуникациям (трубопроводы и т. п.) их необходимо при входе в здание присоединить к контуру заземления, в том числе и кабели с металлической оболочкой, не имеющие изоляционного покрытия.</p> <p>4. Для снижения напряжения прикосновения у рабочих мест выполнить подсыпку щебня слоем толщиной 0,1-0,2 м.</p> <p>5. Внешняя ограда не присоединяется к ЗУ ПС. Внешнее ограждение следует заземлять с помощью вертикальных заземлителей глубиной 2-3 м, установленных у стоек ограды по всему ее периметру через 50 м.</p> <p>6. Для снижения выноса потенциала по металлическим трубопроводам и кабелям, выходящим за предела заземляющего контура выполнять их заземление в 2-3 местах за территорией подстанции через 80-100 метров. Кабели применять бронированные.</p>
--	---

П.Б.2 Проверка выбора сечения элементов заземляющих устройств по допустимой температуре нагрева.

Допустимые токи короткого замыкания для элементов заземляющих устройств определяют, исходя из допустимой (по ПУЭ п.1.7.114 не выше 4000С) температуре нагрева, по формуле:

$$I_{\text{доп}} = \frac{S}{S_{\text{доп}} q},$$

где S – поперечное сечение проводника или экрана кабеля, мм²;

$S_{\text{доп}}$ – допустимое сечение для тока в 1 кА продолжительностью воздействия 1 секунда;

q – коэффициент, учитывающий продолжительность воздействия тока

$$q = \begin{cases} \sqrt{t + 0,09}, & t < 1 \text{ с} \\ 0,8\sqrt{t}, & t > 1 \text{ с} \end{cases}.$$

Значения $S_{\text{доп}}$ приведены в таблице П.Б.2.

Таблица П.Б.2 -Допустимое сечение $S_{\text{доп}}$ для проводников при токе 1 кА длительностью 1 с.

Тип проводника	$S_{\text{доп}}$, мм ² /кА
Горизонтальный стальной заземлитель	14,0
Заземляющий проводник из стали, подсоединенный к аппарату	16,5
Арматура железобетона	30,3

Заземляющие проводники (не мене двух сечением 60х5мм²) удовлетворяют требованию по их допустимому нагреву до 400°С при КЗ на землю, при времени отключения КЗ не более 0,7сек.

Горизонтальные заземлители удовлетворяют требованию по их допустимому нагреву до 400°С, при времени отключения КЗ не более 0,7сек.

При расчетах учитывалось, что заземляющие проводники присоединяется непосредственно к магистрали заземления, т.е. по заземляющим проводникам протекает полный ток КЗ, и после него разделяется на две части.

Выводы

При выбранном сечении заземляющих проводников и заземлителей обеспечивается нагрев проводников ЗУ ниже допустимого значения, при времени отключения КЗ не более 0,7сек.

П.Б.3 Расчет сопротивления заземляющего устройства, напряжения на заземляющем устройстве, напряжений прикосновения и шага.

В соответствии с ПУЭ п.1.7.88 заземляющее устройство ПС выполнено с соблюдением требований, предъявляемых к сопротивлению ЗУ. При этом должны быть выполнены требования п.1.7.89 и п.1.7.90 и 1.7.92-1.7.93.

Общее сопротивление искусственного и естественного заземлений подстанции в любое время года должно быть не более 0,25 Ом (при токе КЗ 40кА напряжение на ЗУ не превышает 10 кВ по п.1.7.89). В противном случае должны быть установлены дополнительные вертикальные заземлители.

Так как, ток КЗ на землю составляет 40 кА, то необходимо выполнить проверку соблюдения условий электробезопасности, провести расчет напряжений прикосновения по п.1.7.91 ПУЭ.

Для проекта ЗУ проводились расчеты сопротивления ЗУ, напряжений прикосновения и шага при однофазном КЗ на ОРУ-110 кВ и ближнем КЗ на землю на отходящих линиях, двойном замыкании на землю (двухфазное КЗ) на 10 кВ, 6 кВ.

Расчет напряжений прикосновения и шага проводились при помощи программы ОРУ-М.

Расчетное значение сопротивления ЗУ ПС не превышает 0,27 Ом, без учета отходящих коммуникаций и 0,22 Ом с учетом отходящих коммуникаций. Наибольшее расчетное значение напряжения на ЗУ при КЗ на землю на ОРУ – 110 кВ не превысит 10 кВ.

Для проверки выполнения условий электробезопасности выполнялся расчет напряжения прикосновения и шага (см. ПУЭ п.1.7.91). В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038 напряжение прикосновения и шага не должно превышать 500В на всей территории и 65В на рабочих местах. Время отключения КЗ основной защитой менее 0,1 с, а резервной - более 1с.

В результате расчетов получено, что напряжение прикосновения (шага) на всей территории ПС не превысит 400 В, а на рабочих местах (при выполнении подсыпки щебнем толщиной 0,2м) – 65В.

В помещениях здания ОПУ и ЗРУ-10 кВ, электробезопасность обеспечивается системой уравнивания потенциалов. При КЗ разность потенциалов на ЗУ в помещениях зданий ОПУ, ЗРУ не превышает 65В.

Выводы

1. Расчетное значение сопротивления ЗУ ПС не превышает 0,27 Ом, без учета отходящих коммуникаций и 0,22 Ом с учетом отходящих коммуникаций. Наибольшее расчетное значение напряжения на ЗУ при КЗ на землю на ОРУ-110 кВ не превысит 9 кВ. Так как напряжение на ЗУ превышает 5 кВ, необходимо применять волоконно-оптические линии связи или принимать меры по защите проводных линий связи, отходящих от ПС. Для снижения выноса потенциала по металлическим трубопроводам и кабелям, выходящим за предела заземляющего контура выполнять их заземление в 2-3 местах за территорией подстанции через 80-100 метров. Кабели применять бронированные.

2. Напряжение прикосновения (шага) на всей территории ПС не превысит 400В, а на рабочих местах (при выполнении подсыпки щебнем толщиной 0,2м) – 65В.

В помещениях здания ОПУ и ЗРУ-10 кВ, электробезопасность обеспечивается системой уравнивания потенциалов. При КЗ разность потенциалов на ЗУ в помещениях зданий ОПУ, ЗРУ не превышает 65В.

Заземляющее устройство ПС соответствует требованиям обеспечения электробезопасности персонала. Напряжение прикосновения и шага при КЗ не превышает допустимых значений.

П.Б.4. Расчет распределения напряжений и токов промышленной частоты по элементам заземляющего устройства.

Проводились расчеты распределения напряжений и токов по ЗУ и экранам контрольных кабелей (типа КВВГЭ) при однофазном КЗ в первичных цепях 110 кВ.

Наибольшее напряжение промышленной частоты на кабеле или устройстве при всех режимах не превысит 1,0 кВ.

Наибольшее значение тока промышленной частоты в экранах кабелей (типа КВВГЭ), проложенных от ОРУ до РЩ, составит 500А (превышает допустимое значение для кабелей типа КВВГЭ – 350А, время отключения КЗ 0,1 с).

Выводы.

1. Наибольшее напряжение промышленной частоты на кабеле или устройстве при всех режимах не превысит 1,0 кВ (допустимое значение не более 2 кВ).

2. Наибольшее значение тока промышленной частоты в экранах контрольных кабелей (типа КВВГЭ) составит 500А (превышает допустимое значение для кабелей типа КВВГЭ – 350А, время отключения КЗ - 0,1 с).

Необходимо уменьшить шаг ячейки сетки заземлителя в продольном направлении до 5м. Выполнить на территории, не занятой оборудованием сетку заземлителя с размерами ячейки не менее $10 \times 10 \text{ м}^2$.

3. Условия ЭМС в отношении воздействия напряжения и токов промышленной частоты на ПС не выполнены.

П.Б.4 Расчет уровней воздействий импульсных помех при коммутациях силового оборудования и КЗ в первичных цепях.

Наибольшее расчетное значения тока высокочастотной составляющей при коротком замыкании на землю составят 950 А.

При коммутациях силового оборудования наибольшие значения амплитуды импульсных токов будут примерно в 4 раза меньше.

Наибольшие расчетные значения высокочастотных потенциалов на ЗУ при коротком замыкании на землю на шинах не превысят 8 кВ.

С учетом коэффициента затухания (не менее 6) уровень импульсных помех при коротких замыканиях и коммутациях из-за подъема потенциала на ЗУ не превысят 1,5 кВ.

Выводы.

Уровень импульсных помех при коммутациях и коротких замыканиях не превысят 1,5 кВ.

П.Б.5 Расчет уровней воздействий импульсных помех от токов молнии.

Таблица П.Б.3 - Исходные данные для расчетов

№ п/п	Наименование	Значение	Примечание
1	Эквивалентные значения удельного сопротивления грунта ρ , приведенные к двухслойной модели, с учетом наиболее неблагоприятных климатических условий.	Верхний слой: $\rho_1 = 200 \text{ Ом} \times \text{м}$. Нижний слой: $\rho_2 = 40 \text{ Ом} \times \text{м}$. Глубина раздела слоев: $h = 1,5 \text{ м}$.	-
2	План расположения	Молниезащита	

	зданий и сооружений на территории подстанции (компоновка объекта). Схема заземляющего устройства и молниезащиты.	ОРУ выполнена четырьмя прожекторными мачтами с молниеотводами. Защита от прямых ударов молнии здания ОПУ и ЗРУ 10кВ выполнена с помощью молниеприемной сетки с шагом 6х6м из проволоки толщиной не менее 6мм	
3.	Тип контрольных кабелей.	КВВГэ	
4.	Параметры тока молнии.	$I_m = 100 \text{ кА}$, $\tau_{фр} = 10 \text{ мкс.}$	В соответствии с СО 153.34.21.122-2003.

В качестве исходных данных принимается, что металлическая молниеприемная сетка на кровле присоединяется к металлоконструкциям здания. Металлоконструкции здания используются в качестве токоотводов и проводников уравнивания потенциалов, а фундамент здания - в качестве заземлителя.

Расчеты напряжения на ЗУ при ударе молнии в молниеотводы проводились при помощи программы ОРУ-М для принятых параметров тока молнии.

Импульсные потенциалы на ЗУ вблизи кабельных трасс не превысит 120 кВ при расстоянии до кабелей не менее 0,5м (допустимое значение 150 кВ – для песка с глиной средняя напряженность 300 кВ/м по табл. П.А.5). Импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала (при ударе молнии в М2) на заземляющем устройстве составляют более 8кВ (превышают допустимое значение 4 кВ по ГОСТ Р51317.6.5-2006). Необходимо изменить схему ЗУ молниеотвода М2, установив вертикальный заземлитель длиной не менее 15м и соединить ЗУ молниеотвода с общим ЗУ через заземлители длиной не менее 20 м.

Приложение В

Требования к компьютерным программам расчета электрических параметров заземляющих устройств

Установленный в настоящем стандарте объем расчетов электрических параметров заземляющих устройств может быть выполнен при помощи компьютерных программ, обеспечивающих выполнение всех расчетов или при помощи нескольких программ, выполняющих каждая определенную часть расчетов.

Компьютерные программы должны иметь свидетельство о регистрации в Роспатенте РФ.

Допускается проводить расчеты при помощи специальных расчетных методик, содержащих расчетные формулы, диаграммы, графики и т.п. материалы, позволяющие упростить выполнение расчетов.

Перечень нормируемых параметров, подлежащих расчету:

- Сопротивление ЗУ ($R_{\text{ЗУ}}$, Ом);
- Напряжение прикосновения ($U_{\text{пр}}$, В);
- Наибольшее значение напряжения на ЗУ при однофазном КЗ на РУ, с учетом составляющих тока КЗ через нейтрали АТ/Т.
- Распределение напряжения по сетке ЗУ с возможностью определения разности потенциалов для любых 2-х точек ЗУ.
- Распределение напряжения по сетке ЗУ при двойных КЗ в сети с изолированной нейтралью (два замыкания на территории ЗУ или одно замыкание вне ЗУ, одно – на территории ЗУ).
- Распределение тока по ЗУ ($I_{\text{ЗУ}}$, А).
- Распределение токов в проводниках сетки ЗУ, в т.ч. в экранах и оболочках кабелей.
- Распределение токов в элементах ЗУ, расположенных не в грунте.
- Распределение высокочастотной составляющей тока КЗ по сетке ЗУ.
- Импульсное напряжение на сетке ЗУ ($U_{\text{имп}}$, кВ).
- Наибольшее импульсное напряжение на сетке ЗУ при разрядах молнии в молниезащиту ОРУ.
- Распределение напряжения по сетке ЗУ при разрядах молнии в молниезащиту РУ.

Структура расчетной модели ЗУ как объекта моделирования.

ЗУ представляет трехмерный (3D) объект, включающий элементы ЗУ, фундаменты зданий, инженерные коммуникации, расположенные в воздухе.

В расчетной модели должны быть также отображено: расположение высоковольтного оборудования на ОРУ, включая положение АТ/Т на ОРУ и точки заземления их нейтралей, места установки защитных аппаратов (ОПН, РВ), положение на ОРУ кабельных каналов, конфигурацию фундаментов зданий, расположенных на ОРУ (план, глубину залегания), расположение ограждения ПС.

Расчетная модель ЗУ должна содержать как минимум все элементы ЗУ ОРУ одного класса напряжения, связи с ЗУ ОРУ других классов напряжения, связи ЗУ с ОПУ и РЩ. В комплексных программах рекомендуется иметь возможность полного описания всех элементов ЗУ всех ОРУ для данной ПС.

Взаимное влияние нескольких ЗУ, расположенных на ОРУ разных классов напряжения может производиться как путем моделирования полной сетки всех ЗУ, так и путем замены некоторых ЗУ их эквивалентными сопротивлениями.

Расчетные параметры грунта.

Рекомендуется использовать двухслойную модель грунта с учетом сезонных изменений верхнего слоя.

Использование более сложных (трехмерных) моделей грунта требуется в случаях, когда на территории ОРУ или ПС имеются участки грунта с резко (в несколько раз) отличающимися удельными параметрами грунта.

Для построения расчетной модели грунта необходимы данные по удельному сопротивлению слоев грунта до глубины около $(3 \div 4)\sqrt{S}$.

Должна иметься возможность изменения удельных сопротивлений и мощности слоев грунта в ходе расчета одного ЗУ.

Параметры проводящих частей, входящих в состав ЗУ.

Электрические параметры (удельное сопротивление и магнитная проницаемость) проводников сетки ЗУ, проводящих частей, расположенных на территории ОРУ и имеющих электрический контакт с ЗУ как минимум в 2-х точках.

Электрические параметры оболочек (заземленных экранов) кабелей.

Программа должна иметь возможность учета и изменения заданных пользователем диаметров проводников, их удельного сопротивления и магнитной проницаемости на любом этапе расчета.

Требования по точности расчета.

Погрешность расчета параметров ЗУ определяется точностью задания исходных данных и погрешностью алгоритма. Исходные данные, как правило, имеют погрешность, намного превышающую погрешности алгоритма программы.

Допустимо применений любых методик и математических моделей, обеспечивающих расчет нормируемых параметров ЗУ, а также решение тестовых задач с погрешностью не более 5%.

Погрешности расчета, связанные с приближенным решением задачи, не должны превышать 5%

Специальные (рекомендуемые) требования.

Возможность учета кривой намагничивания.

Возможность расчета индуктивности с учетом токов, протекающих в ошиновке.

Сервисные возможности.

Удобный графический интерфейс ввода данных на основе САПР и авторских алгоритмов. Визуализация результатов 3D графиками в стационарных режимах.

Возможность сохранения результатов на любом этапе расчета ЗУ.

Совместимость разных программ расчета ЗУ. Должна быть реализована возможность сохранения геометрии задачи в одном из стандартных форматов обмена графической информацией.

Для расчета параметров ЗУ рекомендуется применяться, например, программы:

1. ОРУ-М. Российское агентство по патентам и товарным знакам. Свидетельство о регистрации № 2002611768 от 15.10 2002г. Правообладатели: ООО «НПФ ЭЛНАП», РАО «ЕЭС России», МЭИ. Авторы: Борисов Р.К., Петров С.Р.

2. Parsiz. Правообладатели: НГТУ. Авторы: Целебровский Ю.В., Нестеров С.В.

3. KWIK GRID, «Расчет заземляющих устройств» фирмы Safe Engineering Services & technologies ltd.

Приложение Г

Библиография

1. Бургсдорф В.В. и Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Колечицкий Е.С. Основы расчета заземляющих устройств: Учебное пособие – М.: Издательство МЭИ, 2001.
4. Целебровский Ю.В. Заземляющие устройства электроустановок высокого напряжения. Новосибирск, Изд-во НЭТИ, 1987.
5. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К., Кужекин И.П., Жуков А.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. /Под редакцией Дьякова А.Ф. -М.: Энергоатомиздат. 2003.
6. Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник. –М.: ЗАО «Энергосервис», 1998.
7. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах. М.: Энергоатомиздат, 1986.
8. Техника высоких напряжений: Учебник для вузов/ И.М.Богатенков, Ю.Н.Бочаров, Н.И.Гумерова Г.М.Иманов и др. под ред Г.С.Кучинского СПб.: Энергоатомиздат Санкт-Петербургское отделение. 2003 г.

Приложение Д

Типовые решения по конструктивному выполнению заземляющих устройств подстанций

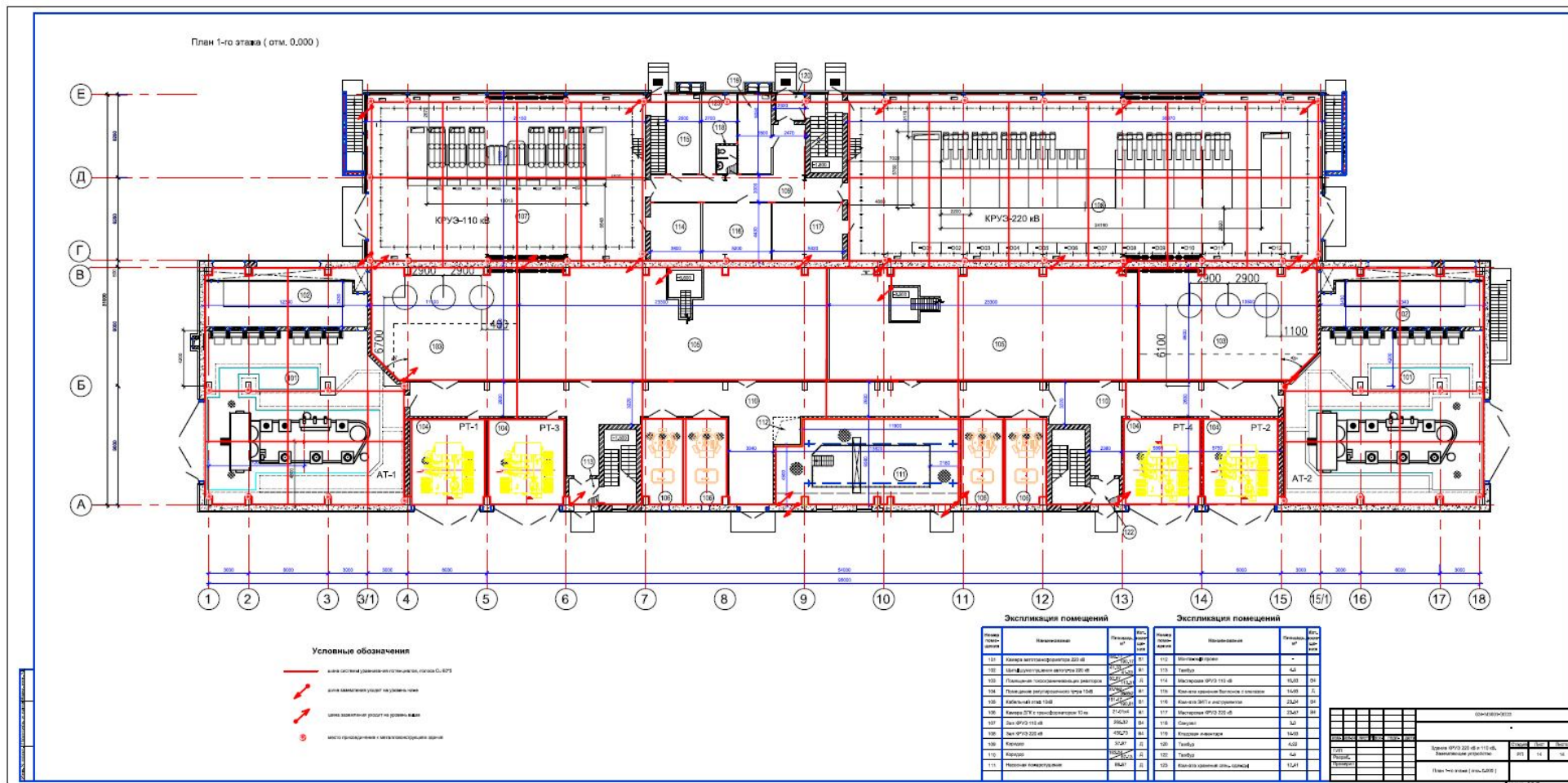


Рис.П.Д.1. Схема внутреннего заземляющего устройства закрытой ПС с КРУЭ-220 кВ и КРУЭ-110 кВ

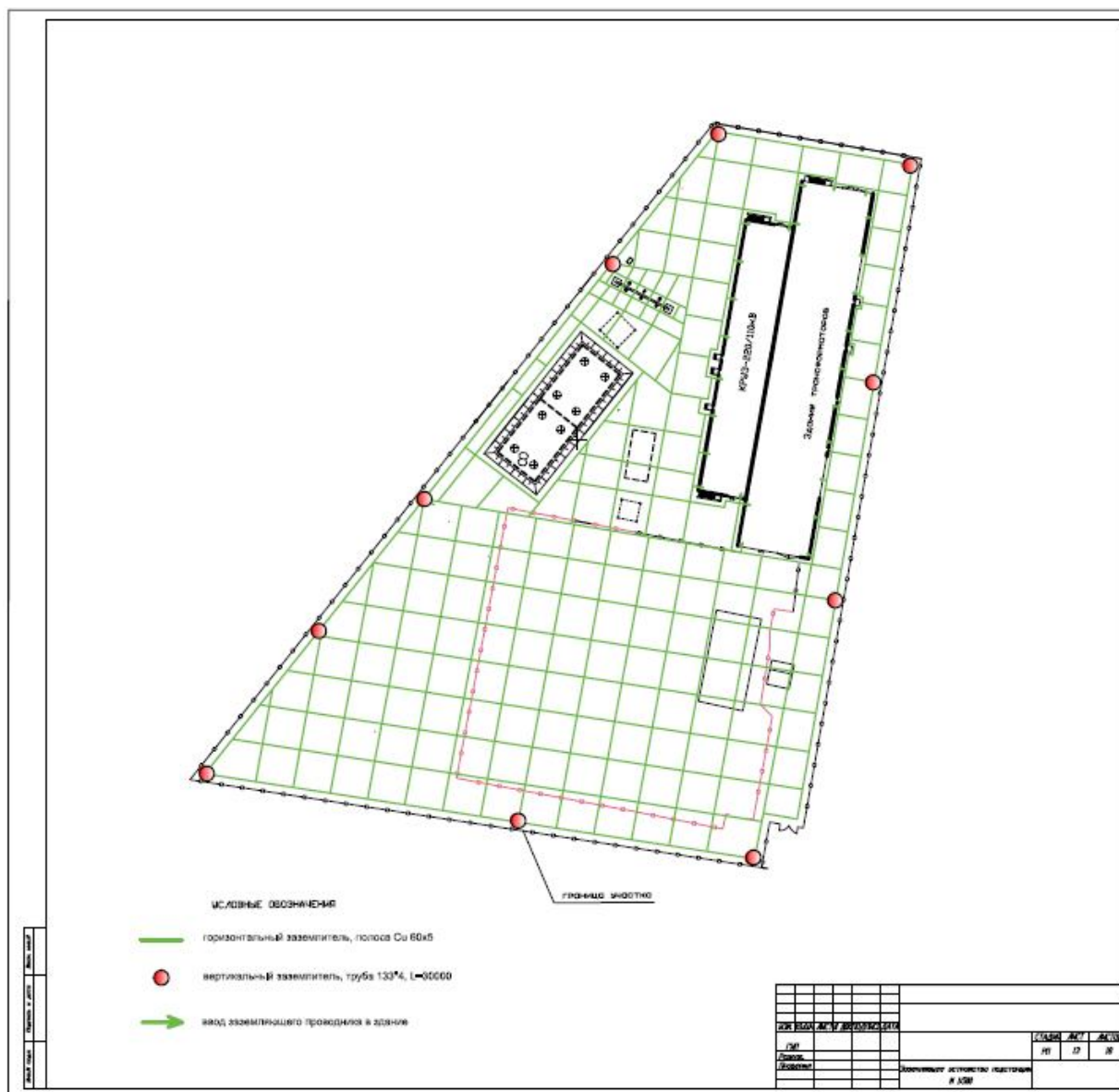


Рис.П.Д.2. Схема наружного заземляющего устройства закрытой ПС с КРУЭ-220 кВ и КРУЭ-110 кВ, переходным пунктом 220 кВ

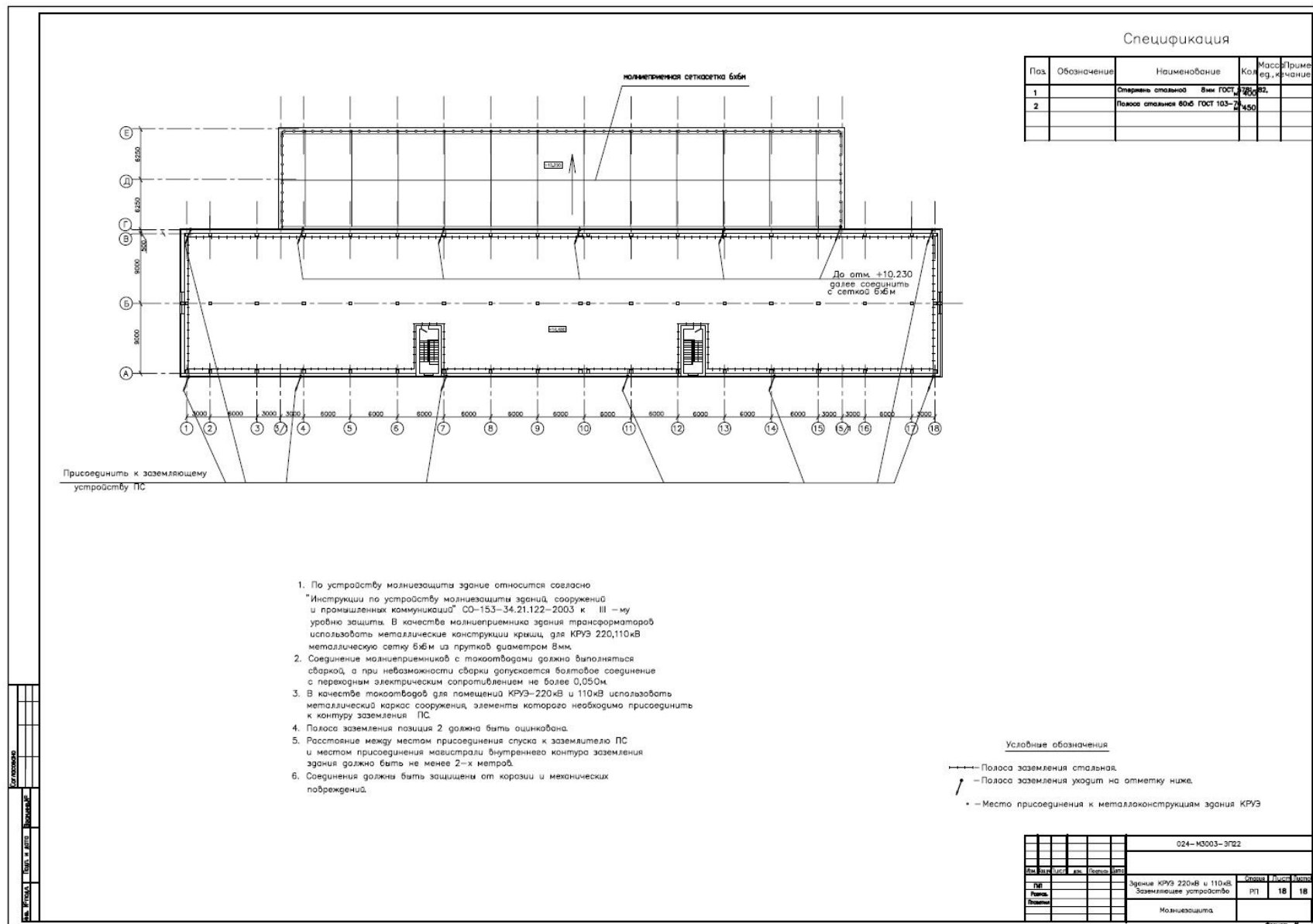


Рис.П.Д.3. Схема молниезащиты здания закрытой ПС

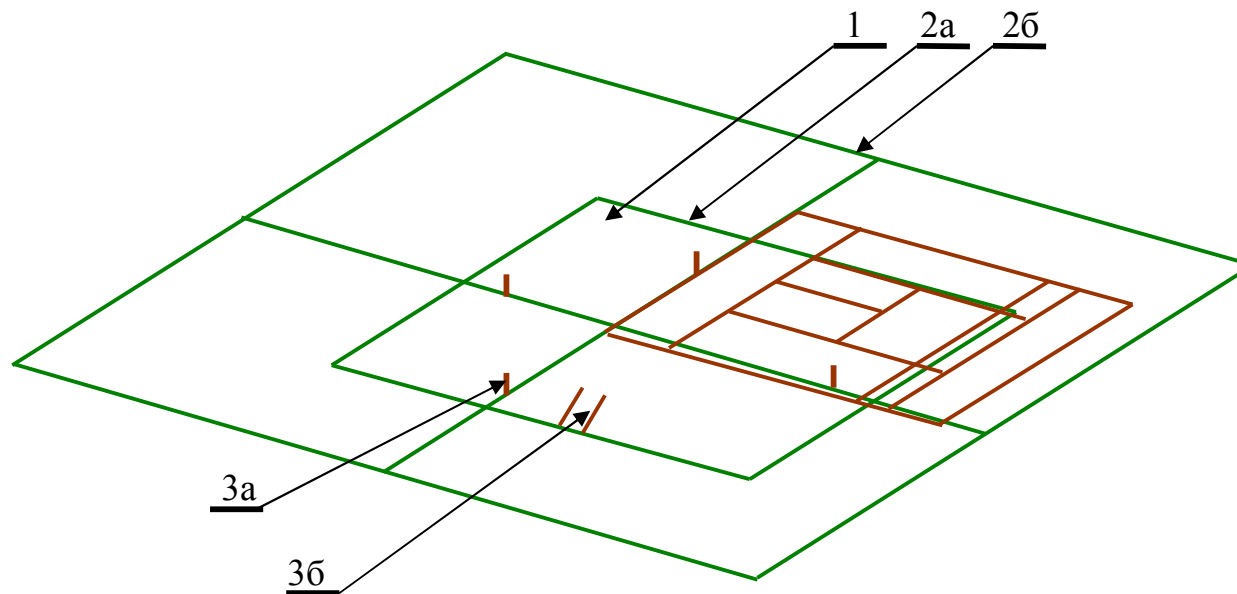


Рис.П.Д.4 Схема заземляющего устройства комплектной трансформаторной подстанции 110 кВ

- 1- заземляющая сетка у оборудования
- 2а – внешний контурный заземлитель с поперечными связями
- 2б – расширение внешнего заземляющего контура
- 3а – вертикальные связи между сеткой и внешним контуром
- 3б – наклонные связи у входа/въезда