

**Методические рекомендации по рациональному выполнению
заземляющих устройств и пособие по их измерениям в сетях
напряжением 0,38-10 кВ**



Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, заземление, опора, надежность, уравнивание потенциалов, подстанции

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН РУП «Белэнергосетьпроект»

2 УТВЕРЖДЕН и ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго» _____ г. № _____

3 ВВЕДЕН ВЗАМЕН СТП 09110.20.360-01 (МР 09110.20.360-01)

Настоящий стандарт организации не может быть тиражирован и распространен без разрешения ГПО «Белэнерго»

Издан на русском языке

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения	1
1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения, сокращения.....	2
4 Классификация и типы заземляющих устройств, заземлителей и заземляющих проводников	12
5 Общие требования к заземляющим устройствам, заземлителям и заземляющим проводникам электроустановок.....	13
5.5.4 Требования к системам уравнивания потенциалов	16
6 Нормирование электрических параметров заземляющих устройств	23
7 Выполнение заземляющих устройств ВЛП (ВЛ) 10 кВ, выполненных на железобетонных опорах	25
8. Выполнение заземляющих устройств ВЛИ 0,38 кВ.....	27
9 Выполнение заземляющих устройств КЛ 0,38 кВ.....	29
10 Выполнение заземляющих устройств РП и ТП 10/0,4 кВ	29
11 Конструктивное выполнение заземляющих устройств	31
12 Электробезопасность	33
13 Особенности выполнения заземлителей в сетях 0,38-10 кВ	33
13.2 Выбор конфигурации заземлителя и расстояния между вертикальными электродами в заземлителе.....	34
13.4 Расчет и выбор заземляющих устройств	40
13.5 Методика выбора конструкции заземляющего устройства на стадии сооружения	43
13.8 Изменение конструкции ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ с целью доведения до	46
14 Пособие по измерению сопротивления заземлителей (заземляющих устройств).....	47
Библиография	88

СТАНДАРТ ГПО «БЕЛЭНЕРГО»

Методические рекомендации по рациональному выполнению заземляющих устройств и пособие по их измерениям в сетях 0,38-10 кВ

Дата введения _____

1 Область применения

1 Область применения

Настоящий стандарт ГПО «Белэнерго» устанавливает основные требования к заземляющим устройствам сетей 0,38-10 кВ и дает технические решения по повышению их надежности.

Требования настоящего стандарта распространяются на вновь сооружаемые и реконструируемые сети 0,38-10 кВ и предназначены для применения организациями, входящими в состав ГПО «Белэнерго» при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов сетей 0,38-10 кВ.

Другими ведомствами и организациями настоящий стандарт может быть использован только по согласованию с ГПО «Белэнерго».

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты (далее – ТНПА) в области технического нормирования и стандартизации:

ТКП 181-2009 (02230) Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей

ТКП 339-2022 (33240) Электроустановки на напряжение до 750 кВ Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний

ТКП 385-2022 (33240) Сети электрические распределительные сельские напряжением 0,38-10 кВ. Правила технологического проектирования

ТКП 427-2022 (33240) Электроустановки. Правила по обеспечению безопасности при эксплуатации

СТБ 2174-2011 Изделия арматурные сварные для железобетонных конструкций. Технические условия

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

ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 9467-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы

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

ГОСТ 21130-75 Изделия электротехнические. Зажимы заземляющие и знаки заземления. Конструкция и размеры

ГОСТ 29322-2014 (IEC 60038:2009) Напряжения стандартные

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

ГОСТ МЭК 61032-2002 =СТБ МЭК 61032-2001 Защита людей и оборудования, обеспечиваемая оболочками. Щупы испытательные

ГОСТ IEC 61140-2012 Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования

СТП 33240.20.501-23 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Третье издание

СТП 33240.38.101-21 Электроснабжение индивидуальной жилой застройки. Применение столбовых подстанций непосредственно у потребителей. Технические решения

СТП 33243.20.366-16 Нормы и объем испытаний электрооборудования Белорусской энергосистемы

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие включенных в перечень ТНПА.

Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА.

Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения, сокращения

3.1 В настоящем стандарте применяют термины с соответствующими определениями по ГОСТ 30331.1, ТКП 339, ТКП 385:

3.1.1 аварийный режим электроустановки: Режим функционирования электроустановки в условиях единичного или множественных повреждений.

Примечание – В аварийном режиме электроустановки могут быть единичное или множественные повреждения средств защиты от поражения электрическим током, увеличивающие вероятность поражения людей и домашних животных электрическим током.

3.1.2 ввод в электрическую установку: Точка, в которой электрическую энергию вводят в электрическую установку.

Примечание – Электрическая установка может иметь несколько вводов.

3.1.3 выравнивание потенциалов: Уравнивание потенциалов, выполняемое на поверхности земли или пола, по которой перемещаются люди и животные.

3.1.4 главная заземляющая шина; ГЗШ: Шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки и предназначенная для электри-

ческого присоединения проводников к заземляющему устройству.

3.1.5 дифференциальный ток, I_{Δ} : Среднеквадратическое значение векторной суммы токов, протекающих через главную цепь устройства дифференциального тока.

3.1.6 дифференциальный ток: Алгебраическая сумма значений электрических токов во всех проводниках, находящихся под напряжением, в одно и то же время в данной точке электрической цепи в электрической установке.

Примечание – Определение термина «дифференциальный ток» сформулировано для электрической цепи. Через главную цепь устройства дифференциального тока, защищающего электрическую цепь, проходят все ее проводники, находящиеся под напряжением. Поэтому дифференциальный ток электрической цепи равен дифференциальному току, определяемому устройством дифференциального тока.

3.1.7 дополнительное уравнивание потенциалов: Защитное уравнивание потенциалов, предусматривающее выполнение дополнительного электрического соединения открытых проводящих частей со сторонними проводящими частями или открытых проводящих частей между собой.

3.1.8 допустимый длительный ток: Максимальное значение электрического тока, который проводник, устройство или аппарат способен проводить в продолжительном режиме без превышения его установившейся температуры определенного значения.

Примечание – Этот ток обозначают I_Z .

3.1.9 доступная часть: Часть, к которой можно прикоснуться стандартным испытательным пальцем по ГОСТ МЭК 61032.

Примечание – Посредством стандартного испытательного пальца выполняют проверку возможности прикосновения человека пальцем к какой-либо части. Опасные части электрооборудования, находящиеся под напряжением, и его опасные механические части должны быть помещены в оболочку со степенью защиты, как минимум, IP2X, обеспечивающую защиту от прикосновения пальцем к опасным частям.

3.1.10 заземление: Выполнение электрического присоединения проводящих частей к локальной земле.

Примечание – Присоединение к локальной земле может быть:

- преднамеренным;
- непреднамеренным или случайным;
- постоянным или временным.

3.1.11 заземленный линейный проводник; (LE): Линейный проводник, имеющий электрическое присоединение к локальной земле.

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

3.1.13 заземляющее устройство: Совокупность заземлителя, заземляющих проводников и главной заземляющей шины.

Примечание – Заземляющее устройство можно считать электрически независимым от другого заземляющего устройства, если превышение потенциала относительно земли на одном заземляющем устройстве не вызывает недопустимое превышение потенциала

относительно земли на другом заземляющем устройстве.

3.1.14 заземляющий проводник: Защитный проводник, соединяющий заземлитель с главной заземляющей шиной.

Примечание – Неизолированные части заземляющих проводников, которые находятся в земле, рассматривают в качестве части заземлителя.

3.1.15 замыкание на землю: Возникновение случайного проводящего пути между частью, находящейся под напряжением, и Землей или открытой проводящей частью, или сторонней проводящей частью, или защитным проводником.

Примечания

1 Проводящий путь может проходить через поврежденную изоляцию, через конструкции (например, колонны, леса, краны, лестницы) или через растения (например, деревья, кусты) и может иметь значительное полное сопротивление.

2 Проводящий путь между проводником, который по эксплуатационным причинам может быть не заземлен, и Землей также рассматривают как замыкание на землю.

3.1.16 защита при повреждении: Защита от поражения электрическим током при единичном повреждении.

3.1.17 защита от поражения электрическим током: Выполнение мер, понижающих риск поражения электрическим током.

3.1.18 защитное заземление: Заземление, выполняемое с целью обеспечения электрической безопасности.

3.1.19 защитное уравнивание потенциалов: Уравнивание потенциалов, выполняемое с целью обеспечения электрической безопасности.

3.1.20 защитный заземляющий проводник: Защитный проводник, предназначенный для выполнения защитного заземления.

3.1.21 защитный проводник; (PE): Проводник, предназначенный для целей электрической безопасности, например, для защиты от поражения электрическим током.

Примечание – В электрических установках буквенную идентификацию «PE» также применяют для обозначения защитного заземляющего проводника.

3.1.22 защитный проводник уравнивания потенциалов: Защитный проводник, предназначенный для выполнения защитного уравнивания потенциалов.

3.1.23 зона досягаемости рукой: Зона доступного прикосновения, простирающаяся от любой точки поверхности, на которой обычно находится или по которой передвигается человек, до границы, которую он может достать рукой в любом направлении без использования вспомогательных средств.

3.1.24 короткое замыкание: Случайный или преднамеренно созданный проводящий путь между двумя или более проводящими частями, вызывающий уменьшение разности электрических потенциалов между этими проводящими частями до нуля или значения, близкого к нулю.

3.1.25 линейный проводник; (L): Проводник, находящийся под напряжением при нормальных условиях и используемый для передачи электрической энергии, но не нейтральный проводник или средний проводник.

3.1.26 (локальная) земля: Часть Земли, находящаяся в электрическом

контакте с заземлителем, электрический потенциал которой не обязательно равен нулю.

3.1.27 местное уравнивание потенциалов: Защитное уравнивание потенциалов, предусматривающее выполнение электрического соединения открытых проводящих частей со сторонними проводящими частями, которое не имеет электрической соединения с землей.

3.1.28 местность населенная: Земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития по генплану, земли природоохранного, оздоровительного, рекреационного, историко-культурного назначения вокруг городов и других населенных пунктов в пределах черты этих пунктов, а также земли садоводческих товариществ, дачных кооперативов, включая населенную сельскую местность по ТКП 385.

3.1.28.1 городская окружающая среда; (urban environment): Местность с высокой плотностью застройки или плотно населенные районы с высотными зданиями.

Примечание – Примером городской окружающей среды является центральная часть города.

3.1.28.2 пригородная окружающая среда; (suburban environment): Местность со средней плотностью застройки.

Примечание – Примером пригородной окружающей среды являются пригородные районы.

3.1.28.3 сельская окружающая среда; (rural environment): Местность с низкой плотностью застройки.

Примечание – Примером сельской окружающей среды являются село, деревня, поселок.

3.1.28.4 населенная сельская местность: Территории сельсоветов, поселков городского типа, городов районного подчинения, являющихся административно-территориальными единицами, поселков городского типа и городов районного подчинения, являющихся территориальными единицами, а также иных населенных пунктов, не являющихся административно-территориальными единицами, входящих вместе с другими территориями в пространственные пределы сельсоветов.

Примечание – К населенной сельской местности отнесены территории агрогородков, а также районов индивидуальной жилой застройки в городах областного подчинения, садоводческих товариществ, дачных кооперативов.

3.1.28.5 усадебная жилая застройка: Малоэтажная застройка, в которой преобладают усадебные или блокированные жилые дома, размещаемые на земельных участках, предоставляемых гражданам Республики Беларусь и утвержденной градостроительной документацией.

3.1.28.6 местность ненаселенная: Земли, за исключением населенной и труднодоступной местности; незастроенная местность, хотя бы и часто посещаемая людьми, доступная для транспорта и сельскохозяйственных машин; местность с отдельными редко стоящими строениями и временными сооружениями, включая ненаселенную сельскую местность согласно ТКП 385.

3.1.28.7 ненаселенная сельская местность: Земли единого государственного земельного фонда, за исключением населенной и труднодоступной местности. К ненаселенной сельской местности относят незастроенные местности, посещаемые людьми, хозяйственные угодья, огороды, сады, местности с отдельными редко стоящими строениями и временными сооружениями.

3.1.29 местность труднодоступная: Местность, недоступная для транспорта и сельскохозяйственных машин.

Примечание – К труднодоступной местности относят труднопроходимые болота, местность с большим количеством оврагов и балок, поймы рек с множеством рукавов, проток, стариц, лес с густым подлеском, густую кустарниковую растительность.

3.1.30 напряжение прикосновения

3.1.30.1 (эффективное) напряжение прикосновения; ((effective) touch voltage): Напряжение между проводящими частями при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

Примечание – На значение эффективного напряжения прикосновения может существенно влиять полное сопротивление тела человека или животного, находящегося в электрическом контакте с этими проводящими частями.

3.1.30.2 ожидаемое напряжение прикосновения; (prospective touch voltage): Напряжение между одновременно доступными проводящими частями, когда человек или животное их не касается.

3.1.31 напряжение на заземляющем устройстве: Напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземлитель и зоной нулевого потенциала

3.1.32 нейтраль: Общая часть многофазной системы переменного тока, соединённой звездой, находящаяся под напряжением, или средняя часть однофазной системы переменного тока, находящаяся под напряжением.

3.1.33 нейтральный проводник (N): Проводник, электрически присоединенный к нейтрали и используемый для передачи электрической энергии.

Примечание – В некоторых случаях и при определенных условиях функции нейтрального проводника и защитного проводника могут быть объединены в одном PEN-проводнике.

3.1.34 обычное лицо: Лицо, не являющееся ни квалифицированным, ни инструктированным лицом.

3.1.35 основное уравнивание потенциалов: Защитное уравнивание потенциалов, предусматривающее выполнение электрического присоединения сторонних проводящих частей и главного защитного проводника к главной заземляющей шине.

3.1.36 открытая проводящая часть: Доступная прикосновению проводящая часть электрооборудования, которая при нормальных условиях не находится под напряжением, но может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

3.1.37 поражение электрическим током: Патологическое воздействие, оказываемое электрическим током, протекающим через тело человека или животного.

3.1.38 проводник: Проводящая часть, предназначенная для проведе-

ния электрического тока определенного значения.

3.1.39 проводник, находящийся под напряжением: Проводник, предназначенный находиться под напряжением при нормальных условиях.

Примечания

1 К проводникам, находящимся под напряжением, относят линейный проводник (L), нейтральный проводник (N) и средний проводник (M). PEN-проводник, PE-проводник, PEL-проводник и защитный проводник (PE) не являются проводниками, находящимися под напряжением.

2 В нормативных документах наряду с термином «проводник, находящийся под напряжением» применяют термин «токоведущий проводник».

3.1.40 проводящая часть: Часть, способная проводить электрический ток.

3.1.41 распределительная электрическая сеть: Низковольтная электрическая сеть, состоящая из источника питания и линии электропередачи и предназначенная для питания электроэнергией электроустановок зданий и других низковольтных электроустановок.

3.1.42 сверхнизкое напряжение; СНН: Напряжение, не превышающее 50 В переменного тока и 120 В постоянного тока.

3.1.43 система безопасного сверхнизкого напряжения; система БСНН: Электрическая система, в которой напряжение не может превышать сверхнизкое напряжение:

- при нормальных условиях;
- при условиях единичного повреждения, включая замыкания на землю в других электрических цепях.

3.1.44 система дополнительного уравнивания потенциалов: Система защитного уравнивания потенциалов, обеспечивающая дополнительное уравнивание потенциалов.

3.1.45 система защитного сверхнизкого напряжения; система ЗСНН: Электрическая система, в которой напряжение не может превышать сверхнизкое напряжение:

- при нормальных условиях;
- при условиях единичного повреждения, исключая замыкания на землю в других электрических цепях.

3.1.46 система защитного уравнивания потенциалов: Система уравнивания потенциалов, обеспечивающая защитное уравнивание потенциалов.

3.1.47 система местного уравнивания потенциалов: Система защитного уравнивания потенциалов, обеспечивающая местное уравнивание потенциалов.

3.1.48 система основного уравнивания потенциалов: Система защитного уравнивания потенциалов, обеспечивающая основное уравнивание потенциалов.

3.1.49 система распределения электроэнергии: Низковольтная электрическая система, состоящая из распределительной электрической сети и электроустановки.

Примечание – Система распределения электроэнергии как правило включает в себя электроустановку здания, которая подключена к низковольтной распределительной электрической сети, состоящей из понижающей трансформаторной подстанции и воздушной или кабельной линии электропередачи.

3.1.50 система уравнивания потенциалов: Совокупность соединений проводящих частей, обеспечивающих уравнивание потенциалов между ними.

3.1.51 система функционального уравнивания потенциалов: Система уравнивания потенциалов, обеспечивающая функциональное уравнивание потенциалов.

3.1.52 совмещенный защитный заземляющий и нейтральный проводник; PEN-проводник, PEN: Проводник, выполняющий функции защитного заземляющего и нейтрального проводников.

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

3.1.54 сторонняя проводящая часть: Проводящая часть, которая не является частью электрической установки и в нормальных условиях находится под электрическим потенциалом локальной земли.

Примечание – Сторонними проводящими частями могут быть:

- металлические части конструкции здания;
- металлические трубопроводные системы для газа, воды, отопления и т.д.;
- неизолирующие полы и стены.

3.1.55 тип заземления системы: Комплексная характеристика системы распределения электроэнергии, устанавливающая наличие или отсутствие заземления частей источника питания, находящихся под напряжением, наличие заземления открытых проводящих частей электроустановки или электрооборудования, наличие и способ выполнения электрического соединения между заземленными частями источника питания, находящимися под напряжением, и указанными открытыми проводящими частями.

Примечание – Термин «тип заземления системы» устанавливает специальные требования ко всем элементам, входящим в состав системы распределения электроэнергии. Для составных частей распределительной электрической сети рассматриваемая характеристика устанавливает следующие требования:

– к источнику питания – наличие или отсутствие заземления его частей, находящихся под напряжением. Если источник питания имеет заземлённую часть, находящуюся под напряжением, то в распределительной электрической сети может быть выполнено дополнительное заземление проводников, которые имеют электрическое соединение с заземлённой частью источника питания, находящейся под напряжением. Если источник питания имеет изолированные от земли части, находящиеся под напряжением, то проводники распределительной электрической сети, как правило, должны быть изолированы от земли или, как исключение, какой-то проводник может быть заземлён через большое полное сопротивление.

– к линии электропередачи – требования к устройству защитных, нейтральных, средних и заземленных линейных проводников.

Для электроустановок или электрооборудования этой характеристикой устанавливают требования к выполнению заземления открытых проводящих частей, а также к наличию или отсутствию электрического соединения последних с заземлённой частью источника питания, находящейся под напряжением.

3.1.56 токопроводящий проводник: Проводник, по которому при нормальных условиях протекает электрический ток.

Примечание – К токопроводящим проводникам относят линейный проводник (L), нейтральный проводник (N), средний проводник (M), PEN-проводник, PE-M-проводник и PE-L-проводник. Защитный проводник (PE) не является токопроводящим проводником.

3.1.57 ток прикосновения: Электрический ток, протекающий через тело человека и животного, когда они касаются одной или нескольких доступных частей электроустановки или электрооборудования при нормальных условиях.

3.1.58 ток утечки: Электрический ток, протекающий в землю, открытые, сторонние проводящие части и защитные проводники при нормальных условиях.

3.1.59 уравнивание потенциалов: Выполнение электрических соединений между проводящими частями для обеспечения эквипотенциальности.

Примечание – Следует различать:

- (основное) защитное уравнивание потенциалов;
- дополнительное уравнивание потенциалов;
- незаземленное местное уравнивание потенциалов;
- функциональное уравнивание потенциалов.

3.1.60 условный ток срабатывания (защитного устройства): Определенное значение электрического тока, вызывающего срабатывание защитного устройства в течение определенного времени.

Примечание – Условный ток срабатывания больше, чем номинальный ток или установленный ток устройства, а условное время изменяется в зависимости от типа и номинального тока защитного устройства. Для плавких предохранителей этот ток называют «условный ток плавления вставки». Для автоматических выключателей этот ток называют «условный ток срабатывания».

3.1.61 устройство дифференциального тока; УДТ: Контактное коммутационное устройство, предназначенное включать, проводить и отключать токи при нормальных условиях и автоматически отключать электрическую цепь, когда дифференциальный ток достигает заданного значения при определенных условиях.

Примечания

1 Устройство дифференциального тока может быть комбинацией различных отдельных элементов, предназначенных обнаруживать и оценивать дифференциальный ток, а также включать и отключать электрический ток.

2 В нормативных документах наряду с термином «устройство дифференциального тока» применяют термин «устройство защитного отключения».

3.1.62 устройство защиты от сверхтока: Устройство, предназначенное отключать электрическую цепь в случаях, когда электрические токи в ее проводниках превышают определенные значения в течение установленного времени.

3.1.63 части, доступные одновременно прикосновению: Проводящие части, которых человек или животное могут коснуться одновременно.

Примечание – С точки зрения основной защиты часть, находящаяся под напряжением, может быть одновременно доступной:

- с другой частью, находящейся под напряжением;

- с открытой проводящей частью;
- со сторонней проводящей частью;
- с защитным проводником;
- с землей или проводящим полом.

Следующие части могут образовывать одновременно доступные части с точки зрения защиты при повреждении:

- открытые проводящие части;
- сторонние проводящие части;
- защитные проводники;
- земля или проводящий пол.

Термин «прикосновение» означает любой контакт с любой частью тела (рукой, ногой, головой и т.д.).

3.1.64 часть, находящаяся под напряжением: Проводящая часть, предназначенная находиться под напряжением при нормальных условиях, включая нейтральный проводник и средний проводник, но, как правило, не PEN-проводник, PE-M-проводник, или PE-L-проводник.

Примечания

1 Данное понятие необязательно подразумевает риск поражения электрическим током.

2 В нормативных документах наряду с термином «часть, находящаяся под напряжением» применяют термин «токоведущая часть».

3.1.65 функциональное (рабочее) заземление: Заземление, выполняемое по условиям функционирования не в целях электрической безопасности.

Примечание – В нормативных документах, в том числе в настоящем стандарте, наряду с термином «функциональное заземление» применяется термин "рабочее заземление".

3.1.66 функциональное уравнивание потенциалов: Уравнивание потенциалов, выполняемое по условиям функционирования не в целях электрической безопасности.

3.1.67 эквипотенциальность: Состояние, при котором проводящие части находятся под практически равными электрическими потенциалами.

3.1.68 электрическая безопасность: Отсутствие недопустимого риска, обусловленного электрическим током.

3.1.69 электрическая установка (электроустановка): Совокупность взаимосвязанного электрического оборудования, имеющего согласованные характеристики, предназначенная выполнять определенные цели.

3.1.70 (электрическая) цепь (электрической установки): Совокупность электрического оборудования электрической установки, защищенная от сверхтоков одним и тем же защитным устройством (устройствами).

Примечание – Электрическая цепь состоит из проводников, находящихся под напряжением, защитных проводников (при наличии), защитного устройства и соответствующей коммутационной аппаратуры, аппаратуры управления и вспомогательных устройств. Защитный проводник может быть общим для нескольких электрических цепей.

3.1.71 (электрически) квалифицированный персонал: Лица, имеющие соответствующее образование и опыт, позволяющие им оценивать риски и избегать опасностей, которые может создавать электричество.

3.1.72 (электрически) инструктированный персонал: Лица, соот-

ветственно проинструктированные электротехнически квалифицированным персоналом или выполняющие работы под наблюдением квалифицированного персонала, что позволяет им оценивать риски и избегать опасности, которые может создавать электричество.

3.1.73 электрически независимый заземлитель: Заземлитель, расположенный на таком расстоянии от других заземлителей, что электрические токи, протекающие между ними и Землёй, не оказывают существенного влияния на электрический потенциал независимого заземлителя.

3.1.74 электрическое оборудование (электрооборудование): Изделие, предназначенное для производства, передачи и изменения характеристик электрической энергии, а также для её преобразования в энергию другого вида.

3.1.75 электроприемник: Электрическое оборудование, предназначенное для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

3.1.76 электрооборудование класса 0: Электрическое оборудование, в котором основную изоляцию используют в качестве меры предосторожности для основной защиты, а защита при повреждении не предусмотрена.

3.1.77 электрооборудование класса I: Электрическое оборудование, в котором основную изоляцию используют в качестве меры предосторожности для основной защиты, а присоединение открытой проводящей части к защитному проводнику – в качестве меры предосторожности для защиты при повреждении.

3.1.78 электрооборудование класса II: Электрическое оборудование, в котором основную изоляцию используют в качестве меры предосторожности для основной защиты, а дополнительную изоляцию – в качестве меры предосторожности для защиты при повреждении, или в котором основную защиту и защиту при повреждении обеспечивают усиленной изоляцией.

3.1.79 электрооборудование класса III: Электрическое оборудование, в котором ограничение напряжения значением сверхнизкого напряжения используют в качестве меры предосторожности для основной защиты, а защита при повреждении не предусмотрена.

3.1.80 электроустановка здания: Совокупность взаимосвязанного электрооборудования, установленного в здании и имеющего согласованные характеристики.

3.1.81 эталонная земля: Часть Земли, проводящая электрический ток и находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземляющего устройства, электрический потенциал которой условно принят равным нулю.

Примечание - Понятие «Земля» означает планету со всеми её физическими свойствами.

3.2 Сокращения:

ВЛ – воздушная линия электропередачи;

ВЛИ – воздушная линия электропередачи напряжением 0,4 кВ с самонесущими изолированными проводами (СИП);

ВЛП – воздушная линия с покрытыми защитной изолирующей оболочкой проводами напряжением 10 кВ

ЗУ – заземляющее устройство;

КЗ – короткое замыкание;

КЛ – кабельная линия электропередачи

НКУ – низковольтное комплектное устройство распределения и управления (в настоящем стандарте к НКУ относятся НКУз и ЩУЭ);

НКУз – НКУ защищенное (устанавливается на опоре СТП 10/0,4 кВ);

ОПН – ограничитель перенапряжения нелинейный

ПС – электрическая подстанция

ПУМ – прямой удар молнии

РП – распределительный пункт

РС 0,4-10 кВ – распределительная электрическая сеть 0,4-10 кВ;

СТП 10/0,4 кВ – столбовая подстанция напряжением 10/0,4 кВ;

ЩУЭ – щиток учета электроэнергии выносного типа (относится к НКУз).

4 Классификация и типы заземляющих устройств, заземлителей и заземляющих проводников

4.1 ЗУ классифицируют по следующим признакам:

а) по назначению:

– ЗУ электроустановок напряжением до 1 кВ;

– ЗУ электроустановок напряжением выше 1 кВ;

– ЗУ молниезащиты;

– ЗУ взрыво- и пожароопасных объектов;

– ЗУ высоковольтных испытательных лабораторий;

– ЗУ электрохимической защиты;

б) по выполняемым функциям:

– защитное заземление – для обеспечения электробезопасности;

– помехозащитное заземление – для обеспечения электромагнитной совместимости оборудования;

– молниезащитное (грозозащитное) заземление – для отвода в грунт токов молнии;

– рабочее (функциональное) заземление – для обеспечения требуемых режимов и надежной работы электроустановки, системы или оборудования.

4.2 Заземлители классифицируют по следующим признакам:

а) по типу исполнения:

– искусственные и естественные;

б) по конструктивному исполнению:

– продольные и поперечные горизонтальные;

– вертикальные (или наклонные);

– выносные;

– контурные горизонтальные;

– радиально расходящиеся.

4.3 Заземляющие проводники классифицируют по назначению:

- защитные проводники;
- проводники системы уравнивания потенциалов;
- магистральные проводники.

5 Общие требования к заземляющим устройствам, заземлителям и заземляющим проводникам электроустановок

5.1 Характеристики

Характеристики ЗУ должны отвечать требованиям обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала и надежной работы оборудования в нормальных и аварийных условиях в течение всего срока службы электроустановки и должны соответствовать требованиям ТКП 181, ТКП 339, ТКП 427, СТП 33240.38.101.

5.2 Назначение

5.2.1 ЗУ должны обеспечивать следующие эксплуатационные функции электроустановок:

- действие релейных защит от замыкания на землю;
- действие защит от перенапряжений;
- отвод в грунт токов молнии;
- отвод рабочих токов (токов несимметрии и т. д.);
- защиту изоляции низковольтных цепей и оборудования;
- снижение электромагнитных влияний на вторичные цепи;
- защиту подземного оборудования и коммуникаций от токовых перегрузок;
- стабилизацию потенциалов относительно земли и защиту от статического электричества;
- обеспечение взрыво- и пожаробезопасности.

5.2.2 ЗУ используемое для заземления электроустановок одного или различных назначений и напряжений, должно удовлетворять требованиям, предъявляемым к заземлению электроустановок конкретных типов:

- защита людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции;
- условия режимов работы сетей;
- защита электрооборудования от перенапряжения и др., в течение всего периода эксплуатации.

Требования, предъявляемые к защитному заземлению, являются приоритетными.

5.3 Требования к конструкции

5.3.1 Для заземления в электроустановках различных назначений и напряжений, территориально сближенных, рекомендуется применять одно общее ЗУ.

5.3.2 При выполнении отдельного (независимого) заземлителя для рабочего заземления по условиям работы информационного или другого чув-

ствительного к воздействию помех оборудования должны быть приняты специальные меры защиты от поражения электрическим током, исключаящие одновременное прикосновение к частям, которые могут оказаться под опасной разностью потенциалов при повреждении изоляции.

5.3.3 Для объединения ЗУ различных электроустановок в одно общее ЗУ могут быть использованы естественные и искусственные заземляющие проводники, количество которых должно быть не менее двух.

5.4 Требования к заземляющим устройствам, заземлителям и заземляющим проводникам электроустановок подстанций напряжением выше 1 кВ

5.4.1 Характеристики заземляющих устройств

ЗУ электроустановок напряжением выше 1 кВ (электрических станций и подстанций) должно обеспечивать нормируемые параметры по условиям обеспечения электробезопасности и ЭМС для нормальных и наиболее опасных аварийных режимов:

- однофазное (двухфазное) КЗ на землю на РУ;
- КЗ на землю на линиях, отходящих от РУ;
- двойное замыкание на землю (замыкание на землю двух фаз в различных точках) в сети с изолированной нейтралью;
- стекание токов молнии с молниеотводов, установленных на зданиях и в РУ электрических станций и подстанций, и токов через ограничители перенапряжений;
- стекание токов несимметрии и токов шунтирующих реакторов.

Нормируемые параметры должны быть обеспечены при наиболее неблагоприятных условиях в любое время года.

5.5 Требования к заземляющим устройствам электроустановок напряжением до 1 кВ

5.5.1 Требования назначения

5.5.1.1 Основные требования к ЗУ защитным проводникам и проводникам уравнивания потенциалов, применяемых для обеспечения безопасности в электроустановках, определены в ТКП 339 и [1,2].

5.5.1.2 ЗУ используемое для заземления электроустановок напряжением до 1 кВ одного или различных назначений и напряжений, должно удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к заземлению этих электроустановок:

- защита людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции;
- условия режимов работы сетей;
- защита электрооборудования от перенапряжения и т. д. в течение всего периода эксплуатации. Приоритетными являются требования, предъявляемые к защитному заземлению.

5.5.2 Требования к конструкции заземляющих устройств

5.5.2.1 В электроустановках различных назначений и различных напряжений, территориально приближенных относительно друг друга, должно применяться одно общее ЗУ.

5.5.2.2 ЗУ должны быть механически прочными, термически и динамически стойкими к токам замыкания на землю.

5.5.2.3 При выполнении отдельного (независимого) заземлителя для рабочего заземления по условиям работы информационного или другого чувствительного к воздействию помех оборудования должны быть приняты специальные меры защиты от поражения электрическим током, исключаящие одновременное прикосновение к частям, которые могут оказаться под опасной разностью потенциалов при повреждении изоляции.

5.5.2.4 Для ЗУ электроустановок напряжением до 1 кВ могут быть использованы искусственные и естественные заземлители.

Если сопротивление ЗУ или напряжение прикосновения имеют допустимые значения, а также обеспечиваются нормированные значения напряжения на ЗУ и допустимые плотности токов, протекающих по естественным заземлителям, выполнение искусственных заземлителей в электроустановках напряжением до 1 кВ не является обязательным.

5.5.2.5 Использование естественных заземлителей в качестве элементов ЗУ не должно приводить к их повреждению при протекании по ним токов короткого замыкания, возникновению искрения в местах присоединения или на стыках труб, или к нарушению работы устройств, с которыми они связаны.

5.5.2.6 При применении системы TN при питании по кабельным линиям на вводе в электроустановки зданий, а также в других доступных местах рекомендуется выполнять повторное заземление PE и PEN проводников. Для повторного заземления в первую очередь следует использовать естественные заземлители.

5.5.2.7 При применении в качестве защитной меры автоматического отключения питания сторонние проводящие части должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания в системе TN и заземлены в системах IT и TT. В электроустановках, в которых в качестве защитной меры применено автоматическое отключение питания, должно быть выполнено уравнивание потенциалов.

5.5.2.8 Не требуется преднамеренно присоединять к нейтрали источника в системе TN и заземлять в системах IT и TT:

а) корпуса электрооборудования и аппаратов, установленных на металлических основаниях: конструкциях, распределительных устройствах, на щитах, шкафах, станинах станков, машин и механизмов, присоединенных к системе уравнивания потенциалов, при условии обеспечения надежного электрического контакта между этими корпусами и основаниями;

б) конструкции оборудования при условии надежного электрического контакта между этими конструкциями и установленным на них электрооборудованием, присоединенным к защитному проводнику;

в) съемные или открывающиеся части металлических каркасов камер распределительных устройств, шкафов, ограждений и т. п., если на съемных (открывающихся) частях не установлено электрооборудование или если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного тока или 15 В постоянного тока – во всех остальных случаях.

г) арматуру изоляторов ВЛ и присоединяемые к ней крепежные детали;

д) открытые проводящие части электрооборудования с двойной изоляцией;

е) металлические скобы, закрепы, отрезки труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия и другие подобные детали электропроводок площадью до 100 см², в том числе коробки для установки выключателей и розеток.

5.5.4 Требования к системам уравнивания потенциалов

5.5.4.1 В зданиях и сооружениях должны быть выполнены основная и дополнительная системы уравнивания потенциалов.

5.5.4.2 Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках напряжением до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части:

а) нулевой защитный (РЕ) проводник или PEN-проводник питающей линии в системе TN;

б) заземляющий проводник, присоединенный к ЗУ электроустановки, в системах IT и TT;

в) заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если заземлитель имеется);

г) металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: трубы горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т. п.

Если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в здание, к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания;

д) металлические части каркаса здания;

е) металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования. При наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине РЕ-щитов питания вентиляторов и кондиционеров;

ж) ЗУ системы молниезащиты;

и) заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если таковой имеется и, если отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к ЗУ защитного заземления;

к) металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены как можно ближе к точке их входа в здание.

Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

5.5.4.3 Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе TN и защитные заземляющие проводники в системах IT и TT, включая защитные проводники штепсельных розеток.

Для уравнивания потенциалов могут быть использованы специально предусмотренные проводники либо открытые проводящие части и сторонние проводящие части, если они удовлетворяют требованиям к защитным проводникам в отношении проводимости и непрерывности электрической цепи.

5.5.4.4 Схемы уравнивания потенциалов приведены в приложении А.

5.5.4.5 Главный заземляющий зажим (шина) должен соответствовать ТКП 339 (пункт 4.3.13).

5.5.4.6 Главная заземляющая шина может быть выполнена внутри вводного устройства электроустановки напряжением до 1 кВ или отдельно от него. Внутри вводного устройства в качестве главной заземляющей шины следует использовать шину РЕ. При отдельной установке главная заземляющая шина должна быть расположена в доступном, удобном для обслуживания месте вблизи вводного устройства.

В местах, доступных только квалифицированному персоналу (например, щитовых помещениях жилых домов), главную заземляющую шину следует устанавливать открыто. В местах, доступных посторонним лицам (например, подъездах или подвалах домов), она должна иметь защитную оболочку – шкаф или ящик с запирающейся на ключ дверцей.

На дверце или на стене над шиной должен быть нанесен знак заземления  по ГОСТ 21130.

Если здание имеет несколько обособленных вводов, главная заземляющая шина должна быть выполнена для каждого вводного устройства. При наличии встроенных трансформаторных подстанций главная заземляющая шина должна устанавливаться возле каждой из них. Эти шины должны соединяться проводником уравнивания потенциалов, сечение которого должно быть не менее половины сечения РЕ(РЕМ)-проводника той линии среди отходящих от щитов низкого напряжения подстанций, которая имеет наибольшее сечение.

Для соединения нескольких главных заземляющих шин допускается использовать сторонние проводящие части, если они соответствуют требованиям к непрерывности и проводимости электрической цепи.

5.5.4.7 Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Применение алюминиевых шин не допускается.

Сечение отдельно установленной главной заземляющей шины должно быть не менее сечения РЕ(PEN)-проводника питающей линии.

5.5.4.8 Для выполнения измерений сопротивления ЗУ в удобном месте должна быть предусмотрена возможность отсоединения заземляющего проводника. В электроустановках напряжением до 1 кВ таким местом, как правило, является главная заземляющая шина. Отсоединение заземляющего проводника должно быть возможно только при помощи инструмента.

5.5.6 Требования к заземляющим проводникам

5.5.6.1 Сечения заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1 кВ должны соответствовать требованиям ТКП 339 к защитным проводникам.

5.5.6.2 Прокладка в земле алюминиевых неизолированных проводников не допускается.

5.5.6.3 Заземляющий проводник, присоединяющий заземлитель рабочего (функционального) заземления к главной заземляющей шине в электроустановках напряжением до 1 кВ, должен иметь сечение не менее: медный – 10 мм², алюминиевый – 16 мм², стальной – 75 мм².

5.5.6.4 У мест ввода заземляющих проводников в здания должен быть нанесен опознавательный знак  по ГОСТ 21130.

5.5.6.5 В качестве РЕ-проводников в электроустановках напряжением до 1 кВ допускается использовать:

а) специально предусмотренные проводники: жилы многожильных кабелей; изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами; стационарно проложенные изолированные или неизолированные проводники;

б) открытые проводящие части электроустановок: алюминиевые оболочки кабелей; стальные трубы электропроводок; металлические оболочки и опорные конструкции шинопроводов и комплектных устройств заводского изготовления.

Примечание – Металлические короба и лотки электропроводок допускается использовать в качестве защитных проводников при условии, что конструкцией коробов и лотков предусмотрено такое использование и что данное указание приведено в документации изготовителя, а их расположение исключает возможность механического повреждения. При демонтаже конструкцией коробов и лотков, используемых в качестве защитных проводников, должен быть выполнен монтаж дополнительных проводников, обеспечивающих непрерывность защитной цепи.

в) некоторые сторонние проводящие части: металлические строительные конструкции зданий и сооружений (фермы, колонны и т. п.); арматура железобетонных строительных конструкций зданий; металлические конструкции производственного назначения (подкрановые рельсы, галереи,

площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т. п.);

г) ЗУ электроустановки напряжением выше 1 кВ, если электроустановка напряжением до 1 кВ (сеть собственных нужд) расположена на территории ЭС или ПС.

5.5.6.6 Использование открытых и сторонних проводящих частей в качестве РЕ-проводников допускается, если они отвечают требованиям к проводимости и непрерывности электрической цепи.

Сторонние проводящие части могут быть использованы в качестве РЕ-проводников, если они, кроме того, одновременно отвечают следующим требованиям: непрерывность электрической цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищенными от механических, химических и других повреждений; их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости.

5.5.6.7 Не допускается использовать в качестве РЕ-проводников: металлические оболочки изоляционных трубок и трубчатых проводов, несущие тросы при тросовой электропроводке, металлорукава, а также свинцовые оболочки проводов и кабелей; трубопроводы газоснабжения и другие трубопроводы горючих и взрывоопасных веществ и смесей; трубы канализации и центрального отопления; водопроводные трубы при наличии в них изолирующих вставок.

5.5.6.8 Нулевые защитные проводники цепей не допускается использовать в качестве нулевых защитных проводников электрооборудования, питающегося по другим цепям.

5.5.6.9 Запрещается использовать открытые проводящие части электрооборудования в качестве нулевых защитных проводников для другого электрооборудования, за исключением оболочек и опорных конструкций шин проводов и комплектных устройств заводского изготовления, обеспечивающих возможность подключения к ним защитных проводников в нужном месте.

Использование специально предусмотренных защитных проводников для иных целей не допускается.

5.5.6.10 В многофазных цепях в системе TN для стационарно проложенных кабелей, жилы которых имеют площадь поперечного сечения не менее 10 мм² по меди или 16 мм² по алюминию, функции нулевого защитного (РЕ) и нулевого рабочего (N) проводников могут быть совмещены в одном проводнике (PEN-проводник).

5.5.6.11 Не допускается совмещение функций нулевого защитного и нулевого рабочего проводников в цепях однофазного и постоянного тока. В качестве нулевого защитного проводника в таких цепях должен быть предусмотрен отдельный, третий проводник. Это требование не распространяется на ответвления от ВЛ напряжением до 1 кВ к однофазным потребителям электроэнергии.

5.5.6.12 Не допускается использование сторонних проводящих частей в качестве единственного PEN-проводника. Это требование не исключает использования открытых и сторонних проводящих частей в качестве дополнительного PEN-проводника при присоединении их к системе уравнивания потенциалов.

5.5.6.13 Когда нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, начиная с какой-либо точки электроустановки, не допускается объединять их за этой точкой по ходу распределения энергии.

В месте разделения PEN-проводника на нулевой защитный и нулевой рабочий проводники необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины для проводников, соединенные между собой. PEN-проводник питающей линии должен быть подключен к зажиму или шине нулевого защитного PE-проводника.

5.5.6.14 Схемы разделения, совмещенного защитного и нейтрального проводника

Если после точки установки функции нейтрального и защитного проводников выполняют отдельные проводники, то не допускается присоединять нейтральный к заземленной части установки. Однако можно из PEN-проводника сформировать несколько нейтральных и защитных проводников.

PEN-проводник в этом случае должны присоединять к зажиму или шине, предназначенной для защитного проводника (см. рисунок 5.2а), если нет специального зажима или шины предназначенной для присоединения PEN-проводника (примеры даны на рисунках 5.2b и 5.2c).

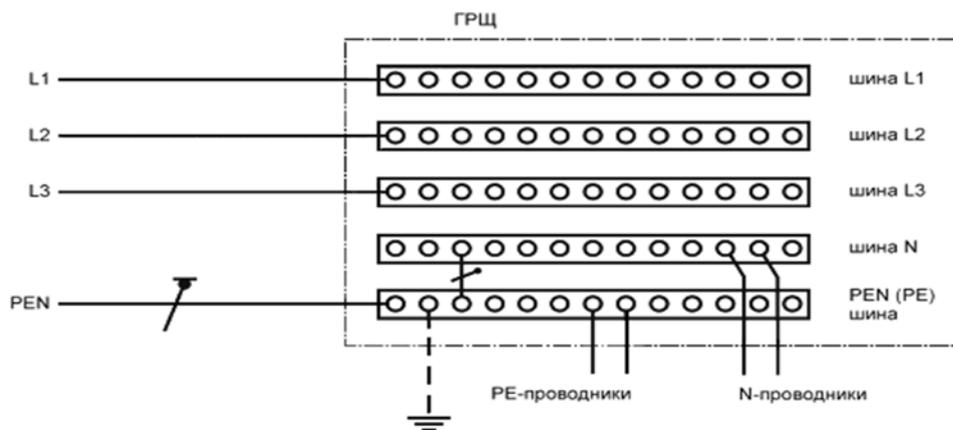


Рисунок 5.2а – Пример 1

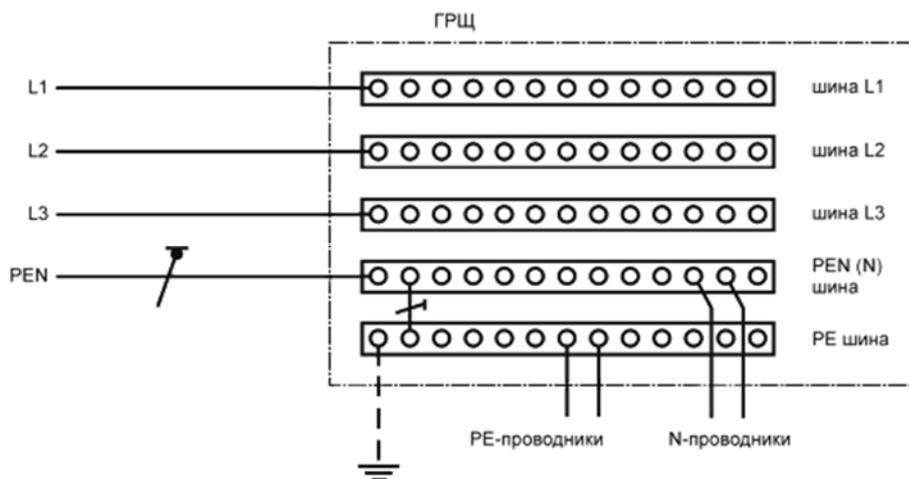


Рисунок 5.2b – Пример 2

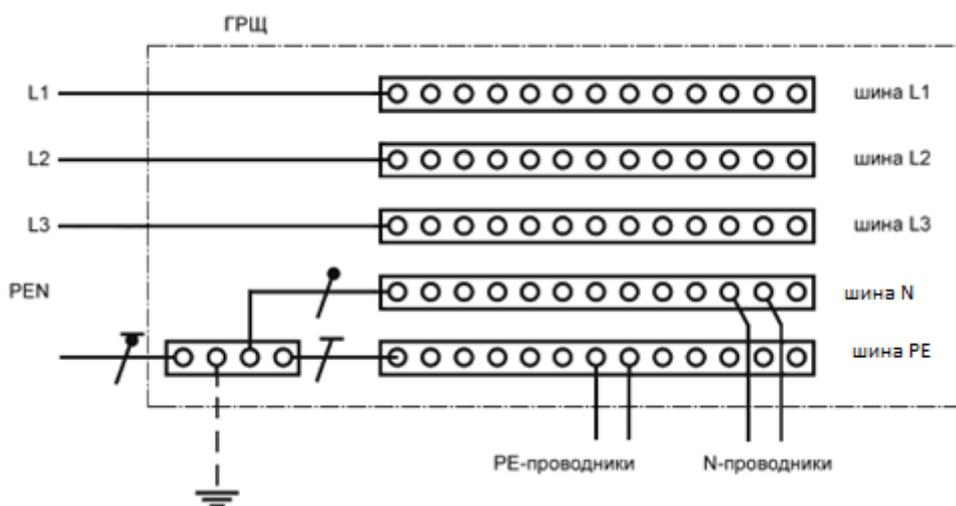


Рисунок 5.2c – Пример 3

5.5.6.15 В качестве проводников системы уравнивания потенциалов могут быть использованы открытые и сторонние проводящие части, или специально проложенные проводники, или их сочетание.

5.5.6.16 Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает 25 мм^2 по меди или равноценное ему из других материалов. Применение проводников большего сечения, как правило, не требуется.

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее: медных – 6 мм^2 , алюминиевых – 16 мм^2 , стальных – 50 мм^2 .

5.5.6.17 Сечение проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее:

- при соединении двух открытых проводящих частей – сечения меньшего из защитных проводников, подключенных к этим частям;

– при соединении открытой проводящей части и сторонней проводящей части – половины сечения защитного проводника, подключенного к открытой проводящей части.

5.5.7 Требования надежности заземляющих устройств электроустановок напряжением до 1 кВ

5.5.7.1 Соединения и присоединения заземляющих, защитных проводников и проводников системы уравнивания и выравнивания потенциалов должны быть надежными и обеспечивать непрерывность электрической цепи.

5.5.7.2 Соединения стальных проводников рекомендуется выполнять посредством сварки. Допускается в помещениях и наружных установках без агрессивных сред соединять заземляющие и нулевые защитные проводники другими способами, обеспечивающими требования ГОСТ 10434.

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

5.5.7.4 Присоединения заземляющих и нулевых защитных проводников, и проводников уравнивания потенциалов к открытым проводящим частям должны быть выполнены при помощи болтовых соединений или сварки.

5.5.7.5 Присоединения оборудования, подвергающегося частому демонтажу или установленного на движущихся частях или частях, подверженных сотрясениям и вибрации, должны выполняться при помощи гибких проводников.

5.5.7.6 При использовании естественных заземлителей для заземления электроустановок и сторонних проводящих частей в качестве защитных проводников и проводников уравнивания потенциалов контактные соединения следует выполнять методами, предусмотренными ГОСТ 12.1.030.

5.5.7.7 Места и способы присоединения заземляющих проводников к протяженным естественным заземлителям (например, к трубопроводам) должны быть выбраны такими, чтобы при разъединении естественных заземлителей для ремонтных работ ожидаемые напряжения прикосновения и расчетные значения сопротивления ЗУ не превышали безопасных значений по ГОСТ 12.1.038.

5.5.7.8 Шунтирование водомеров, задвижек и т. п. следует выполнять при помощи проводника соответствующего сечения в зависимости от того, используется ли он в качестве защитного проводника системы уравнивания потенциалов, нулевого защитного проводника или защитного заземляющего проводника.

5.5.7.9 Присоединение каждой открытой проводящей части электроустановки к нулевому защитному или защитному заземляющему проводнику должно быть выполнено при помощи отдельного ответвления.

Последовательное включение в защитный проводник открытых проводящих частей не допускается.

Присоединение проводящих частей к основной системе уравнивания потенциалов должно быть выполнено при помощи отдельных ответвлений.

Присоединение проводящих частей к дополнительной системе уравнивания потенциалов может быть выполнено при помощи как отдельных ответвлений, так и присоединения к одному общему неразъемному проводнику.

5.5.7.10 Не допускается включать коммутационные аппараты в цепи РЕ- и PEN-проводников, за исключением случаев питания электроприемников при помощи штепсельных соединителей.

5.5.7.11 Допускается одновременное отключение всех проводников на вводе в электроустановки индивидуальных жилых, дачных и садовых домов и аналогичных им объектов, питающихся по однофазным ответвлениям от ВЛ. При этом разделение PEN-проводника на РЕ- и N-проводники должно быть выполнено до вводного защитно-коммутационного аппарата.

5.5.7.12 Если защитные проводники и/или проводники уравнивания потенциалов могут быть разъединены при помощи того же штепсельного соединителя, что и соответствующие фазные проводники, розетка и вилка штепсельного соединителя должны иметь специальные защитные контакты для присоединения к ним защитных проводников или проводников уравнивания потенциалов.

6 Нормирование электрических параметров заземляющих устройств

6.1 Сопротивление ЗУ в зависимости от его назначения должно определяться в соответствующий расчетный сезон. Расчетные сезоны, для которых нормируется допустимая величина сопротивления ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Расчетный сезон для нормирования допустимой величины сопротивления заземляющих устройств электроустановок напряжением 0,38-10 кВ

Расчетный сезон	Вид ЗУ электроустановок 0,38-10 кВ
Зимний (месяцы: Декабрь – Февраль)	Рабочие и защитные ЗУ: – ЗУ ТП 10/0,4 кВ и РП; – ЗУ Разъединительных пунктов 10 кВ (разъединители, выключатели); – ЗУ опор ВЛ (ВЛП) 10 кВ; – повторное заземление нулевого провода ВЛ (ВЛИ) 0,38кВ.
Летний (месяцы: Март – Ноябрь)	Грозозащитные ЗУ: – грозозащитное заземление ВЛ (ВЛИ) 0,38кВ без использования его в качестве рабочего и защитного; – заземления опор ВЛП (ВЛ) 10 кВ при пересечении ими линий связи и радиофикации ; – заземления деревянных опор линий связи и радиофикации при пересечении их ВЛП (ВЛ) 10 кВ; – заземление устройств ограничения перенапряжений и концевых кабельных муфт.

6.2 Допустимая величина сопротивления ЗУ различных видов электроустановок напряжением 0,38-10 кВ в зависимости от эквивалентного удельного сопротивления земли ρ_3 и минимального допустимого нормируемого ТКП 339 сопротивления ЗУ $R_{\text{мин.доп}}$ приведена в таблицах 6.2 и 6.3.

Эквивалентное удельное сопротивление земли ρ_3 определяется в соответствии с рекомендациями 13.5.

Таблица 6.2 – Допустимая величина сопротивления ЗУ различных видов электроустановок напряжением 0,38-10 кВ

ЗУ электроустановки	Эквивалентное удельное сопротивление земли ρ_3 , Ом.м					
	до 100	от 101 до 250	от 251 до 500	от 501 до 1000	от 1001 до 5000	>5001
ЗУ ТП 10/0,4 кВ, РП 10 кВ, совмещенное с ТП 10/0,4 кВ	4	$0,04 \rho_3$	10			
Заземлитель в непосредственной близости от нейтрали трансформатора	30	$0,3 \cdot \rho_3$			300	
ЗУ РП 10 кВ ЗУ Разъединительных пунктов 6-10 кВ	10		$0,02 \cdot \rho_3$		100	
Заземление ж/б опор ВЛП (ВЛ) 10 кВ	В населенной местности	10	15	20	30	$0,006 \cdot \rho_3$
	В ненаселенной местности	30	$0,3 \cdot \rho_3$			
Повторное заземление PEN-проводника ВЛИ 0,38кВ без использования в качестве грозозащитного: – при $R_{\text{макс.доп}}=10$ Ом (одно повторное ЗУ на ВЛИ –при $R_{\text{макс.доп}}=20$ Ом (два повторных ЗУ на ВЛИ – при $R_{\text{макс.доп}}=30$ Ом (три и более повторных ЗУ на ВЛИ	10	$0,1 \cdot \rho_3$		100		
	20	$0,2 \cdot \rho_3$		200		
	30	$0,3 \cdot \rho_3$		300		

Таблица 6.3 – Допустимая величина сопротивления грозозащитных ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ

Вид ЗУ электроустановки	Эквивалентное удельное сопротивление земли ρ_3 , Ом.м					
	до 100	от 101 до 250	от 251 до 500	от 501 до 1000	от 1001 до 5000	>5001
Грозозащитное заземление ВЛИ 0,38кВ	30					
Заземлители для деревянных опор линий связи и радиофикации при пересечении их ВЛП (ВЛ) 10 кВ	20	30	35	45	55	

Вид ЗУ электроустановки	Эквивалентное удельное сопротивление земли ρ_z , Ом.м					
	до 100	от 101 до 250	от 251 до 500	от 501 до 1000	от 1001 до 5000	>5001
Заземлители для деревянных опор ВЛП (ВЛ) 10 кВ при пересечении ими линий связи и радиодиффузии	10	15		20		30
Заземлители для устройств ограничения перенапряжений и концевых кабельных муфт		10				15

7 Выполнение заземляющих устройств ВЛП (ВЛ) 10 кВ, выполненных на железобетонных опорах

7.1 Опоры, устанавливаемые в ненаселенной местности, как правило, дополнительно не заземляются при условии, что стойка опоры имеет соединение металла с грунтом площадью не менее 500 см² (нижний заземляющий выпуск диаметром 10 мм и длиной не менее 1,6 м) и на ней установлены линейные штыревые изоляторы типов ШФ10-Г, ШС10-Г, ШФ20-Г или по два подвесных изолятора в гирлянде.

7.2 Заземлению подлежат опоры (см. рисунок 7.1, [3, 4]):

- устанавливаемые в населенной местности;
- на подходах к ПС (согласно ТКП 339 (пункт 6.2.8.21)). Длина подхода – от 200 до 300 м;
- на которых установлены СТП;
- на которых установлено высоковольтное оборудование (реклоузеры, трансформаторы, разъединители, предохранители и др.);
- на которых установлены разрядники, ограничители перенапряжений и т.д.;
- на которых установлены ШУЭ;
- устанавливаемые на переходах через инженерные сооружения (линии связи, железные и автомобильные дороги и др.).

7.3 Все металлоконструкции опор, за исключением металлоконструкций хомутов крепления железобетонных приставок и узла подкоса, должны быть соединены с заземляющими выпусками.

Оборудование (реклоузеры, разъединители, предохранители и др.), устанавливаемое на опоре, присоединяется к ЗУ отдельными заземляющими проводниками.

На опорах анкерного типа для связи с ЗУ во всех случаях следует использовать арматуру стойки и подкоса.

7.4 Вокруг опор, на которых установлены высоковольтные разъединители, на глубине 0,5 м должен быть проложен замкнутый горизонтальный заземлитель (контур), к которому должно быть присоединено заземляемое оборудование. Контур прокладывается на расстоянии от 0,8 до 1 м от опоры так, чтобы во время работы ноги оператора находились над заземлителем.

Сопrotивление заземления должно удовлетворять требованиям, приведенным в таблице 6.2 для ЗУ разъединительных пунктов 6-10 кВ.

7.5 Если на ВЛП (ВЛ) применяются изоляторы класса напряжения 20 кВ, разъединительные пункты, имеющие класс изоляции ниже чем класс изоляции ВЛП (ВЛ), должны быть защищены устройствами ограничения перенапряжений со стороны питания. В случае секционирования сети с двухсторонним питанием таким разъединителем, находящимся длительно в отключенном положении, устройства ограничения перенапряжений устанавливаются с двух сторон.

7.6 Кабельные вставки в воздушные линии должны быть защищены по обоим концам устройствами ограничения перенапряжений. Кабельные выходы от ТП – в месте подключения ВЛ. Как правило, устройства ограничения перенапряжений следует устанавливать на концевой опоре ВЛ.

Заземляющие зажимы устройств ограничения перенапряжений, корпуса кабельных муфт, металлические оболочки кабелей и металлоконструкции железобетонных опор должны быть по кратчайшему пути соединены между собой и присоединены к выпуску заземления.

7.7 Ящики учета, установленные на опорах, должны быть заземлены. Для чего необходимо заземляющий зажим ящика присоединить к нижнему заземляющему выпуску опоры при расположении ящика в нижней части опоры или к верхнему заземляющему выпуску при расположении ящика в верхней части опоры.

7.8 Снижение сопротивления заземления опор ВЛП 10 кВ с установленными устройствами защиты от индуктированных перенапряжений по сравнению с требованиями таблицы 6.2, как правило, не требуется.

7.9 Для защиты ВЛП от ПУМ разрядники мультикамерные экранного типа должны устанавливаться на опоре ВЛП в каждую фазу (3 шт.). При проектировании ВЛП (с защитой от ПУМ) рекомендуется использовать руководящие материалы изготовителя мультикамерных разрядников (в том числе при заземлении опор ВЛП).

7.10 На ВЛП, провода которой (после отключения ВЛП) могут оказаться под наведенным напряжением более 25 В (определяется расчетом), должны быть установлены устройства (с прокалывающими зажимами и «защитными рогами» для присоединения переносных заземлений. При этом расстояния между устройствами для присоединения переносных заземлений должны быть не более 100 м (ТКП 427 (пункт 7.15.3.14)).

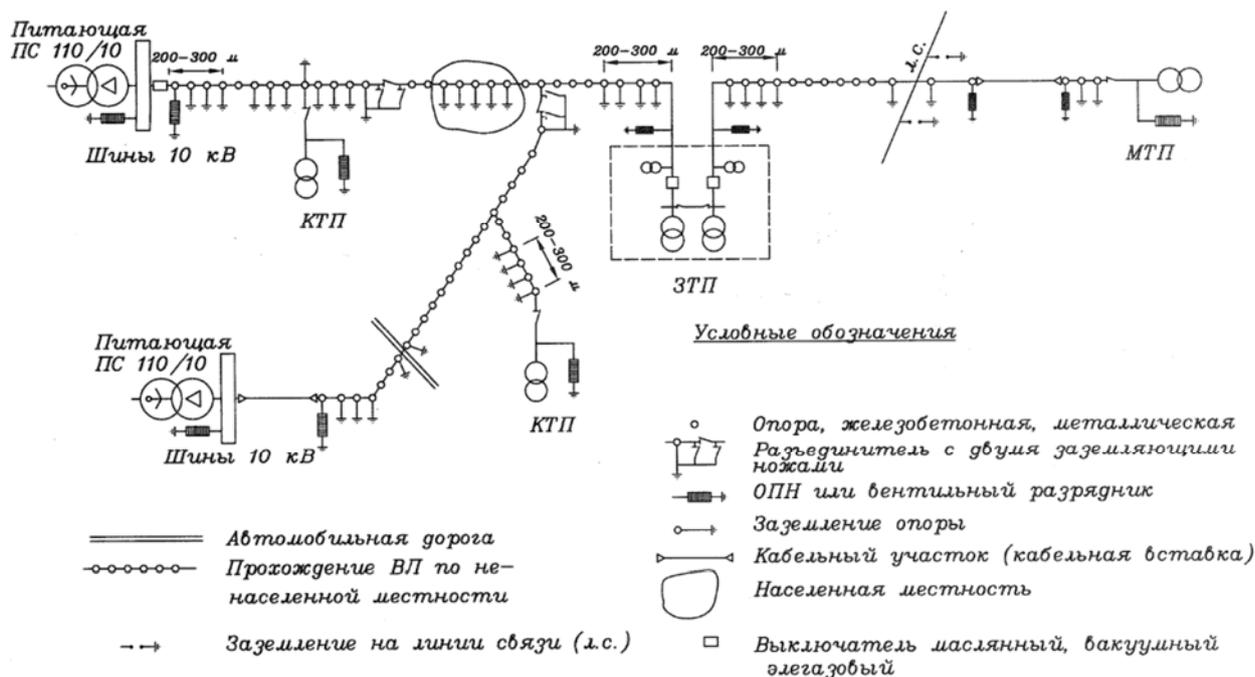


Рисунок 7.1 – Схема выполнения грозозащиты на ВЛ 10 кВ

8. Выполнение заземляющих устройств ВЛИ 0,38 кВ

8.1 Грозозащитные заземления должны выполняться в соответствии ТКП 339, [3,4]:

- через 120 м (4 на рисунке 8.1);
- на опорах с питающими линиями 220 В и 380/220 В в здания, в которых может быть сосредоточено большое количество людей (школы, ясли, больницы и др.) или представляющие большую хозяйственную ценность (животноводческие помещения, склады, мастерские и др.) («5» на рисунке 8.1);
- на концевых опорах, имеющих ответвления к вводам («6» на рисунке 8.1);
- на подставной опоре с ответвлением к вводу, если расстояние от этой опоры до ближайшего заземления превышает 40 м («11» на рисунке 8.1);
- за 50 м от конца линии, как правило, на предпоследней опоре («7» на рисунке 8.1);
- на опорах в створе пересечения с ВЛП (ВЛ) более высокого класса напряжения («8» на рисунке 8.1).

8.2 На концах ВЛИ или ответвлений от них длиной более 200 м, а также на вводах ВЛИ к электроустановкам, в которых в качестве защитной меры при косвенном прикосновении применено автоматическое отключение питания, должны быть выполнены повторные заземления PEN-проводника. При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например, подземные части опор, а также грозозащитные заземления («1» и «2» на рисунке 8.1).

8.3 Требования к повторному заземлению PEN-проводника изложены в ТКП 339 (пункт 4.3.8).

На концах ВЛ или ответвлений от них длиной более 200 м, а также на вводах ВЛ к электроустановкам, в которых в качестве защитной меры при косвенном прикосновении применено автоматическое отключение питания, должны быть выполнены повторные заземления PEN-проводника. При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например, подземные части опор, а также заземляющие устройства, предназначенные для защиты от грозových перенапряжений.

Указанные повторные заземления выполняются, если более частые заземления по условиям защиты от грозových перенапряжений не требуются.

Заземляющие проводники для повторных заземлений PEN-проводника должны иметь размеры не менее приведенных в ТКП 339 (таблица 4.3.4).

Общее сопротивление растеканию заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений PEN-проводника каждой ВЛ в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 690, 400, 230 В источника трехфазного тока или 400, 230, 133 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

При удельном сопротивлении земли $\rho > 100$ Ом·м допускается увеличивать указанные нормы в $0,01\rho$ раз, но не более десятикратного.

8.3 На железобетонных опорах, имеющих ЗУ, корпуса светильников уличного освещения, ящиков, щитков (ЩУЭ) и шкафов, арматура опор, крюки и штыри фазных проводов, установленных на опоре, тросы, на которых укреплены кабели и провода без заземленных или заземленных оболочек и брони, должны быть занулены и заземлены на опорах, имеющих ЗУ, и занулены на опорах, не имеющих ЗУ («З» на рисунке 8.1).

Металлоконструкции хомутов крепления железобетонных приставок, узла подкоса не заземляются.

8.4 ЩУЭ, установленные на железобетонных опорах, должны быть занулены и заземлены на опорах, имеющих ЗУ, и занулены на опорах, не имеющих ЗУ. Для чего необходимо заземляющий зажим ящика присоединить к нижнему заземляющему выпуску опоры, при этом верхний заземляющий выпуск должен быть присоединен к PEN-проводнику ВЛ.

8.5 На деревянных опорах крюки и штыри не заземляются, за исключением опор, где выполнено повторное (грозозащитное) заземление PEN-проводника.

8.6 Кабельные вставки в ВЛИ должны быть защищены по обоим концам устройствами ограничения перенапряжений («9» на рисунке 8.1).

Заземляющие зажимы разрядников, корпуса кабельных муфт, металлические оболочки кабелей и металлоконструкции железобетонных опор должны быть по кратчайшему пути соединены между собой и с ЗУ.

На опорах анкерного типа для связи с ЗУ во всех случаях следует использовать арматуру стойки и подкоса.

8.7 Устройства грозозащиты и заземления на линиях с изолированными проводами, выполненных самонесущими изолированными проводами с неизолированной нулевой жилой, выполняются по требованиям для ВЛ с неизолированными проводами.

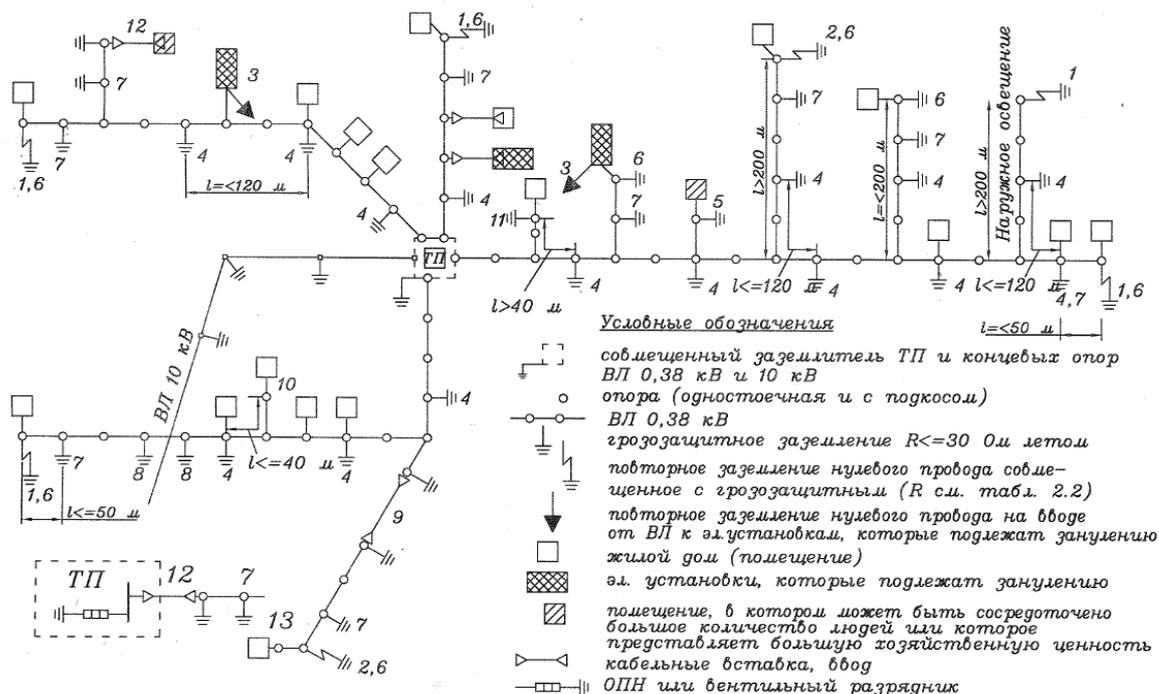


Рисунок 8.1 – Схема выполнения заземления опор ВЛ 0,38 кВ

9 Выполнение заземляющих устройств КЛ 0,38 кВ

9.1 Кабельные линии должны иметь повторные заземления PEN-проводника на концах линий и ответвлений длиной более 200 м, а также на вводах в помещения, электроустановки которых подлежат заземлению. При этом в первую очередь используется естественные заземлители («12» на рисунке 8.1).

9.2 Металлические оболочки и броня кабелей, кабельные конструкции, а также распределительные ящики (щиты), в которых разделяются кабели, должны быть присоединены к ЗУ или занулены.

10 Выполнение заземляющих устройств РП и ТП 10/0,4 кВ

10.1 Для ТП должно быть выполнено одно общее заземляющее устройство, к которому должны быть присоединены:

- нейтраль трансформатора на стороне напряжением до 1 кВ;
- корпус трансформатора;

- металлические оболочки и броня кабелей напряжением 10 и 0,38 кВ;
- открытые проводящие части электроустановок;
- сторонние проводящие части.

10.2 Вокруг площади, занимаемой отдельно стоящей подстанцией (РП, ТП), на глубине 0,3-0,5 м и на расстоянии 0,8-1,0 м от края фундамента здания подстанции необходимо прокладывать замкнутый горизонтальный заземлитель (контур), присоединенный к заземляющему устройству.

Вокруг площади, занимаемой отдельно стоящей подстанцией с открытым РУ напряжением выше 1 кВ, на глубине не менее 0,5 м и на расстоянии не более 1,0 м от края фундаментов открыто установленного оборудования, должен быть проложен замкнутый горизонтальный заземлитель (контур), присоединенный к заземляющему устройству.

10.3 При выполнении ЗУ РП и ТП в первую очередь следует использовать ЗУ концевых опор, отходящих ВЛ. ЗУ РП и ТП с присоединенными ЗУ концевых опор ВЛ (ВЛП) 10 кВ и ВЛИ 0,38 кВ составляют совмещенный заземлитель.

10.4 ЗУ опор и вертикальные заземлители ЗУ подстанции соединяются посредством прокладки на глубине не менее 0,5 м горизонтальных заземлителей, которые располагаются в виде замкнутого контура на расстоянии 0,8-1,0 м вокруг площади занимаемой оборудованием.

10.5 При установке КТП (МТП, СТП) на опорном кронштейне концевой опоры ВЛП (ВЛ) 10 кВ соединение нейтрали трансформатора с ЗУ осуществляется отдельным проводником. Заземляющий контакт КТП и трансформатора, привод разъединителя соединяются с консолью отдельными проводниками. Консоль соединяется с ЗУ отдельным проводником.

10.6 ЗУ закрытых ТП выполняется согласно проекта привязки (приложение Б).

10.7 Если в PEN-проводнике, соединяющем нейтраль трансформатора или генератора с шиной PEN распределительного устройства 0,4 кВ, установлен трансформатор тока, то заземляющий проводник должен быть присоединен не к нейтрали трансформатора или генератора непосредственно, а к PEN-проводнику, по возможности, сразу за трансформатором тока. В таком случае разделение PEN-проводника на PE- и N-проводники в системе TN-S должно быть выполнено также за трансформатором тока. Трансформатор тока следует размещать как можно ближе к выводу нейтрали генератора или трансформатора.

10.8 Для защиты оборудования от перенапряжений в ТП (РП) с воздушными вводами со стороны 10 кВ и 0,38 кВ устанавливаются устройства ограничения перенапряжений, которые рекомендуется устанавливать на концевых опорах. Заземляющие зажимы устройств ограничения перенапряжений должны быть непосредственно присоединены к ЗУ по кратчайшему пути.

10.9 При установке ячейки с выключателем (кроме выключателя нагрузки) или трансформатором напряжения на вводе 10 кВ ТП на концевой опоре или на вводе устанавливается комплект устройств ограничения перенапряжений. Заземляющие зажимы устройств ограничения перенапряжений должны быть непосредственно присоединены к ЗУ (совмещенному заземлителю) по кратчайшему пути.

11 Конструктивное выполнение заземляющих устройств

11.1 Соединение частей заземлителя между собой, а также соединение заземлителей с заземляющими проводниками следует выполнять сваркой по ГОСТ 5264 и СТБ 2174 электродами Э-42 по ГОСТ 9467; при этом длина нахлестки должна быть равной ширине проводника при прямоугольном сечении и шести диаметрам – при круглом сечении. Длина сварного шва должна быть не менее двойной ширины при прямоугольном и шести диаметрам – при круглом сечении заземляющих проводников.

При соединении проводников различного сечения длина сварного шва выбирается большей из выбранных по обозначенным выше требованиям для каждого из проводников.

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

11.3 Для выполнения ЗУ железобетонных опор ВЛП (ВЛ) 10 кВ и ВЛИ 0,38 кВ используются имеющиеся в их стойках нижний и верхний заземляющие выпуски, связанные с арматурой стойки.

При необходимости, к нижнему заземляющему выпуску привариваются дополнительные заземлители (лучевые заземлители), которые выполняются из круглой стали: вертикальные диаметром 12 мм и длиной 2,5 или 5 м и горизонтальные диаметром 10 мм и длиной, как правило, равной длине вертикального заземлителя. Соединение заземлителей следует выполнять сваркой внахлестку.

Заземление стальных элементов опор ВЛП (ВЛ) 10 кВ осуществляется присоединением к верхнему заземляющему выпуску стойки сваркой или зажимом типа ПС-2-1.

Заземление стальных элементов опор ВЛИ 0,38 кВ осуществляется присоединением к верхнему заземляющему выпуску стойки зажимом типа ПС-1-1 и к нулевому проводу зажимом типа ПА или ЗПВ.

11.4 При отсутствии в железобетонной стойке нижнего заземляющего выпуска, для присоединения заземлителя к закладным деталям стойки, приваривается круглая сталь диаметром 10 мм.

11.5 Заземляющие проводники для повторного (грозозащитного) заземления должны быть выбраны из условия длительного протекания тока 25 А.

11.6 Каждый элемент опоры, подлежащий заземлению или занулению должен быть присоединен к выпуску заземления или к PEN-

проводнику при помощи отдельного ответвления. Последовательное их присоединение не допускается.

Исключение составляет заземление разрядников, корпусов кабельных муфт, металлических оболочек кабелей и металлоконструкций железобетонных опор, на которых устанавливается перечисленное оборудование, которое выполняется путем соединения заземляющих зажимов между собой по кратчайшему пути и присоединением к выпуску заземления.

Под один заземляющий болт в спуске заземления разрешается присоединять только один проводник ответвления.

Стальные трубы, используемые в качестве заземляющих проводников при прокладке в них СИП на опорах ВЛИ должны иметь контактные электрические соединения соответствующие требованиям предъявляемым ГОСТ 10434 ко второму классу соединений. Должен быть обеспечен надежный контакт стальных труб с корпусами ЩУЭ, низковольтных комплектных устройств (НКУ), шкафов и т.п., установленных на опорах ВЛИ и в которые заводятся трубы.

11.7 Присоединение корпусов светильников уличного освещения к нулевому проводу следует выполнять изолированным медным проводом с атмосферостойкой изоляцией сечением не менее $1,5 \text{ мм}^2$, что и для зарядки светильника. В порядке исключения допускается применение алюминиевого провода с атмосферостойкой изоляцией сечением не менее $2,5 \text{ мм}^2$.

11.8 При сооружении искусственных заземлителей в районах с большим удельным сопротивлением земли рекомендуются следующие мероприятия:

– устройство вертикальных заземлителей увеличенной длины, в том числе составных вертикальных глубинных заземлителей длиной до 30 м, если с глубиной удельное сопротивление земли снижается, а естественные углубленные заземлители (например, скважины с металлическими обсадными трубами) отсутствуют;

– устройство выносных заземлителей, если вблизи (до 2 км) от электроустановки есть места с меньшим удельным сопротивлением земли;

– применение искусственной обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя компонентами, с учетом требований [5] и инструкцией изготовителя компонентов, с целью снижения его удельного сопротивления, если другие способы не могут быть применены или не дают необходимого эффекта. Владелец энергообъекта должен быть поставлен в известность о необходимости периодического восстановления компонентов обработки грунта.

11.9 Для выполнения ЗУ необходимо использовать заземлители из черной или оцинкованной стали, омедненные или медные.

Искусственные заземлители не должны иметь окраски.

Материал и наименьшие размеры заземлителей должны соответствовать приведенным в ТКП 339 (таблица 4.3.4).

12 Электробезопасность

12.1 При проектировании мероприятий по обеспечению условий электробезопасности в электроустановках необходимо руководствоваться требованиями ТКП339 (раздел 4.3), ГОСТ ИЕС 61140, ГОСТ 12.1.030 и ТКП 427.

12.2 Для ТП и РП, питаемых через КЛ непосредственно от шин ПС 110 кВ и выше, необходимо выполнение системы выравнивания потенциалов в случае, если напряжение на ЗУ питающей ПС 110 кВ и выше в режиме ОКЗ превышает 5 кВ. Для этого вокруг здания (территории) ТП (РП) выполняется контурный заземлитель на глубине 0,3-0,5 м и на расстоянии 0,8-1 м от стен здания (края территории). Контурный заземлитель присоединяется к ЗУ ТП (РП).

12.3 Физические принципы заземления и электробезопасности приведены в приложении В.

13 Особенности выполнения заземлителей в сетях 0,38-10 кВ

13.1 Выбор сечения заземлителя

Сопротивление одного вертикального электрода, нижний конец которого находится ниже уровня земли, определяется по выражению:

$$R_B = \frac{0,366\rho}{\ell} \left(\lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right) \text{Ом}, \quad (13.1)$$

где ρ - удельное сопротивление однородной земли, Ом·м;

ℓ - длина вертикального заземлителя (электрода), м (в расчетах примем $\ell=5$ м);

d - внешний диаметр электрода, м;

t - глубина заложения равная расстоянию от поверхности земли до середины электрода, м (в расчетах примем $t = 0,7+2,5=3,2$ м).

Для определения влияния диаметра электрода на величину его сопротивления, выполнены расчеты по формуле (13.1) для нескольких диаметров и приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Влияние диаметра электрода на величину сопротивления

Диаметр электрода, мм	R_B , Ом	Масса электрода, кг	Увеличение расхода стали, раз	Снижение сопротивления, %
10	$0,233\rho$	3,08	–	–
12	$0,227\rho$	4,44	1,44	2,57
16	$0,218\rho$	7,84	2,55	6,43
24	$0,205\rho$	17,76	5,77	12,0
100	$0,16\rho$	308	100	31,3

Как видно из таблицы 13.1 увеличение диаметра в 1,2 раза снижает сопротивление на 2,6%, а расход стали увеличивает почти в 1,5 раза, при увеличении диаметра в 10 раз сопротивление снижается на 31%, а расход стали увеличивается в 100 раз. Тоже относится и к горизонтальному заземлителю, сопротивление которого определяется по выражению:

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366\rho}{\ell} \lg \frac{\ell^2}{dt}, \text{ Ом} \quad (13.2)$$

где ℓ - длина горизонтального заземлителя, м;

d – диаметр проводника заземлителя, м;

t – глубина заложения заземлителя, м.

Как видно из приведенных расчетов с целью снижения сопротивления увеличивать диаметр (сечение) заземлителя не только бесполезно, но и вредно, т.к. это ведет лишь к перерасходу стали, практически не снижая сопротивления заземлителя.

Диаметр (сечение) вертикальных и горизонтальных заземлителей выбирается по механической прочности, коррозионной, а в электроустановках 6-10 кВ горизонтальные заземлители и по термической стойкости. Всем этим критериям в сетях 0,38-10 кВ соответствуют размеры стальных искусственных заземлителей:

Диаметр круглых (прутковых) заземлителей, мм:

неоцинкованных 10

оцинкованных 6

сечение прямоугольных заземлителей, мм² 48

толщина прямоугольных заземлителей, мм 4

Применение больших сечений заземлителей приводит только к повышенному расходу стали, не изменяя других его характеристик.

13.2 Выбор конфигурации заземлителя и расстояния между вертикальными электродами в заземлителе

13.2.1 Обычно заземлители состоят из нескольких, а в земле с высоким удельным сопротивлением из большого числа электродов, объединенных полосой или круглой сталью. Только в том случае, если расстояние между электродами очень велико их сопротивление будет мало зависеть от влияния соседних электродов и иметь минимальное значение. В реальных условиях электроды располагаются более близко друг к другу, и как следствие, возникает взаимное влияние их электрических полей друг на друга при растекании тока с заземлителя. Вследствие наложения полей происходит как бы уменьшение действующего сечения земли около электродов (полос) и увеличение его сопротивления растеканию тока (рисунок 13.1).

Чем больше число электродов в заземлителе и чем меньше расстояние между ними, тем сильнее сказывается взаимное влияние электродов друг на друга. Это влияние оценивается коэффициентом использования заземлителя η :

$$\eta = \frac{R_0}{R_3 \cdot n}, \quad (13.3)$$

где R_0 – сопротивление отдельного электрода (полосы) без учета взаимного влияния,

R_3 – сопротивление заземлителя в целом,

n - число электродов (полос).

η - всегда меньше единицы, а сопротивление заземлителя в целом, всегда больше чем общее сопротивление отдельных заземлителей сложенных параллельно:

$$R_3 = \frac{R_0}{n \cdot \eta}. \quad (13.4)$$

Как влияет близость элементов заземлителя на общее сопротивление заземлителя видно из таблиц 13.2 и 13.3.

Таблица 13.2 – Коэффициент использования вертикальных электродов, размещенных в ряд без учета влияния полосы связи

Отношения расстояния между вертикальными электродами a к их длине l , a/l	Число электродов n , шт.	Коэффициент использования η
1	2	0,84-0,87
	5	0,67-0,72
	15	0,51-0,56
2	2	0,9-0,92
	5	0,79-0,83
	15	0,66-0,73
3	2	0,93-0,95
	5	0,85-0,88
	15	0,76-0,8

Таблица 13.3 – Коэффициент использования параллельно уложенных полос на глубине 0,3-0,8 м (ширина полосы 20-40 мм, прутка из круглой стали диаметром 10-20 мм)

Длина каждой полосы, м	Число параллельных полос, n	Расстояние между полосами, м		
		1	5	15
15	10	Коэффициент использования η		
	2	0,25	0,49	0,72
		0,55	0,75	0,85

Как видно из таблиц 13.2 и 13.3 при близком расположении друг к другу горизонтальные заземлители используются на 25 - 75%, а вертикальные электроды – на 50 - 70%. Это значит, что при одном и том же расходе металла можно получить сопротивление заземлителя в 2 - 4 раза меньшее, если горизонтальные и вертикальные заземлители правильно расположить в земле. Другими словами, одно и тоже сопротивление заземлителя можно получить при меньшем в 2 - 4 раза расходе металла только за счет его грамотного выполнения.

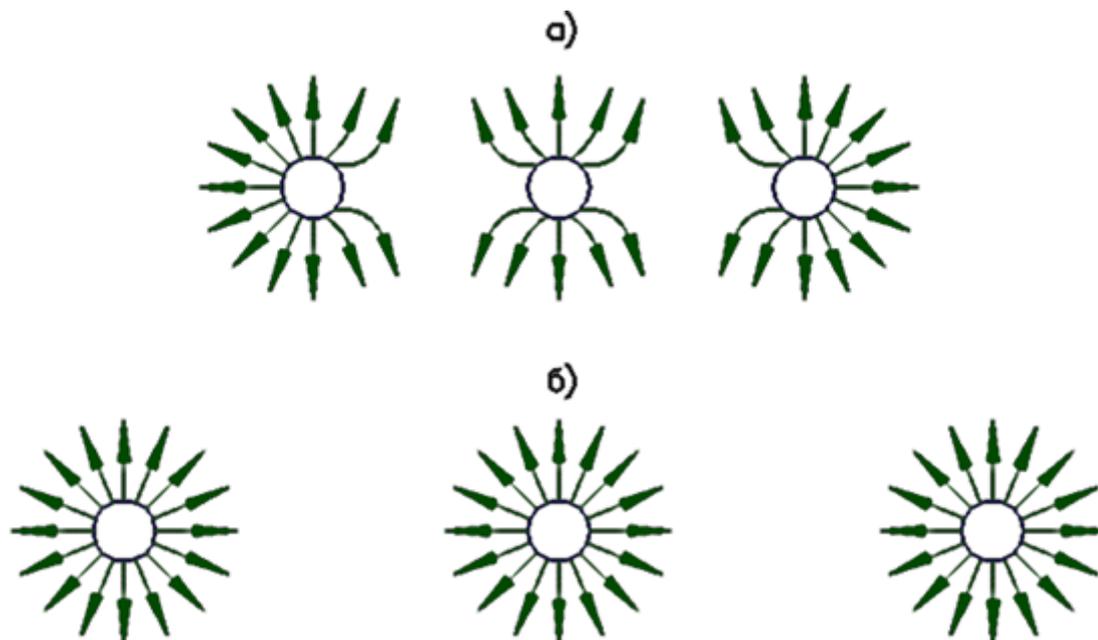


Рисунок 13.1 – Распределение линий тока с параллельно включенных электродов при близком (а) их расположении друг к другу и далеко (б)

Поэтому расстояние между вертикальными электродами в заземлителе, рекомендуется в 2 раза больше их длины, а при лучевом заземлителе лучи следует располагать под равными углами от центра, и их не должно быть больше четырех.

Следует помнить, что вертикальный электрод, забитый рядом с железобетонной стойкой опоры, не снижает сопротивления заземлителя, т.к. он полностью экранируется подземной частью стойки, а лишь увеличивает непродуктивный расход стали.

В связи с изложенным рекомендуются следующие схемы расположения заземлителя в земле: одно-, двух-, трех и четырех лучевая (рисунок Б.2).

13.2.2 С целью унификации и технологичности выполнения заземлителей опор ВЛ 0,38 и 10 кВ, а также трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ в заводских условиях могут выполняться основные (базовые) элементы, из которых сооружаются заземлители опор ВЛ и трансформаторных подстанций (ТП) в полевых условиях. Базовый элемент состоит из горизонтального заземлителя с вертикальным заземлителем (электродом) на конце (рисунок Б.1). Длину горизонтального и вертикального заземлителей рекомендуется принимать как указано на рисунке Б.1. Это обеспечит достаточно эффективное стекание тока (импульсного и промышленной частоты) с таких элементов при минимуме расхода металла. Исходя из возможности строительных организаций простыми приемами погружать вертикальные электроды и глубины промерзания земли зимой и высыхания летом рекомендуется два вида базового элемента.

Первый вид: горизонтальный и вертикальный заземлители выполняются из круглой оцинкованной или неоцинкованной стали диаметром 10 мм и 12 мм соответственно. Длина горизонтального заземлителя 5 м и более, а

вертикального заземлителя, как правило, 2,5 м. Там, где не затруднено погружение электродов в грунт, а удельное сопротивление земли снижается с увеличением глубины, их длину можно увеличить до 5 м.

Для подавляющего большинства регионов Республики Беларусь (исключая агрессивные грунты) срок службы таких заземлителей составляет более 50 лет. Диаметр прутка через 50 лет работы в земле уменьшится на 2 мм. Наиболее ослабленным местом является переход «воздух-земля», где в наибольшей степени происходит коррозия металла и где должен производиться контроль состояния заземлителя путем раскопки на глубину до 0,3 м в объемах и в сроки, оговоренные СТП 33243.20.366.

Наиболее рациональное расположение заземлителей в земле, обладающих наименьшим сопротивлением растеканию при минимуме расхода стали на их выполнение, для опор ВЛ 0,38 кВ и 10 кВ указан на рисунке Б.2, а схема соединения с заземляющим проводником (спуском, выпуском) на рисунке Б.3.

Рациональные конфигурации заземлителей опор ВЛ 0,38 кВ и 10 кВ, трансформаторных подстанций напряжением 10/0,4 кВ приведены в приложении Б.

Длину лучей, отходящих по разным направлениям от стойки опоры, следует выбирать по возможности одинаковой и не более 15 м, так как при большей их длине резко возрастает импульсное сопротивление и снижается эффективность грозозащитных функций заземлителя.

Заземляющее устройство трансформаторных подстанций: комплектных (КТП), мачтовых (МТП) и закрытых (ЗТП), выполняется общим для напряжений 10 и 0,4 кВ.

При выполнении заземляющего устройства трансформаторных подстанций (КТП, МТП, ЗТП) в первую очередь выполняется обязательный заземлитель. Обязательный (совмещенный) заземлитель подстанций типа КТП и МТП состоит из замкнутых контуров, проложенных вокруг площадки занимаемой электрооборудованием подстанции на расстоянии 0,8-1 м от оборудования, и горизонтальных связей со всеми концевыми опорами ВЛ 10 и 0,38 кВ, которые выполняют роль естественных заземлителей. Кроме того, в двух углах контура подстанции типа КТП (со стороны разъединителя) забивается по одному вертикальному заземлителю длиной по 2,5 м для выравнивания потенциала на поверхности земли у разъединителя и снижения импульсного сопротивления заземлителя. Укладывать контурную часть заземлителя следует на глубине 0,5 м (ТКП 339), но не глубже. Эффект выравнивания потенциалов по поверхности земли достаточно высок при расположении заземлителя не глубже 0,1-0,2 м. При большей глубине эффект выравнивания резко снижается и, как показывают теоретические исследования и многочисленные измерения, если заземлитель уложен глубже 0,5 м эффект выравнивания практически не ощущается. В качестве элементов заземлителя следует использовать неоцинкованную сталь круглую диаметром 10 мм (оцинкованную диаметром 6 мм) или полосовую 4x12 мм. Больших сечений

не требуется ни по нормам ТКП 339, ни по токовым нагрузкам, ни по условиям коррозии (редкое исключение составляют агрессивные грунты, для которых выполняются специальные расчеты).

Если нормируемое сопротивление не обеспечивается обязательным заземлителем, сооружается дополнительный заземлитель, путем укладки лучей с электродами или без них аналогично укладываемым на ВЛ 0,38 и 10 кВ. Примеры выполнения заземляющих устройств трансформаторных подстанций типа КТП и МТП приведены на рисунках Б.4а – Б.4в – Б.5.

Заземляющее устройство ЗТП состоит из заземления внутри здания ЗТП (рисунок Б.6) и наружного заземлителя. Внутри здания для магистрали заземления используются все опорные металлоконструкции. Для этой цели все опорные металлоконструкции в местах стыков и в торцах должны быть соединены электросваркой между собой полосовой или круглой сталью.

Наружный заземлитель ЗТП аналогично заземляющим устройствам КТП и МТП состоит из обязательного (совмещенного) и, при необходимости, дополнительного заземлителей. Обязательный (совмещенный) заземлитель выполняется путем использования всех концевых опор ВЛ 0,38 и 10 кВ, дополнительный – путем укладки лучей с вертикальными электродами или без них. Кроме того, в обязательный заземлитель входят два вертикальных заземлителя длиной по 2,5 м, забиваемые на расстоянии 1 м от стены здания у спусков от молниеприемника для снижения импульсного сопротивления заземлителя.

Связь внутреннего и наружного заземлений осуществляется в двух местах с противоположных сторон здания ЗТП. Пример выполнения наружного заземлителя приведен на рисунке Б.7.

13.3 Практические рекомендации.

13.3.1 Повторное заземление нулевого провода не обеспечивает защиту от поражения электрическим током и должно применяться в сочетании с другими защитными мерами (быстрое отключение короткого замыкания, зануление, выравнивание и уравнивание потенциалов и т.д.).

13.3.2 Увеличивать количество повторных заземлений на линии с целью снижения потенциала нулевого провода до безопасной величины малоэффективно с точки зрения обеспечения электробезопасности, а понесенные при этом затраты несоизмеримы с результирующим эффектом. Поэтому повторные заземления нулевого провода должны выполняться в соответствии с требованиями ТКП 339 на концах ВЛ (или ответвлений от них) длиной более 200 м, а также на вводах от ВЛ к электроустановкам, которые подлежат занулению.

13.3.3 Мнения о том, что напряжения прикосновения (потенциал нулевого провода) следует снижать до безопасного путем уменьшения сопротивления повторных заземлений, ошибочны. Чтобы выполнить заземлитель с сопротивлением порядка 1 Ом в характерных для Республики Беларусь грунтах, с удельным сопротивлением земли 100 - 500 Ом·м, требуется территория

для его устройства в несколько сотен квадратных метров и от 100 до 750 кг стали.

13.3.4 Наиболее эффективным средством снижения напряжения прикосновения до безопасной величины является уравнивание потенциалов путем соединения всех естественных и искусственных заземлителей (строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования и т.п.) в единую систему в пределах электроустановки, а также укладка специальных потенциаловывравнивающих проводников.

13.3.5 При укладке горизонтальных заземлителей вокруг открыто установленного оборудования (трансформаторные подстанции, разъединители и т.п.) не следует их укладывать на глубине более 0,5 м, т.к. уже при этом заглублении эффект выравнивания потенциалов (снижение напряжения прикосновения) ощущается очень слабо.

Для локального снижения напряжения прикосновения, например, у разъединителя, можно использовать дополнительный потенциаловывравнивающий заземлитель (горизонтальный или вертикальный), верхняя часть которого заглублена не более чем на 10 см.

13.3.6 Для повышения условий электробезопасности сечение нулевого провода магистральной линии и ответвлений от нее должно быть не менее сечения фазных проводов, чтобы при коротких замыканиях снизить потенциал на открытых проводящих частях (корпусах электродвигателей, шкафов и т.п.). Чем больше сечение нулевого провода относительно фазных проводов, тем ниже его потенциал и напряжения прикосновения к нему и зануленному оборудованию.

Для особых по обеспечению безопасности потребителей, где напряжения прикосновения и шага должны быть очень низкими, например, для крупных животноводческих ферм, сечение нулевого провода следует выбирать в несколько раз больше сечения фазных проводов. Учитывая близость расположения подстанции (ТП) от помещений фермы существенное увеличение сечения нулевого провода практически не отразится на общей стоимости электроснабжения, а эффект по обеспечению электробезопасности будет несоизмеримо большим по сравнению с уменьшением сопротивления повторного заземления.

13.3.7 При выполнении заземлителей опор ВЛ, распределительных пунктов, трансформаторных подстанций, ОПН, разъединителей и другого оборудования в сетях 0,38-10 кВ рекомендуется руководствоваться следующим:

13.3.7.1. Не следует укладывать в землю заземлители и заземляющие проводники диаметром или сечением более наименьших размеров по таблице 4.3.4 ТКП 339. Срок службы такого заземлителя в неагрессивных грунтах более 50 лет, а сечение и диаметр практически не влияют на сопротивление растеканию тока с заземлителя.

13.3.7.2 В котлован, в который устанавливаются железобетонные стойки опор ВЛ и фундаменты трансформаторов не следует забивать вертикальные электроды, т.к. они экранируются этими фундаментами и практически не участвуют в отводе тока в землю.

13.3.7.3 В сложных опорах в качестве заземляющих проводников всегда следует использовать арматуру стоек опор и арматуру подкоса, чтобы снизить волновое сопротивление заземляющих проводников импульсным токам и одновременно всего заземляющего устройства.

13.3.7.4 В заземлителе, состоящем из горизонтальных и вертикальных заземлителей, расстояние α между вертикальными заземлителями должно, как минимум, превышать длину вертикального заземлителя ℓ (электрода), т.е. $\alpha/\ell \geq 1$.

13.3.7.5 Наиболее эффективным по отводу тока промышленной частоты заземлителем является однолучевой заземлитель с вертикальными заземлителями или без них, однако длину луча не рекомендуется делать более 15 м, т.к. при большей длине резко возрастает импульсное сопротивление и снижается эффективность грозозащитных функций такого заземлителя.

13.3.7.6 При многолучевом заземлителе количество лучей отходящих от опоры не должно превышать четырех, а углы между лучами должны быть одинаковыми.

13.3.8 Выполняя рекомендации 13.3.7, без снижения надежности и долговечности заземлителя, обеспечивая нормируемые нормативно-техническими документами сопротивления при улучшенных импульсных характеристиках, можно уменьшить расход стали на сооружение заземлителя, как минимум, в 2 - 4 раза.

13.3.9 С целью сокращения расхода стали на выполнение заземляющих устройств, следует более эффективно использовать металлоконструкции и арматуру железобетонных стоек в качестве заземляющих проводников.

13.3.10 Важную роль в экономном расходовании металла на устройство заземляющих устройств играет правильное измерение его сопротивления. В практике монтажа заземляющих устройств не редки случаи, когда из-за неграмотного измерения получают завышенные по сравнению с фактическими значения сопротивлений, и безрезультатно пытаются его снизить путем дополнительного забивания стержней или укладки полос.

13.4 Расчет и выбор заземляющих устройств

13.4.1 Расчет искусственных заземлителей опор ВЛ 0,38 и 10 кВ и дополнительных заземлителей трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ произведен в предположении, что они выполнены из базовых элементов размером по 2,5 м или 5 м и имеют конфигурацию, указанную в 13.2.

13.4.2 При расчете принимается, что заземлитель расположен в однородной земле с постоянным удельным сопротивлением земли. Известно, что однородной электрической структуры земли в природе не существует, а удельное эквивалентное сопротивление земли зависит не только от фактиче-

ской геоэлектрической структуры, но и от размеров и формы заземлителя. Поэтому результаты расчета являются приближенными. Точные значения сопротивлений или размеры заземлителя, обладающего заданным сопротивлением, можно получить используя в расчетах фактическую электрическую структуру земли в месте установки каждой конкретной опоры.

13.4.3 Удельное сопротивление земли ρ определяется методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) симметричной четырехэлектродной установкой. При отсутствии данных прямого измерения ρ допустимо пользоваться имеющимся геологическим разрезом грунта и обобщенными значениями удельных сопротивлений различных грунтов, приведенными в таблице 13.4.

Таблица 13.4 – Значения удельных сопротивлений грунтов для различных регионов Республики Беларусь

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

Таблица 13.4 составлена на основе обобщения данных об удельных сопротивлениях грунтов, полученных по результатам прямых измерений методом ВЭЗ на линиях и подстанциях на территории Республики Беларусь, и носит *рекомендательный* характер.

Взятое из таблицы 13.4 значение удельного сопротивления грунтов для каждого конкретного места установки опоры на определенной территории Республики Беларусь носит оценочный характер и может в несколько раз отличаться от фактического значения. Поэтому расчет заземляющего устройства в этом случае носит ориентировочный характер.

13.4.4 После выполнения заземляющего устройства производится измерение его сопротивления методом, изложенным в разделе 14. При необходимости, сопротивление доводится до нормируемой величины путем добавления базовых элементов.

Учитывая, что конструкции ЗУ электроустановок напряжением 0,38 - 10 кВ состоят из типовых секций ЗУ, их выбор на стадии проектирования может быть осуществлен на основе методики выбора конструкций ЗУ на стадии их сооружения, изложенной в 13.5.

13.4.5 При заданном значении эквивалентного удельного сопротивления земли $\rho_{\text{э}}$ и допустимой величине сопротивления ЗУ $R_{\text{доп}}$ число типовых секций ЗУ в конструкции ЗУ может быть определено по выражениям:

- для типовых секций ЗУ с длиной элементов 2,5 м

$$n = 0,83 \frac{\rho_{\text{э}}}{R_{\text{доп}}} - 5; \quad (13.5)$$

- для типовых секций ЗУ с длиной элементов 5,0 м

$$n = 0,44 \frac{\rho_{\text{э}}}{R_{\text{доп}}} - 4, \quad (13.6)$$

где размерность соответствует: $\rho_{\text{э}}$, Ом·м; $R_{\text{доп}}$, Ом; 0,83, м; 5,0, м; n, шт.

Полученное по выражениям (13.5), (13.6) значение n округляется до целого числа в сторону больших значений.

13.5 Методика выбора конструкции заземляющего устройства на стадии сооружения

13.5.1 Приведение измеренных величин сопротивления ЗУ электроустановок к условиям расчетных сезонов осуществляется с помощью сезонного коэффициента ЗУ, который зависит от грунтово-климатических условий, конструкции ЗУ и времени проведения измерения сопротивления ЗУ (в расчетный летний или в расчетный зимний сезоны).

Сезонный коэффициент ЗУ показывает во сколько раз необходимо увеличить или уменьшить измеренную величину сопротивления ЗУ при приведении ее к расчетному сезону, если измерения сопротивления ЗУ проводятся не в расчетный сезон.

Численные значения сезонных коэффициентов ЗУ электроустановок 0,38-10 кВ при измерении сопротивления ЗУ не в расчетный сезон приведены в таблицах 13.4 и 13.5.

13.5.2 После измерения сопротивления ЗУ производится оценка соответствия измеренной величины сопротивления, приведенной к расчетному сезону, его допустимой (нормируемой) величине.

В соответствии с ТКП 339 нормируемая величина сопротивления ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ зависит от вида электроустановки и величины эквивалентного удельного сопротивления земли. Значения допустимых сопротивлений ЗУ различных видов электроустановок напряжением 0,38-10 кВ в зависимости от эквивалентного удельного сопротивления земли приведены в таблицах 6.1. и 6.2.

Эквивалентное удельное сопротивление земли определяется по измеренной и приведенной к расчетному сезону величине сопротивления заданной конструкции ЗУ, которая характеризуется числом базовых элементов ЗУ. **Базовый элемент ЗУ** состоит из вертикального заземлителя (электрода) длиной 2,5 м или длиной 5 м и присоединенного к нему с помощью сварки горизонтального заземлителя соответственно длиной 2,5 м или 5 м, уложенного в землю на глубине $0,5 \div 0,7$ м. Рекомендации по определению величины эквивалентного удельного сопротивления земли приведены в 13.7.4.

13.5.3 Рассматриваемые в настоящем стандарте практические задачи приемо-сдаточных испытаний и эксплуатационного контроля ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ решаются в следующем порядке:

1. устанавливается расчетный сезон для ЗУ;
2. измеряется сопротивление ЗУ;
3. измеренная величина сопротивления ЗУ приводится к расчетному сезону;
4. устанавливается соответствие приведенной к расчетному сезону измеренной величины сопротивления ЗУ его нормированному значению.

В случае, когда измеренная и приведенная к расчетному сезону величина сопротивления ЗУ не соответствует его нормированной ТКП 339 величине производится изменение конструкции ЗУ с целью доведения до нормы сопротивления ЗУ.

13.5.4 Изменение конструкции ЗУ сводится к добавлению к сооруженной конструкции ЗУ дополнительных базовых элементов ЗУ. Рекомендации по выбору числа дополнительных базовых элементов ЗУ и изменения конструкции ЗУ приведены в Приложении Г.

13.6 Расчетный сезон для заземляющих устройств различных видов электроустановок напряжением 0,38-10 кВ.

Для ЗУ в зависимости от их назначения устанавливается соответствующий расчетный сезон:

- для рабочих и защитных ЗУ, расчетным является зимний сезон;
- для грозозащитных ЗУ, расчетным является летний сезон.

В таблице 6.1 указан расчетный сезон, для которого нормируется допустимая величина сопротивления ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ.

13.7 Приведение измеренной величины сопротивления ЗУ к расчетному сезону

13.7.1 Измеренная величина сопротивления ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ приводится к расчетному сезону по выражению

$$R_{з\text{у}} = K_{з\text{у}} \cdot R_{\text{изм}}, \text{ Ом}, \quad (13.7)$$

где $R_{з\text{у}}$ - величина сопротивления ЗУ, приведенная к расчетному сезону, Ом, которая сравнивается с допустимой величиной сопротивления ЗУ;

$R_{\text{изм}}$ - измеренное сопротивление ЗУ, Ом;

$K_{з\text{у}}$ - сезонный коэффициент ЗУ.

13.7.2 При измерении сопротивления ЗУ в расчетный сезон величина сезонного коэффициента $K_{з\text{у}}=1$, а при измерении сопротивления ЗУ не в расчетный сезон величина сезонного коэффициента ЗУ $K_{з\text{у}}$ для различных конструкций ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ приведена в таблицах 13.4 и 13.5.

Таблица 13.4 – Величина сезонного коэффициента $K_{з\text{у}}$ для рабочих и защитных ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ при измерении их сопротивления в расчетный летний сезон (месяцы: Март-Ноябрь)

Длина вертикального электрода и горизонтального заземлителя в базовом элементе ЗУ	Количество базовых элементов ЗУ в конструкции ЗУ, шт.							
	1	2	3	4	5	6-10	11-32	33-64
2,5 м	1,6	1,55	1,5	1,45	1,4	1,35	1,3	1,3
5,0 м	1,4	1,35	1,3	1,25	1,2	1,2	1,2	—

Таблица 13.5 – Величина сезонного коэффициента $K_{з\text{у}}$ для грозозащитных ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ при измерении их сопротивления в расчетный зимний сезон (месяцы: Декабрь-Февраль)

Длина вертикального электрода и горизонтального заземлителя в базовом элементе ЗУ	Количество базовых элементов ЗУ в конструкции ЗУ, шт.							
	1	2	3	4	5	6-10	11-32	33-64
2,5 м	0,6	0,65	0,67	0,69	0,7	0,74	0,77	0,77
5,0 м	0,7	0,75	0,77	0,8	0,83	0,83	0,83	—

13.7.3 Допустимая величина сопротивления ЗУ различных видов электроустановок напряжением 0,38-10 кВ в зависимости от эквивалентного удельного сопротивления земли $\rho_{\text{э}}$ и минимального допустимого нормируемого ТКП 339 сопротивления ЗУ $R_{\text{мин.доп}}$ приведена в таблице 6.2.

13.7.4 Эквивалентное удельное сопротивление земли $\rho_э$ в зависимости от приведенной к расчетному сезону измеренной величины сопротивления ЗУ электроустановки $R_{з\text{у}}$ и числа базовых элементов ЗУ в конструкции ЗУ $n_э$ определяется по выражению:

– для конструкции ЗУ, состоящей из базовых элементов ЗУ с длиной вертикальных электродов и горизонтальных заземлителей 2,5 м,

$$\rho_э = (5 + 1,2 \cdot n_э) \cdot R_{з\text{у}}, \text{ Ом.м} \quad (13.8)$$

– для конструкции ЗУ, состоящей из базовых элементов ЗУ с длиной вертикальных электродов и горизонтальных заземлителей 5,0 м,

$$\rho_э = (8 + 2,4 \cdot n_э) \cdot R_{з\text{у}}, \text{ Ом.м} \quad (13.9)$$

13.8 Изменение конструкции ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ с целью доведения до нормы сопротивления ЗУ

13.8.1 Изменение конструкции ЗУ производится в случае, когда измеренная и приведенная к расчетному сезону величина сопротивления ЗУ не удовлетворяет нормированной величине.

13.8.2 Изменение ЗУ сводится к добавлению к сооруженной конструкции ЗУ дополнительных базовых элементов ЗУ.

Число дополнительных базовых элементов ЗУ $\Delta n_э$ зависит:

– от числа базовых элементов ЗУ в конструкции сооруженного ЗУ, $n_э$;

– от приведенной к расчетному сезону измеренной величины сопротивления, сооруженного ЗУ, $R_{з\text{у}}$ (см. 13.7.1);

– от допустимой величины сопротивления ЗУ, $R_{\text{доп}}$.

Величина $\Delta n_э$ определяется по выражениям:

– для сооруженной конструкции ЗУ, состоящей из базовых элементов с длиной вертикальных электродов и горизонтальных заземлителей 2,5 м,

$$\Delta n_э = (4 + n_э) \left(\frac{R_{з\text{у}}}{R_{\text{доп}}} - 1 \right), \text{ шт}; \quad (13.10)$$

– для сооруженной конструкции ЗУ, состоящей из базовых элементов с длиной вертикальных электродов и горизонтальных заземлителей 5,0 м,

$$\Delta n_э = (3 + n_э) \left(\frac{R_{з\text{у}}}{R_{\text{доп}}} - 1 \right), \text{ шт}; \quad (13.11)$$

Полученные по выражениям (13.10), (13.11) значения $\Delta n_э$ округляются до целого числа. Например, при вычисленном значении $\Delta n_э=5,2$, $\Delta n_э=5,4$ принимается $\Delta n_э=5$ шт, при вычисленном значении $\Delta n_э=5,8$ принимается $\Delta n_э=6$ шт.

13.8.3 Примеры определения числа дополнительных базовых элементов при изменении конструкции ЗУ электроустановок напряжением 0,38-10 кВ приведены в приложении Г.

14 Пособие по измерению сопротивления заземлителей (заземляющих устройств)

14.1 Принцип измерения заземлителя заключается в одновременном измерении тока I и напряжения U относительно точки нулевого потенциала на поверхности земли (Рисунок 14.1а) с последующим делением измеренного напряжения на измеренный ток. Обычно для измерений используются специальные приборы - измерители сопротивления заземления, например, приборы серии ИС (ИС-10, ИС-20 и т.д), серии MRU (MRU-100, MRU-200 и т.д), Ф4103М1 (Рисунок 14.1б), в которых автоматически в процессе измерений происходит деление U на I . Разницы между аналоговым и цифровым отображением результата деления U на I нет. Современные приборы серий ИС или MRU обладают более лучшими характеристиками, чем прибор Ф4103М1, но методика измерения сопротивления заземления при этом не меняется.

14.2 Для измерения сопротивления заземлителя необходимо:

1. Создать токовую цепь для тока I , стекающего с испытуемого заземлителя, включающую заземлитель ЗУ, генератор тока Г и токовый электрод Т. При использовании генератора тока без стабилизации тока необходим еще амперметр А (Рисунок 14.1а);

2. Создать потенциальную цепь для измерения напряжения U на заземлителе, включающую заземлитель ЗУ, вольтметр V и потенциальный электрод П (Рисунок 14.1а)

В общем случае электрическое поле в земле потенциального электрода, токового электрода и заземлителя влияют друг на друга, в результате чего измеренное сопротивление заземлителя определяется общеизвестной зависимостью

$$R_{\text{изм}} = R + \alpha_{\text{пт}} - \alpha_{\text{тз}} - \alpha_{\text{пз}}, \quad (14.1)$$

где $R_{\text{изм}}$ - измеренное сопротивление заземлителя (показание прибора);

R - истинное сопротивление заземлителя;

$\alpha_{\text{пт}}$ - взаимное сопротивление между потенциальным и токовым электродом;

$\alpha_{\text{тз}}$ - взаимное сопротивление между заземлителем и токовым электродом;

$\alpha_{\text{пз}}$ - взаимное сопротивление между заземлителем и потенциальным электродом.

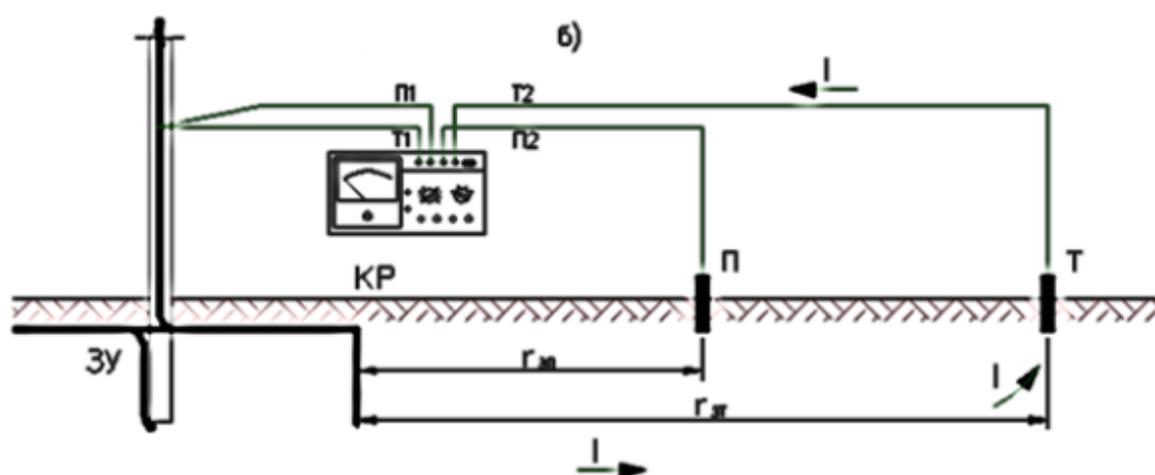
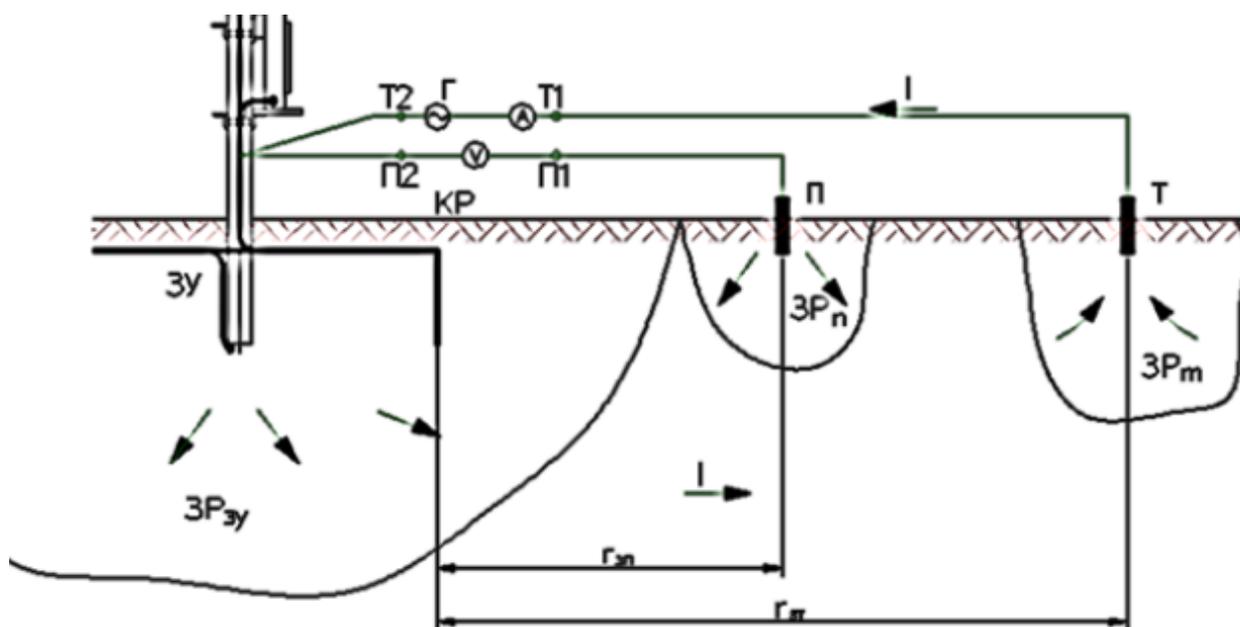
Зависимость взаимных сопротивлений от расстояний между ЗУ, П и Т обратно пропорциональная, т.е. чем меньше взаимное расстояние между ЗУ, П и Т, тем больше сопротивления $\alpha_{\text{пт}}$, $\alpha_{\text{тз}}$, $\alpha_{\text{пз}}$ и тем больше ошибка измерений обусловленная взаимным влиянием участвующих в измерении электродов, равная $\alpha_{\text{пт}} - \alpha_{\text{тз}} - \alpha_{\text{пз}}$.

При очень большом удалении токового и потенциального электродов друг от друга и от испытуемого заземлителя (теоретически на бесконечно большом удалении) их взаимовлияние друг на друга отсутствует или пренебрежимо мало, т.е.

$$\alpha_{пт} \approx \alpha_{тз} \approx \alpha_{пз} \approx 0 \text{ и } R_{изм} = R. \quad (14.2)$$

Точный результат можно получить и при относительно небольшом расстоянии между заземлителем и измерительными электродами, для чего их нужно расположить так, чтобы выполнялось условие $\alpha_{пт} - \alpha_{тз} - \alpha_{пз} = 0$

или:
$$\alpha_{пт} = \alpha_{тз} + \alpha_{пз}. \quad (14.3)$$



- ЗУ — заземляющее устройство (заземлитель)
 П, Т — потенциальный и токовый электроды
 Г — источник измерительного тока
 А, V — амперметр, вольтметр
 $\Gamma_{ЗП}$, $\Gamma_{П}$ — расстояние от края заземлителя до места установки потенциального и токового электродов
 КР — край заземлителя
 $ЗР_{ЗУ}$, $ЗР_{П}$, $ЗР_{М}$ — зона растекания тока с заземлителя, токового и потенциального электродов

Рисунок 14.1 – Принципиальная схема измерения сопротивления заземления с помощью вольтметра и амперметра (а) и измерителем заземления Ф4103М1 (б)

Если для однородной земли с определенными допущениями можно рассчитать их взаимное положение относительно друг друга, то для реальной земли, а в природе однородной земли не существует, эта задача не решается из-за невозможности точного моделирования реальной земли. Поэтому единственный реальный путь правильных измерений сопротивления заземлителей в реальной земле - увеличивать расстояния между заземлителем и измерительными электродами, стремясь выполнить условие (14.2).

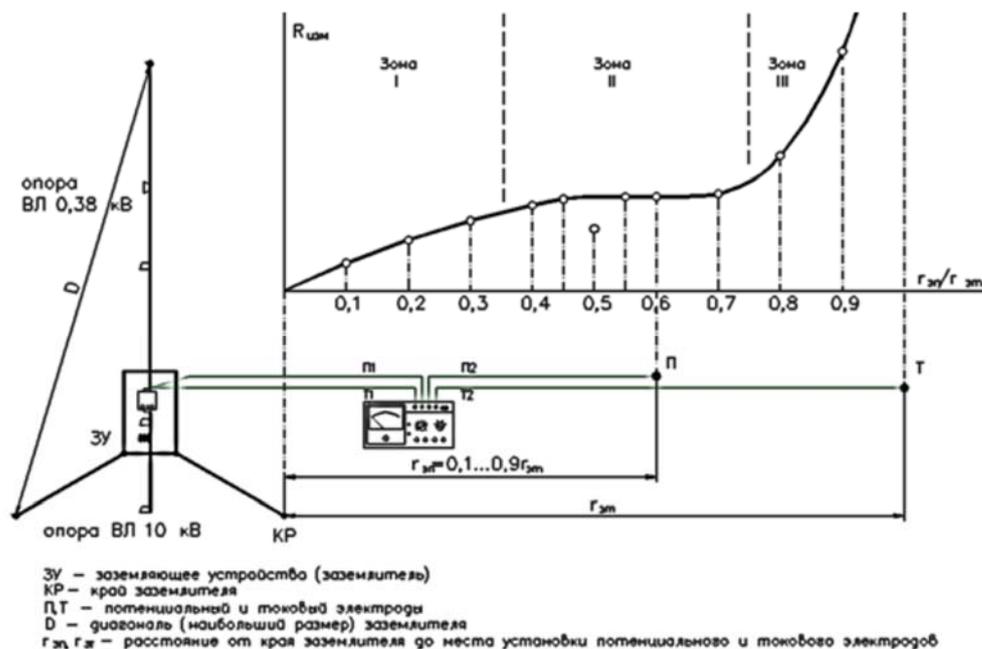


Рисунок 14.2 План расположения измерительных электродов при измерении сопротивления заземлителей (заземляющих устройств) по однолучевой схеме

Для измерения сопротивления заземлителей (заземляющих устройств) применяется однолучевая схема расположения измерительных электродов со снятием кривой сопротивления (потенциальной кривой) $R_{изм} = f(r_{зп} / r_{зт})$ (рисунок 14.2). На зависимости $R_{изм} = f(r_{зп} / r_{зт})$ (рисунок 14.2) должны четко выделяться три зоны. В I зоне $\alpha_{пт} < \alpha_{тз} + \alpha_{пз}$ и $R_{изм} < R$. Во II зоне $\alpha_{пт} \approx \alpha_{тз} \approx \alpha_{пз} \approx 0$ или $\alpha_{пт} \approx \alpha_{тз} + \alpha_{пз}$ и $R_{изм} \approx R$. В III зоне $\alpha_{пт} > \alpha_{тз} + \alpha_{пз}$ и $R_{изм} > R$.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что место установки потенциального электрода для точного измерения, т.е. где $\alpha_{пт} \approx \alpha_{тз} \approx \alpha_{пз} \approx 0$, в зависимости от многих факторов, может находиться в диапазоне от $0,46r_{зп}/r_{зт}$ до $0,75r_{зп}/r_{зт}$, при отсчете $r_{зп}$ и $r_{зт}$ от края заземлителя.

При снятии зависимости $R_{изм} = f(r_{зп}/r_{зт})$, кроме наглядного контроля за достаточностью расстояний между заземлителем и измерительными электродами, исключаются случайные показания, обусловленные наличием локальных неоднородностей в земле. Известно, что локальные неоднородности в месте установки измерительных электродов, токового или потенциального, (например, линзы глины или торфа, даже небольшие по размерам бугры и ямы, токопроводящие коммуникации и т.п.) искажают измерительное электрическое поле. Наличие таких неоднородностей приводит к отклонению потенциальной кривой от плавного хода (рисунок 14.5 (г)); в этом случае для

получения правильных результатов необходимо изменить направление раз- носов измерительных электродов. Попадание потенциального электрода в места локальных неоднородностей приводит к разбросу отдельных точек измерения на кривой. Такая точка на рисунке 2.2 показана при $r_{зп} / r_{зт} = 0,5$, где при «слепом» измерении результат почти в 2 раза ниже истинного значения. Поэтому, при разовых («слепых») замерах не исключается возможность получения случайных результатов, даже при достаточном удалении токового электрода от заземлителя. С этой точки зрения широко распространенный способ измерения с одним фиксированным положением потенциального электрода неприемлемо для практических измерений и не должен применяться для измерения сопротивления любых, даже самых простых, заземлителей.

Поэтому одно из необходимых условий для получения достоверного значения сопротивления заземлителя (заземляющего устройства) – выполнение ряда последовательных измерений и построение графической зависимости $R_{изм} = f(r_{зп} / r_{зт})$. **Снятие потенциальной кривой (кривой сопротивления) – обязательное условие достоверных измерений.**

Как отмечалось ранее, истинное значение сопротивления может быть измерено при наличии зоны нулевого потенциала между токовым электродом и заземляющим устройством. Как правило при удалении токового электрода от края заземлителя на $7,5 \div 10D$ (D -наибольший размер заземлителя) на поверхности земли появляется такая зона. На графике (рисунок 14.2) это выражается в виде наличия зоны II с горизонтальной частью.

14.2 Порядок производства измерений

14.2.1 Измерение сопротивления заземлителей (заземляющих устройств) выполняется двумя исполнителями.

14.2.2 До того, как приступить к непосредственно измерениям, определяется:

- 1) наибольший размер заземлителя D , так называемая диагональ заземлителя (рисунок 14.2);
- 2) направление выноса электродов;
- 3) расстояние до токового электрода ($r_{зт} \geq 5D$, но не менее 100 м).

При измерении сопротивления заземлителей опор ВЛ 0,38 кВ, трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ с отходящими ВЛ 0,38 кВ и кабельными линиями (КЛ) 0,38 и 10 кВ направление выноса выбирается под углом близким к 90° к трассам ВЛ и КЛ. Вынос токового электрода должен быть максимально удален от ВЛ и КЛ, т.к. заземлители опор ВЛ 0,38 кВ по трассе линии через нулевой провод связаны между собой и с заземлителем трансформаторной подстанции и являются естественными выносными заземлителями подстанции. Оболочка и броня кабелей 10 и 0,38 кВ также являются элементами заземляющего устройства подстанции. Поэтому как бы далеко не был удален токовый электрод от подстанции вдоль трассы ВЛ и КЛ он будет расположен в пределах заземляющего устройства подстанции. Получить хотя бы

близкий к достоверному результат при таком расположении измерительных электродов невозможно.

14.2.3 Расстояния до измерительных электродов (токового и потенциального), количество замеров для одного заземлителя и определение сопротивления по результатам измерений следует принимать согласно рекомендаций настоящего раздела.

Разработка и массовый выпуск приборов по измерению сопротивления заземлителей начались в 30-х годах, когда теория растекания токов в земле базировалась на представлении однородной электрической структуры земли и простейших, небольших размеров, заземлителях. Поскольку разработкой и выпуском приборов занимались специалисты в области приборостроения, не владеющие новыми познаниями в теории заземлений, первоначальные схемы разносов измерительных электродов и принципы измерений автоматически переносились на новые серии приборов и приводились на крышках приборов.

14.2.4 Подготовка прибора к измерениям, все контрольно-проверочные операции (контроль питания, уровня помех, установка нуля, калибровка и пр.) выполняются согласно паспорта к прибору. Подключение проводов к зажимам прибора Т1, Т2, П1, П2, идущих к испытуемому заземлителю и измерительным электродам, также выполняется согласно паспорта к прибору. Все остальные операции производятся как указано в настоящем разделе.

14.2.5 Порядок производства измерений проиллюстрируем на примере использования для этой цели прибора Ф4103М1.

До того, как приступить к измерениям, установить сухие элементы типа А373 или 373 (9 шт.) в отсек питания с соблюдением полярности (если они не установлены ранее) или подключить прибор к внешнему источнику постоянного тока напряжением 12 В.

14.2.6 Установить прибор на ровной горизонтальной поверхности и проверить напряжение источника питания. Для этого снять крышку, закоротить зажимы Т1, П1, П2, Т2 между собой, установить переключатели в положение КЛБ и 0,3, а ручку КЛБ – в крайнее правое положение. Нажать кнопку ИЗМ. Если при этом лампа КП не загорается, напряжение питания в норме.

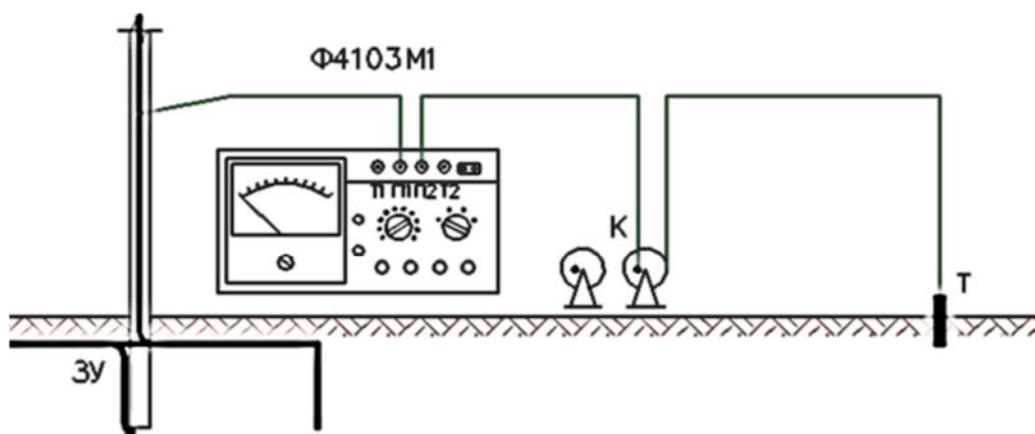
14.2.7 Проверить работоспособность прибора и выполнить калибровку. Для этого, в положении КЛБ переключателя установить ноль ручкой УСТ 0, нажать кнопку ИЗМ, ручкой КЛБ установить стрелку на отметку 30.

14.2.8 Приступая к измерениям, один исполнитель остается у прибора и катушек с проводом, а второй (помощник) берет один-два электрода, молоток, конец провода токовой цепи и уходит, растягивая по прямой провод токовой цепи по выбранному направлению. Расстояние до установки токового электрода отсчитывается мерным инструментом («козой») или, менее точно, шагами. Длина шага среднего роста человека – 70-80 см. Удалившись от края заземлителя на расстояние, указанное в 14.2.2, помощник забивает токовый электрод в землю (для гарантии можно два на расстоянии 2-3 м друг от друга) и присоединяет к ним провод токовой цепи. Нельзя токовый электрод

размещать в яме, канаве, водоеме, насыпном грунте и других местах, отличных от общего ландшафта местности. Это требование еще в большей степени относится к потенциальному электроду.

14.2.9 После забивки и подсоединения измерительного провода к токовому электроду, помощник возвращается к месту установки прибора. Здесь он берет потенциальный электрод, провод потенциальной цепи, молоток, и двигаясь от края заземлителя вдоль раскатанного токового провода так, чтобы между токовым и потенциальными проводами было расстояние не менее 1 м забивает потенциальный электрод последовательно в точках 0,1, 0,2, 0,3 и т.д. от расстояния до токового электрода, а исполнитель у прибора, выполнив очередной замер, дает соответствующую команду (идти дальше, забить глубже один из электродов и пр.). Приблизившись к токовому электроду и получив разрешение на разборку схемы, разбирает ее и возвращается с электродами к прибору.

14.2.10 Непосредственно измерения начинают с проверки уровня помех в поверяемой цепи. Для этого исполнитель у прибора собирает схему по рисунку 14.3, для чего подключает провода от заземлителя ЗУ и токового электрода Т соответственно к зажимам прибора П1 и П2. Переключатели установить в положение ИЗМ II и 0,3, и нажать кнопку ИЗМ. Если лампа КПм не загорается, то уровень помех не превышает допустимый и измерения можно проводить.



К – катушки с измерительным проводом

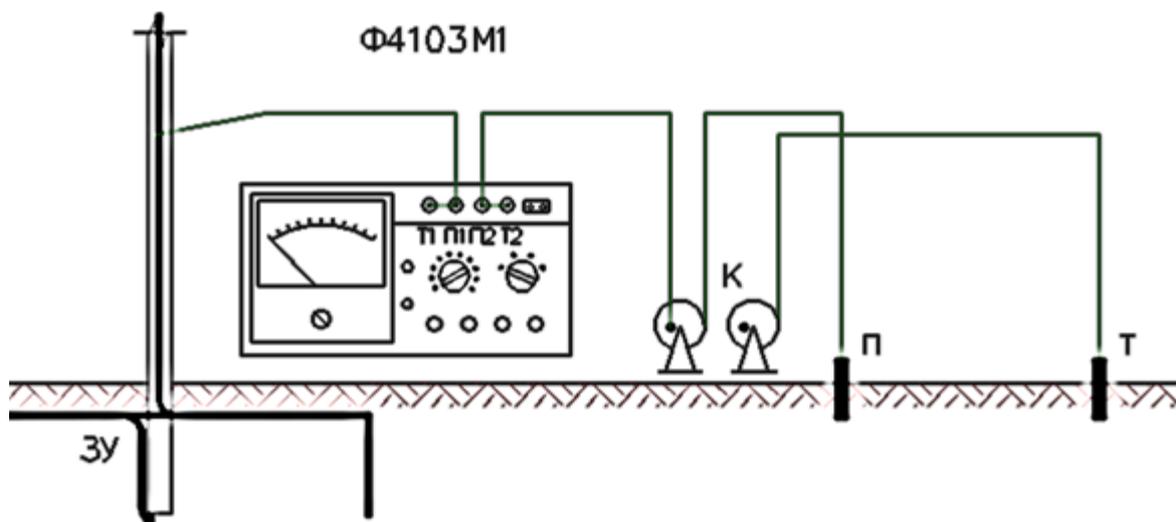
Рисунок 14.3 – Схема проверки уровня помех

Если лампа КПм загорается, то уровень помех превышает допустимый для диапазона 0 – 0,3 Ом (3В) и необходимо перейти на диапазон 0–1 Ом, где допустимый уровень помех 7В. Если в этом случае лампа, не загорается, можно проводить измерения на всех диапазонах (кроме 0–0,3 Ом).

Внимание! Запрещается подключать провода к зажимам прибора П1 и П2 и проводить измерения, если лампа КПм загорается на диапазоне 0–1 Ом, во избежание выхода прибора из строя.

Если помех нет и стрелка не колеблется под воздействием помех, то при дальнейших измерениях, для ускорения процесса измерений можно вместо режима ИЗМ II пользоваться режимом ИЗМ I. Дальнейшее описание работы с прибором в режиме ИЗМ II предполагает производство измерений при наличии помех.

14.11 Измерить сопротивление потенциального электрода, для чего собрать схему по рисунку 14.4. Установить диапазон измерения, ориентировочно соответствующий измеряемому сопротивлению электрода, затем установить ноль и откалибровать прибор по 14.7. Перевести переключатель в положение ИЗМ II и отсчитать значение сопротивления. Если оно превышает допустимое значение, указанное в таблице 14.1 для выбранного диапазона измерения сопротивления заземлителя, сопротивление потенциального электрода необходимо уменьшить (глубже забить электрод).



К – катушки с измерительным проводом

Рисунок 14.4 – Схема измерения сопротивления потенциального электрода

Необходимость каждый раз измерять сопротивление потенциального электрода объясняется тем, что даже при превышении паспортных значений сопротивления потенциального электрода, при дальнейших измерениях прибор может калиброваться. Но показания прибора при измерении сопротивления заземлителя будут произвольными, не соответствующие истинным.

Таблица 14.1 – Допустимые сопротивления потенциального электрода

Диапазон измерений, Ом	Диапазон допустимых значений сопротивления потенциального электрода, кОм
0 – 0,3; 0 – 1	0 – 2
0 – 3; 0 – 10	0 – 6
0 – 300; 0 – 1000 0 – 3000; 0 – 15000	0 – 12

14.2.12 Собрать схему для измерения сопротивления заземлителя в соответствии с рисунком 14.1 на первой точке измерения ($r_{зп} = 0, 1r_{зт}$).

14.2.13 Установить необходимый диапазон измерений, провести установку ноля и калибровку по 14.2.7. Если при проведении калибровки стрелка не доходит до отметки 30, уменьшить сопротивление токового электрода (забить глубже токовый электрод или добавить еще один электрод).

Перевести переключатель РОД РАБОТ в положение ИЗМ II, отсчитать значение сопротивления и записать в протокол. Если стрелка под воздействием помех совершает колебательные движения, устранить их вращением ручки ПДСТ f .

14.2.14 Перенести потенциальный электрод последовательно в точки $2 \div 9$ ($r_{зп} = 0,2-0,9r_{зт}$) и в каждой точке выполнить операции по 14.2.11–14.2.13.

14.2.15 Если в процессе измерения возникла необходимость перейти на другой диапазон измерения, переключатель ПРЕДЕЛЫ Ω переключить в необходимое положение. Установить ноль и откалибровать прибор по 3.7. Затем перевести переключатель РОД РАБОТ в положение ИЗМ II и отсчитать значение сопротивления.

14.2.16 Для общения между собою измерители используют рацию или другое переговорное устройство, если разносы очень велики и не слышно голоса, или не видно жестов.

14.2.17 В качестве токового и потенциального электродов используются стержни длиной около 1 м, диаметром 10-12 мм. Обычно достаточно одного стержня, а в плохопроводящих грунтах для токового электрода – еще 1-2 дополнительных стержня, забиваемых на расстоянии 2–3 м друг от друга и соединенных между собой проводом из любого металла сечением, обеспечивающим механическую прочность провода.

В процессе измерений электроды не следует глубоко забивать в землю. При забивке они раскачиваются и не обеспечивают контакта с землей по всей длине, а после измерений требуется большое усилие, чтобы их вырвать из земли. Поэтому забивать электроды, как правило, следует на глубину 0,3-0,5 м.

14.2.18 Чтобы исключить сопротивление соединительных проводов из цепи измерения при измерении сопротивлений заземлителей (заземляющих устройств) токовый Т1 и потенциальный П1 зажимы измерительного прибора подсоединяются к испытываемому заземлителю отдельными проводами. В этом случае никаких ограничений по длине и сечению к проводам не предъявляется, т.к. их сопротивление исключается из схемы измерения.

Сопротивление проводов, идущих от прибора к токовому Т2 и потенциальному П2 электродам, не влияет на результаты измерения. Поэтому они могут быть из любого металла (сталь, медь, а также их сочетание) сечением, обеспечивающим их механическую прочность. Основное требование к измерительным проводам – наличие на них изоляции, стойкой к истиранию и допускающих работу в мокром состоянии.

14.2.19 Измерительные провода, как правило, следует хранить на катушках. При измерении они остаются на катушках и при конкретном замере последовательно разматывается необходимой длины конец от прибора до измерительного электрода. Остальная часть остается на катушке.

14.2.20 Схема разбирается лишь после выполнения всех измерений и подсчетов, подтверждающих удовлетворительный результат измерений.

14.2.21 Не следует ставить перемычку между клеммами прибора Т1 и П1 и подсоединять прибор к испытываемому заземлителю одним проводом, т.к. сопротивление провода добавляется к измеряемому сопротивлению заземлителя. Чем больше сопротивление этого провода и меньше сопротивление заземлителя, тем большую погрешность вносит измерительный провод. Например, при измерении сопротивления 4 Ом и длине медного провода 10 м сечением 1,5 мм² дополнительная погрешность превышает 3%.

14.3 Устройство токового электрода

Во всех случаях устройства токового электрода он не должен располагаться ближе 100 м от подземных металлических коммуникаций (трубопроводы, кабели с металлической оболочкой и броней и т.п.) и железобетонных оснований, фундаментов и других естественных заземлителей, имеющих металлическую связь с испытываемым заземляющим устройством.

При устройстве токового электрода менее трудоемко и более эффективно забивать стержни не вертикально, а под небольшим углом к поверхности земли (почти горизонтально) с последующим утаптыванием земли над ними. Особый эффект такой способ устройства токового электрода дает при влажном верхнем слое, и когда подстилающие слои имеют большее удельное сопротивление, чем поверхностный. Кроме того, после измерений электрод легко извлечь из земли.

Роль токового электрода может выполнять одножильный или многожильный неизолированный провод, закопанный и утрамбованный на глубину 5-10 см.

В качестве вспомогательного токового электрода можно использовать естественные заземлители, например, железобетонные фундаменты и стойки опор обесточенных ВЛ 10 и 35 кВ вместе с их заземлителями, если опоры не связаны с испытываемым заземлителем грозозащитным тросом и удалены на необходимое расстояние от испытываемого заземлителя. **Использовать фундаменты опор линий находящихся под напряжением запрещается.**

14.4 Определение сопротивления по результатам измерений

Как указано в разделе 14.2, по однолучевой схеме электроды располагаются по одной прямой. Токовый электрод удаляется от **края** испытываемого заземлителя на расстояние, указанное в 14.2.2, а потенциальный электрод поочередно устанавливается на расстояниях 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 от $r_{зт}$ (рисунок 14.5). Потенциальный электрод необходимо перемещать обязательно на строго равные расстояния. Здесь и далее $r_{зт}$ – расстояние от **края** заземляющего устройства до токового электрода, или до ближайшего из них, если используется несколько стержней. Расстояния до потенциального

электрода могут быть и меньше указанных, например, 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 от r_{zt} и т.д., но не больше. Измерения производятся при установке потенциального электрода в каждой из указанных точек и по данным измерений строится зависимость $R_{изм} = f(r_{zn}/r_{zt})$ (рисунок 14.5). Если эта зависимость имеет плавный характер с явно выраженным горизонтальным участком (рисунок 14.5 (а)), то за измеренное сопротивление принимается значение соответствующее горизонтальному участку. В данном случае $R_{изм} = 4,5 \text{ Ом}$.

Если явно выраженного горизонтального участка на зависимости не наблюдается, то на участке перегиба кривой находят точку, в которой предыдущее измерение отличается от измерения в данной точке менее чем на минус 5%, а последующее менее чем на плюс 5%. Если эта точка лежит на пологом участке кривой близком к горизонтальному (рисунок 14.5 (б)), то значение сопротивления в этой точке с некоторым приближением принимается за измеренное. Если в месте перегиба кривая $R_{изм} = f(r_{zn}/r_{zt})$ не имеет пологого участка (рисунок 14.5 (в)) – это свидетельствует о том, что токовый электрод недостаточно удален от заземлителя, и измерения следует повторить, увеличив расстояние до токового электрода в 1,5-2 раза.

Для заземлителей разной конфигурации в земле разной электрической структуры истинное сопротивление может быть замерено при положении потенциального электрода для каждого конкретного случая на удалении $0,46 \div 0,75 r_{zt}$. Поэтому применяемый до сих пор метод измерения с расположением потенциального электрода посередине между заземлителем и токовым электродом ($r_{zn} = 0,5r_{zt}$) в принципе неверный. Он, как частный случай, ограниченно справедлив для определенных конфигураций заземлителя в земле определенной электрической структуры, которых при конкретном измерении может не оказаться. Например, в земле с большей проводимостью нижних слоев по сравнению с верхним слоем точка нулевого потенциала будет находиться ближе к испытываемому заземлителю ($r_{zn} = 0,46r_{zt}$), а участок кривой $R_{изм} = f(r_{zn}/r_{zt})$ близкий к горизонтальному – в диапазоне $r_{zn} \approx 0,4 \div 0,5r_{zt}$.

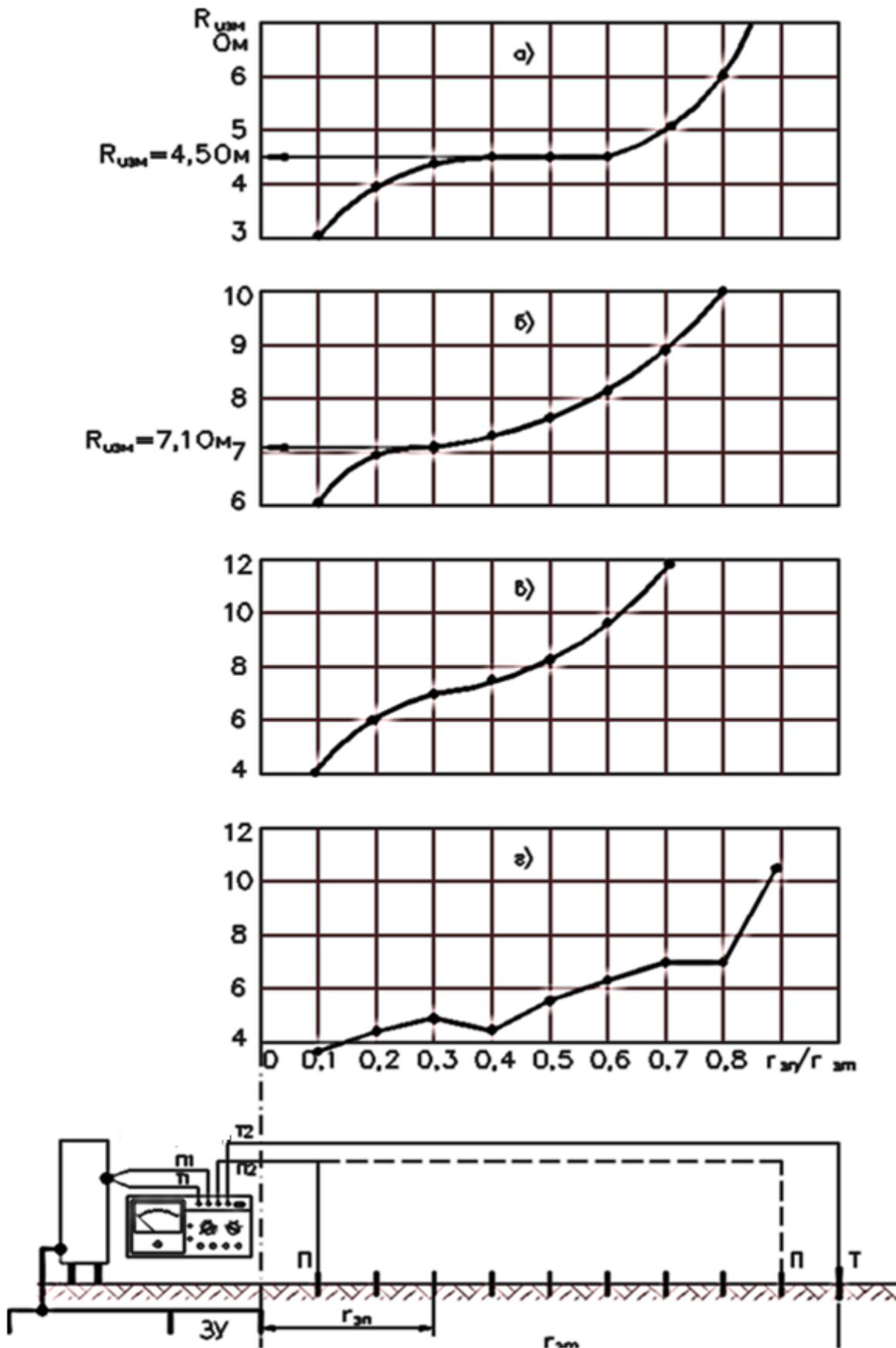


Рисунок 14.5 – Зависимости показаний прибора от положения потенциального электрода ($R=f(r_{3n}/r_{3n})$)

Встречаются такие сочетания проводимости слоев (например, растительный слой на песчаном основании или неглубокий торф на кварцевом песке и т.п.), когда и при удалении токового электрода на $5\div 7D$ от края заземляющего устройства нельзя получить точный результат. В этом случае пользуются приближенным результатом, определяя сопротивление по примеру рисунка 14.5 (б) при максимально возможном удалении токового электрода.

Если кривая не плавная (рисунок 14.5 (г)), что может быть следствием влияния подземных и наземных коммуникаций, резких локальных неоднородностей грунта (например, включения погребенного торфа) между заземлителем и измерительными электродами или в месте установки электродов (потенциального или токового) и других причин, измерения должны быть повторены при переносе токового электрода в другом направлении от заземлителя.

14.5 Измерение сопротивления заземлителей малых размеров

Измерение сопротивления заземляющих устройств должны выполняться согласно подразделов 14.1-14.4 настоящего раздела.

Если пользоваться другими инструкциями, схемами установки измерительных электродов, приведенными на крышках и в паспортах измерителей сопротивления заземлений, распространенными в практике методами забивки измерительных электродов в низине, болотце и т.п. и другими, укоренившимися в практику «измерений» методами, фактическое сопротивление может отличаться от «измеренного» на десятки и сотни процентов.

При повторных испытаниях заземляющих устройств (ЗУ) в сроки указанные в СТП 33240.20.501 и достаточном опыте исполнителей, для условий, когда ЗУ не переустраивалось, а ландшафт поверхности ровный, измерение сопротивления заземлителей, имеющих размеры до 20 м, допускается проводить по схеме, приведенной на рисунке 14.6.

Измерительные электроды П и Т следует располагать на расстояниях, указанных на рисунке 14.6, и для получения удовлетворительного результата произвести как минимум три измерения, при положении потенциального электрода в точках 1, 2 и 3. Измерения считаются приемлемыми, если показания прибора при положении потенциального электрода в точках 1 и 3 отличаются от показания прибора в точке 2 менее чем на 5%. При этом, обязательным условием достоверности результатов измерений является следующее:

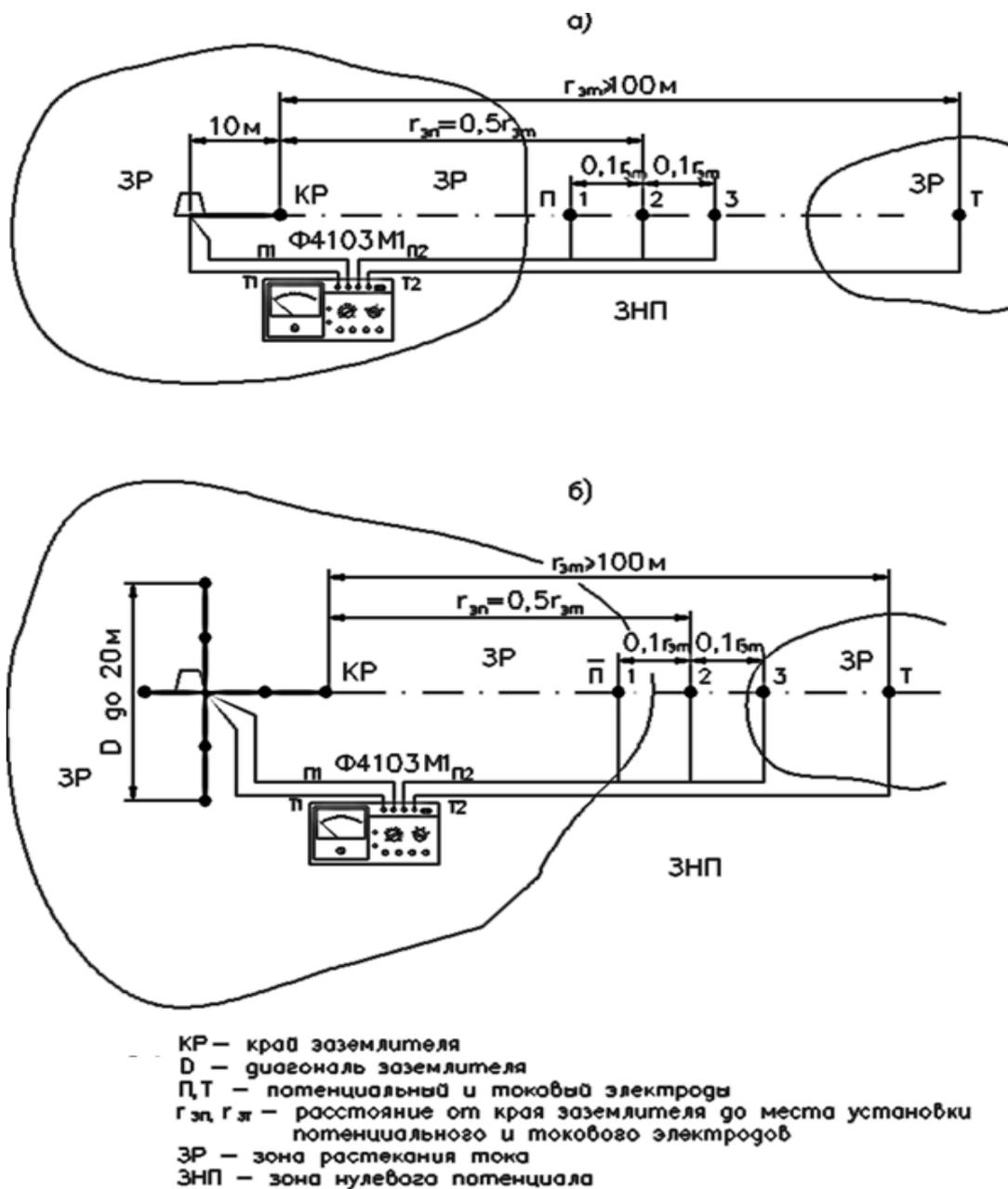
1) все три показания прибора одинаковы, что и является истинным сопротивлением (рисунок 14.6 (а));

или

2) при положении потенциального электрода в точке 3 показания прибора равны или больше в пределах 5%, а в точке 1 равны или меньше в пределах 5% показаний прибора при положении потенциального электрода в точке 2. В этом случае за измеренное сопротивление принимается показание

прибора при положении потенциального электрода в точке 2 (рисунок 14.6 (б)).

Если эти условия не соблюдаются, измерения считаются недостоверными и их следует повторить согласно подразделов 14.1-14.4, увеличив при этом расстояние до токового электрода в 1,5-2 раза или изменив направление разноса измерительных электродов.



а – при отсутствии влияния электрического поля измеряемого заземлителя и(или) токового электрода на потенциальный электрод; б – при наличии влияния .. электрического поля измеряемого заземлителя и(или) токового электрода на потенциальный электрод

Рисунок 14.6 – Схема измерения сопротивления небольших по размеру заземлителей

Приложение А (справочное)

Система уравнивания потенциала

А.1 Термины и определения [2]

А.1.1 сеть уравнивания потенциалов; (bonding network, BN): Совокупность соединенных между собой проводящих конструкций, которая обеспечивает «электромагнитный экран» для электронных систем на частотах от постоянного тока до низкой радиочастоты.

Примечание – Термин «электромагнитный экран» означает любую конструкцию, используемую для отведения по другому каналу, блокирования или создания препятствия прохождению электромагнитной энергии. В общем случае сеть уравнивания потенциалов не требует присоединения к земле, однако сеть уравнивания потенциалов, рассматриваемая в настоящем стандарте, присоединена к земле.

А.1.2 кольцевой проводник уравнивания потенциалов; (bonding ring conductor, BRC): Заземляющая шина, выполненная в виде замкнутого кольца.

Примечание – Обычно кольцевой проводник уравнивания потенциалов как часть сети уравнивания потенциалов имеет множественные соединения с общей сетью уравнивания потенциалов, что улучшает его эффективность.

А.1.3 совмещенная система уравнивания потенциалов, общая сеть уравнивания потенциалов; (common equipotential bonding system, common bonding network, CBN): Система уравнивания потенциалов, обеспечивающая защитное уравнивание потенциалов и функциональное уравнивание потенциалов.

А.1.4 уравнивание потенциалов; (equipotential bonding): Обеспечение электрических соединений между проводящими частями, предназначенных для достижения эквипотенциальности.

А.1.5 сеть заземляющих электродов; (earth-electrode network, ground-electrode network (US)): Часть заземляющего устройства, включающая в себя только заземляющие электроды и их взаимные соединения.

А.1.6 система уравнивания потенциалов в виде сетки; (meshed bonding network, MESH-BN): Система уравнивания потенциалов, в которой все соответствующие опорные конструкции, стойки, шкафы, а также обратный провод силовой сети постоянного тока соединены между собой и с общей системой уравнивания потенциалов во множестве точек и могут образовывать форму сетки.

Примечание – Система уравнивания потенциалов в виде сетки усиливает эффективность общей системы уравнивания потенциалов.

А.1.7 шунтирующий проводник уравнивания потенциалов/параллельный заземляющий проводник; (by-pass equipotential bonding conductor/parallel earthing conductor, PEC): Заземляющий проводник, присоединенный параллельно экранам кабелей, передающих сигналы и/или информацию, для ограничения тока, протекающего по экранам.

А.2 Соединение входящих сетей с заземляющими устройствами

Открытые проводящие части оборудования информационных технологий и электронного оборудования в здании должны быть соединены между собой при помощи защитных проводников РЕ.

Для жилых зданий, где электронное оборудование обычно используется в ограниченном объеме, приемлема радиальная сеть защитных проводников РЕ (см. рисунок А.1).

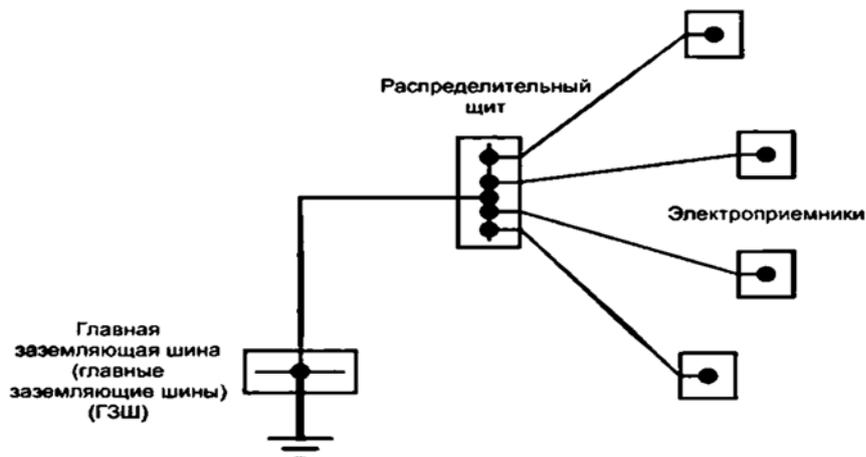


Рисунок А.1 – Пример радиального соединения защитных проводников РЕ

В общественных, производственных и аналогичных зданиях с множественным применением электроники для обеспечения требований электромагнитной совместимости оборудования различных типов более эффективной является общая система уравнивания потенциалов (см. рисунок А.2).

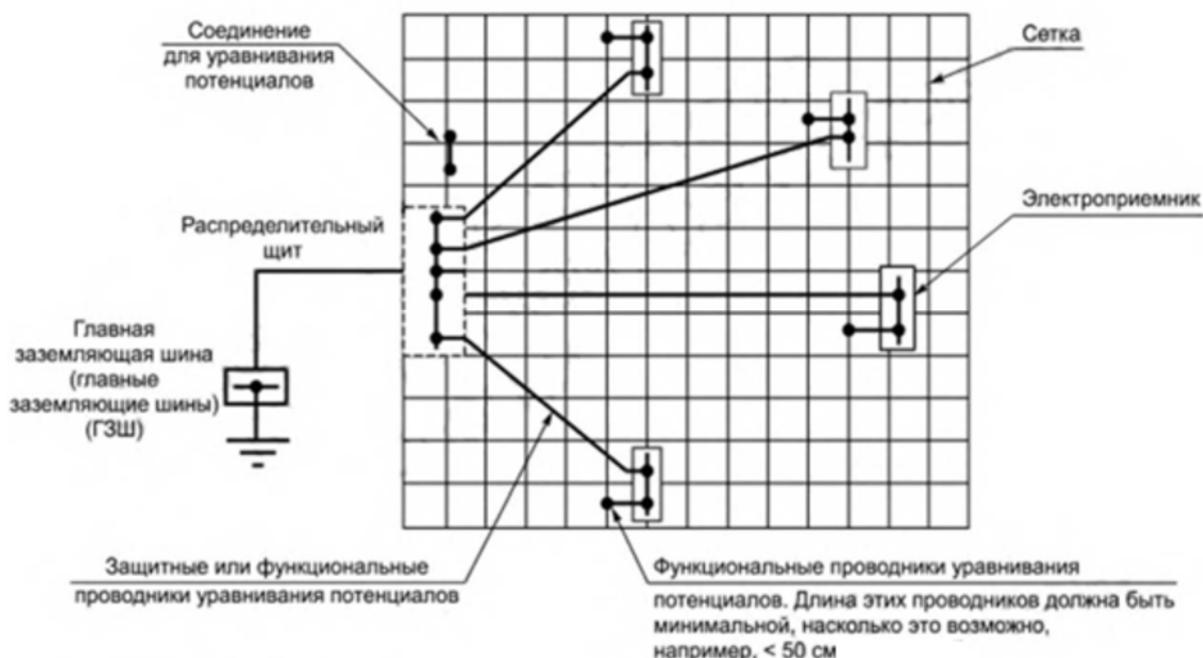


Рисунок А.2 – Сеть уравнивания потенциалов с радиальным присоединением к главной(ым) заземляющей(им) шине(ам)

А.3 Схемы соединения проводников уравнивания потенциалов и защитных заземляющих проводников

В зависимости от значимости и чувствительности оборудования могут быть использованы четыре основные схемы, приведенные в нижеследующих пунктах.

А.3.1 Присоединение защитных проводников РЕ к кольцевому проводнику уравнивания потенциалов

Система уравнивания потенциалов с использованием кольцевого проводника уравнивания потенциалов показана на рисунке А.3 на верхнем этаже здания. Кольцевой проводник должен быть неизолированным или изолированным и должен быть доступен в любом месте. К кольцевому проводнику уравнивания потенциалов могут быть присоединены все защитные заземляющие и функциональные заземляющие проводники.

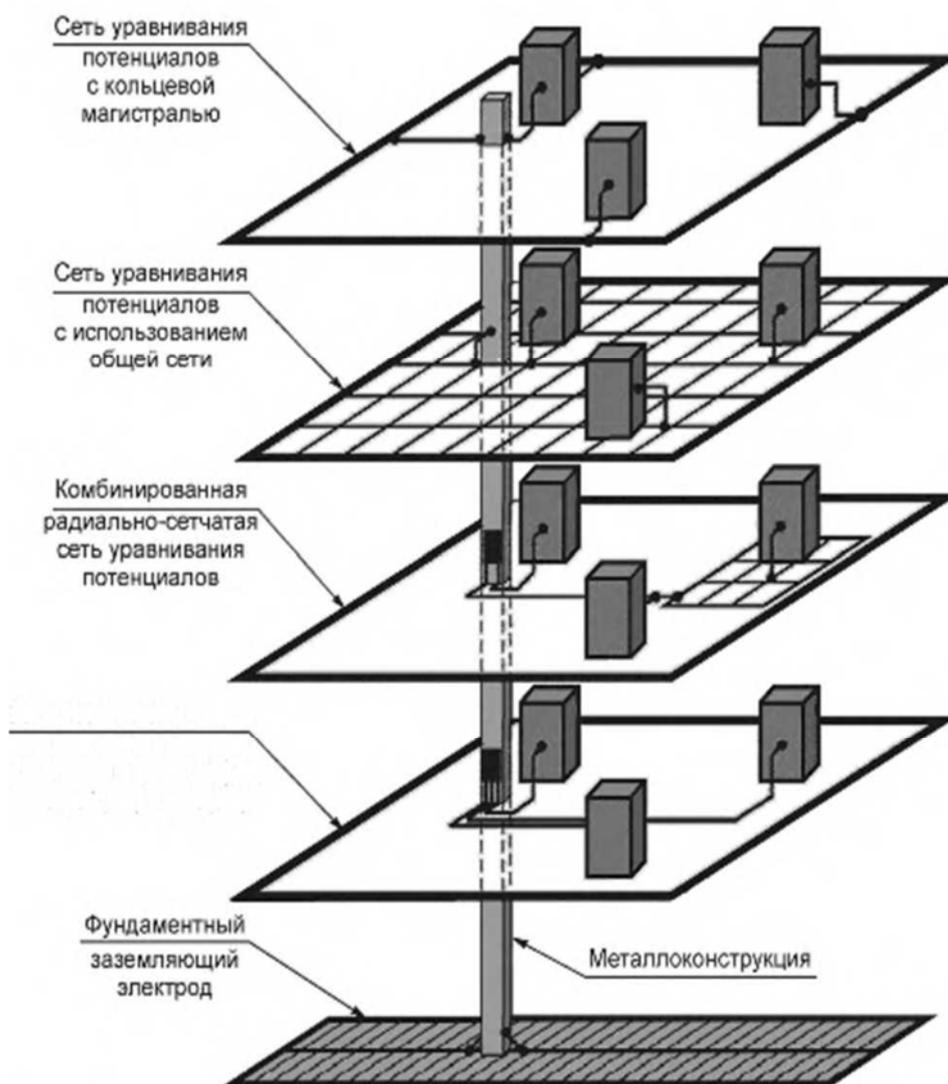


Рисунок А.3 – Пример сетей уравнивания потенциалов в многоэтажном здании без молниезащиты

А.3.2 Радиальная схема присоединения защитных проводников РЕ. Эта схема применима для небольших установок, соответствующих жилым помещениям и небольшим коммерческим зданиям, и в общем случае – для оборудования, не имеющего взаимных соединений, выполненных сигнальными кабелями для передачи информации (см. рисунок А.1).

А.3.3 Радиальное соединение нескольких систем уравнивания потенциалов, выполненных в виде сетки.

Такое соединение применимо для небольших установок с небольшими отдельными группами взаимосвязанного коммуникационного оборудования и способствует локальному распределению токов, обусловленных электромагнитными помехами (см. рисунок А.4).

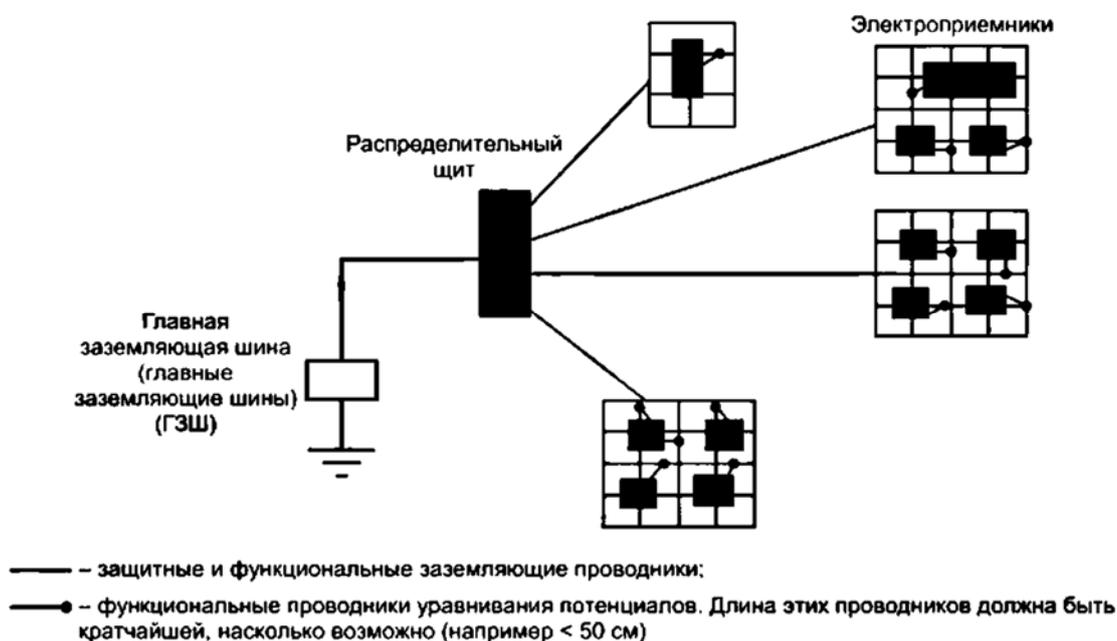


Рисунок А.4 – Пример радиального соединения нескольких систем уравнивания потенциалов, выполненных в виде сетки

А.3.4 Совмещенная сетчато-радиальная система

Этот тип соединений применяется в установках с высокой плотностью коммуникационного оборудования и с особо ответственными условиями его применения (см. рисунок А.2).

Размер ячеек должен быть согласован с размерами защищаемой установки, но не должен превышать 2х2 м в местах установки оборудования, чувствительного к электромагнитным помехам.

Эта схема пригодна как для локальных сетей (например, учреждений АТС с входящей и исходящей связью), так и для централизованных систем обработки информации.

А.3.5 Сети уравнивания потенциалов в многоэтажных зданиях

В многоэтажных зданиях рекомендуется выполнять систему уравнивания потенциалов на каждом этаже; пример системы уравнивания потенциалов для общего применения см. на рисунке А.3. Каждый этаж является при-

мером одного из типов сети уравнивания потенциалов. Системы уравнивания потенциалов различных этажей должны быть соединены между собой проводниками не менее чем дважды.

А.4 Требования к системе уравнивания потенциалов

А.4.1 Заземление оборудования, закрытого 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 двух местах вертикальными спусками между этажами и с контурным заземлителем [6, 7].

Для снижения импульсного сопротивления заземления оборудования в помещениях РУ рекомендуется выполнить сетку с шагом не менее 2 м.

В качестве сетки допускается применять арматуру железобетонной конструкции пола (при обеспечении электрического соединения арматуры между собой). Сетку присоединяют к закладным металлоконструкциям оборудования и к магистрали заземления не менее чем в четырех местах равномерно по периметру.

От магистрального заземляющего проводника к внешнему заземлителю прокладывают заземляющие проводники. Количество заземляющих проводников определяют расчетом.

Для уравнивания потенциалов в помещении КРУ напряжением 10–20 кВ корпуса ячеек КРУ должны быть присоединены к металлоконструкциям и соединены между собой заземляющими проводниками (например, стальной полосой). Связи между рядами ячеек КРУ и внутренним контуром заземления выполняют с шагом не более 10 м.

А.4.2 Для уравнивания потенциалов в камерах трансформаторов выполняют следующее:

- внутри помещений трансформаторных (и автотрансформаторных) камер по периметру по стене прокладывают стальную полосу системы уравнивания потенциалов на высоте 0,5 м от пола;
- на полу трансформаторной камеры укладывают сетку из стальной полосы с шагом не более 10x10 м;
- корпус трансформатора присоединяют к точке пересечения проводников сетки для обеспечения растекания тока в четырех направлениях;
- в местах заземления нейтралей силовых трансформаторов прокладывают продольные и поперечные заземляющие проводники в четырех направлениях, соединенные с сеткой на полу трансформаторной камеры.

А.4.3 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).

Магистрали заземления должны образовывать замкнутые контуры по внутренним периметрам помещений здания. Магистрали заземления, расположенные на разных отметках зданий, должны соединяться между собой не менее чем в четырех точках.

К ЗУ здания присоединяют все находящиеся в здании металлические конструкции (рамы, рельсы, балки, железобетонную арматуру, кабельные лотки и каналы и т. д.).

Для заземления корпусов оборудования, экранов кабелей следует использовать систему уравнивания потенциалов здания.

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 четырех 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 четырех точках.

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

А.4.5 Выполнение системы уравнивания потенциалов внутри шкафа следует выполнять таким образом, чтобы создать эквипотенциальную плоскость, к которой подключаются короткими соединительными проводниками все устройства.

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 двух 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 шкафа 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.

Для заземления экранов рекомендуется использовать специальные зажимы или разъемы.

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

А.4.6 Защитные проводники уравнивания потенциалов

А.4.6.1 Защитные проводники уравнивания потенциалов, присоединяемые к главному заземляющему зажиму (шине)

Сечение защитных проводников уравнивания потенциалов, которые присоединяют к главной заземляющей шине (ГЗШ) должно быть не менее

половины сечения самого большого защитного проводника установки и не менее:

- 6 мм² по Cu;
- или 16 мм² по Al;
- или 50 мм² по стали.

Сечение защитных проводников уравнивания потенциалов, которые присоединяют к ГЗШ не должно быть больше 25 мм² Си или эквивалентного для других материалов.

А.4.6.2 Защитные проводники уравнивания потенциалов для дополнительного уравнивания

Проводимость проводника уравнивания потенциалов, соединяющего две открытые проводящие части, должна быть не ниже минимальной проводимости защитного проводника из проводников, присоединенных к открытым проводящим частям.

Проводимость проводника уравнивания потенциалов, соединяющего открытую проводящую часть и стороннюю проводящую часть, должна быть не ниже проводимости соответствующего защитного проводника половинного сечения.

Сечение проводника уравнивания потенциалов, соединяющий две сторонние проводящие части, который не является жилой кабеля или не проложен в общей оболочке с проводниками цепи, должно быть не менее:

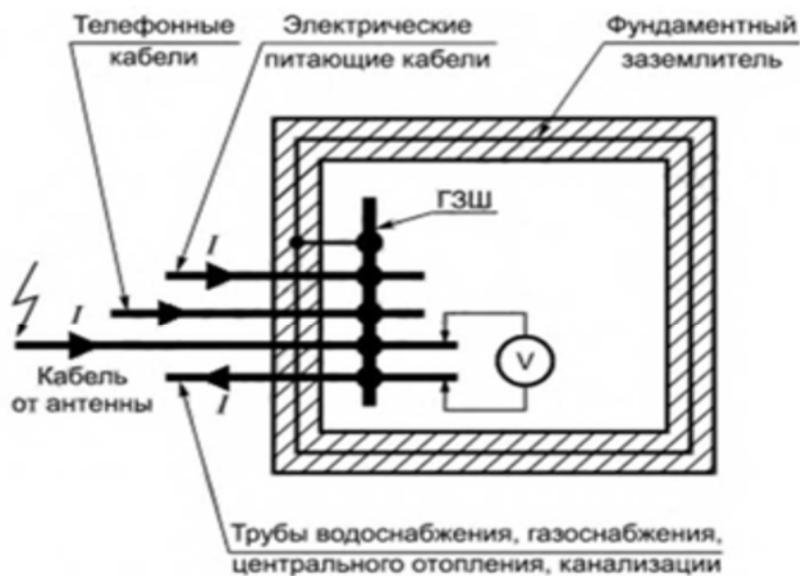
- 2,5 мм² Cu или 16 мм² Al, если есть механическая защита,
- 4 мм² Си или 16 мм² Al, если механическая защита отсутствует.

Примечание – Это не исключает возможность использования стали в качестве защитного проводника.

Проводник, не являющийся частью кабеля, считается механически защищенным, если он проложен в трубе, коробе или другим подобным способом.

А.5 Коммуникации, входящие в здание

Металлические трубопроводы (например, трубы водоснабжения, газоснабжения и центрального отопления), силовые и контрольные кабели предпочтительно должны входить в здание в одном и том же месте. Металлические трубы и металлическая броня кабелей должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников, имеющих минимальное полное сопротивление [1,2] (см. рисунок А.5).



ГЗШ — главная заземляющая шина; I — наведенный ток

Рисунок А.5 – Пример ввода бронированных кабелей и металлических труб в здание в одном месте

Примечание – Предпочтительным является ввод в одном месте, т. к. при этом значение разности потенциалов между различными коммуникациями близко к нулю $U = 0$ В

Приложение Б (рекомендуемое)

Рациональные конфигурации заземлителей опор ВЛ 0,38 кВ и 10 кВ, трансформаторных подстанций напряжением 10/0,4 кВ

В.1. С целью унификации и технологичности выполнения заземлителей опор ВЛ 0,38 и 10 кВ, а также трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ в качестве основного (базового) элемента, из которых сооружается заземлитель опор и трансформаторных подстанций (ТП), принят базовый элемент, состоящий из горизонтального заземлителя с вертикальным заземлителем (электродом) на конце (рисунок Б.1) [3]. Длина горизонтального и вертикального заземлителей принята одинаковой, что обеспечивает достаточно эффективное стекание тока (импульсного и промышленной частоты) с таких элементов при минимуме расхода металла. Исходя из возможности строительных организаций простыми приемами погружать вертикальные электроды и глубины промерзания земли зимой и высыхания летом на территории Республики Беларусь приняты два вида базового элемента. Базовый элемент изготавливается из круглой стали диаметром 12 мм с длиной горизонтального и вертикального заземлителя по 2,5 м или по 5 м соответственно, диаметром 12 мм.

Диаметр стержней практически не влияет на величину сопротивления растеканию и выбран в соответствии с требованиями ТКП 339 по механической прочности и коррозионной стойкости. Для подавляющего большинства регионов Республики Беларусь (исключая агрессивные грунты) срок службы такого заземлителя составляет 50 лет. Наиболее ослабленным местом является переход «воздух-земля», где и следует контролировать степень коррозии заземлителя. Контроль производится путем раскопки на глубину 0,3 м. лучей под углом 90°, или однолучевая схема с расположением луча вдоль оси ВЛ.

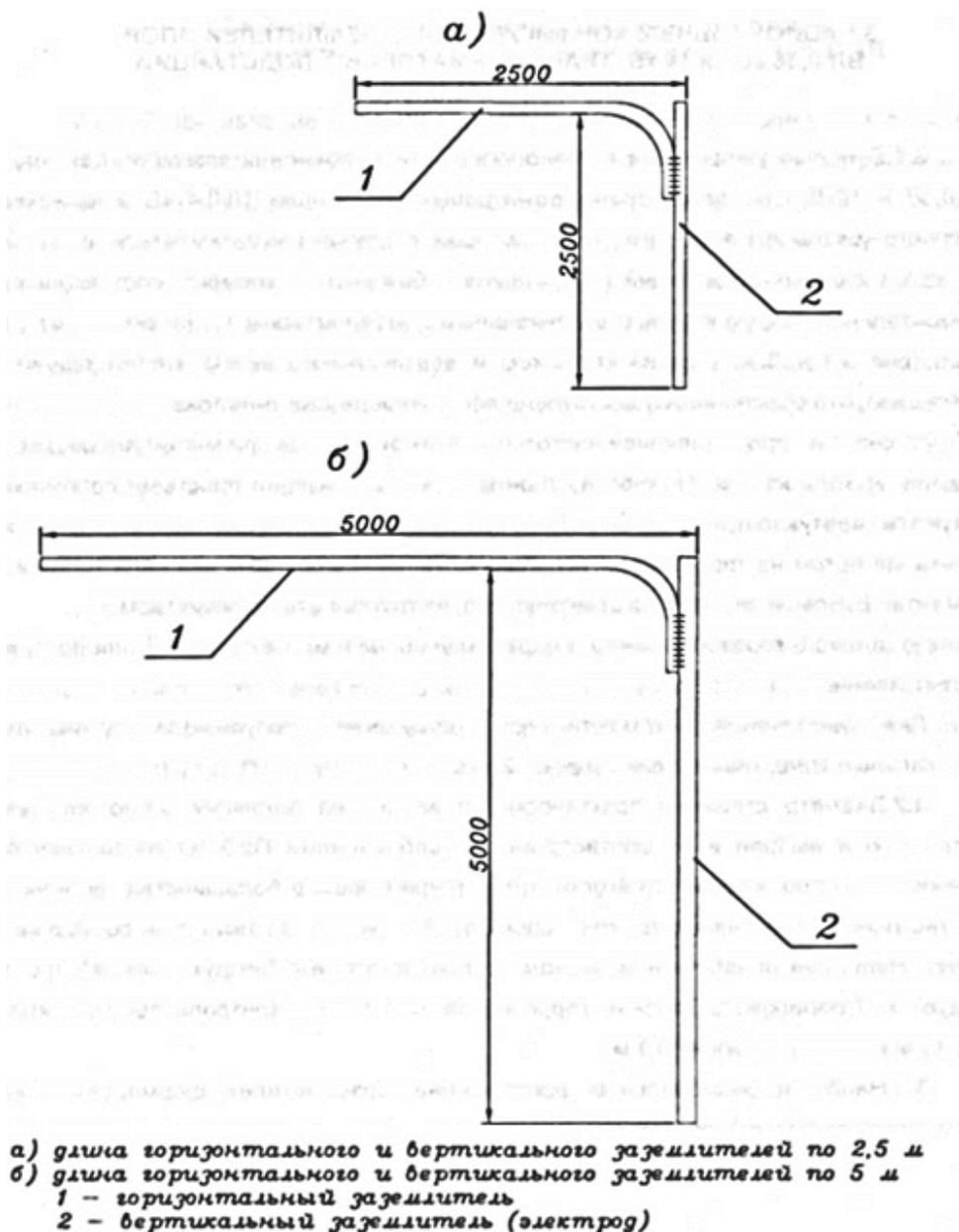


Рисунок Б.1 – Базовый элемент, из которых формируются заземлители опор и дополнительные заземлители трансформаторных подстанций

В.2. Длину лучей, отходящих по разным направлениям от стойки опоры следует выбирать по возможности одинаковой и не более 15 м, так как при большей их длине резко возрастает импульсное сопротивление и снижается эффективность грозозащитных функций заземлителя. Если длина лучей (при их количестве 4) превышает 15 м, заземлитель прокладывается по однолучевой схеме по оси ВЛ и соединяется с заземлителем следующей опоры.

Наиболее рациональное расположение заземлителей, формируемых из базовых элементов, обладающих наименьшим сопротивлением растеканию при минимуме расхода стали на их выполнение, для опор ВЛ 0,38 и 10 кВ указан на рисунке Б.2, а схема соединения с заземляющим проводником (спуском, выпуском) – на рисунке Б.3. В стесненных условиях, например, на перекрестке улиц, допускаются двух- и трехлучевая схема с расположением лучей под углом 90° , или однолучевая схема с расположением луча вдоль оси ВЛ.

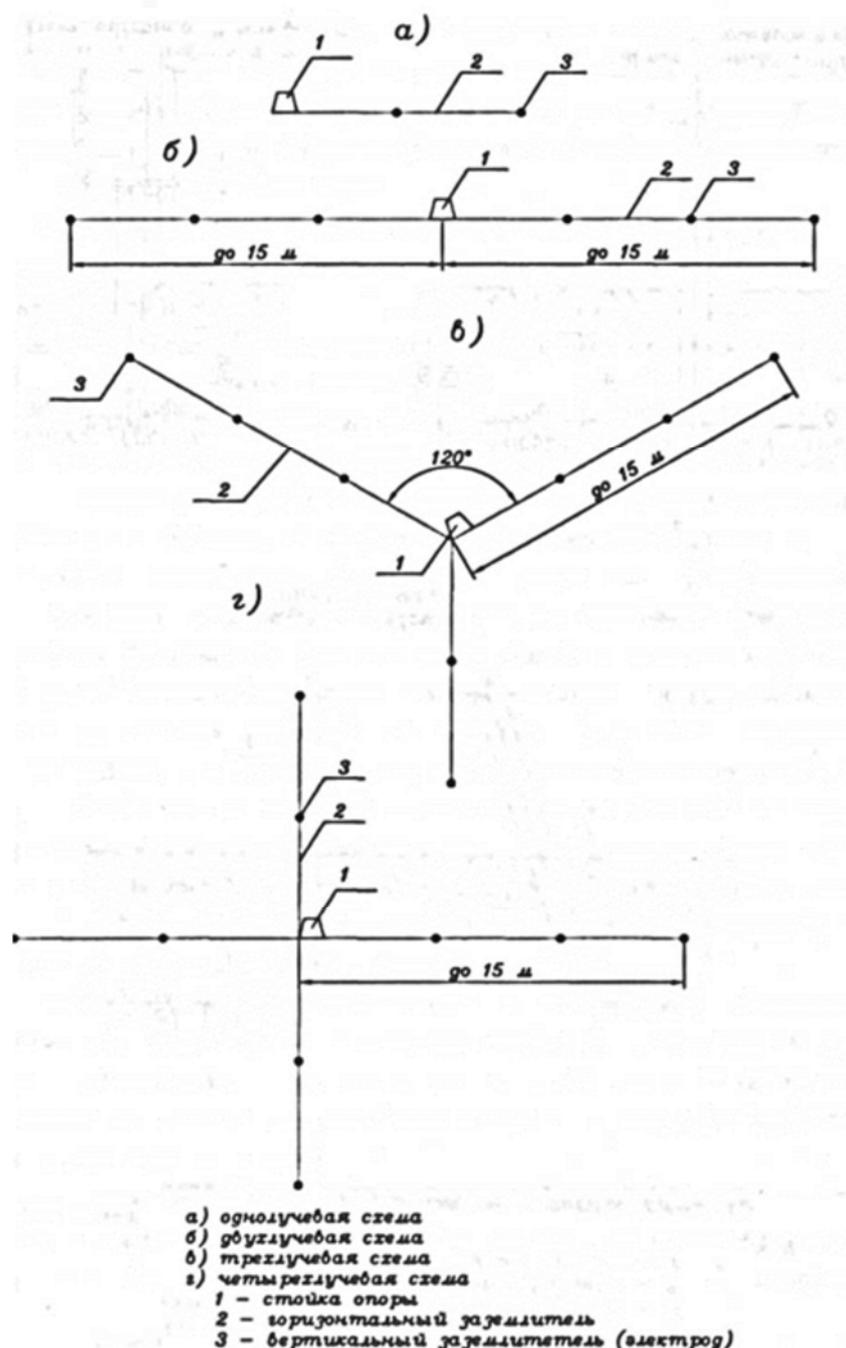


Рисунок Б.2 – Рациональное расположение заземлителей опор (план)

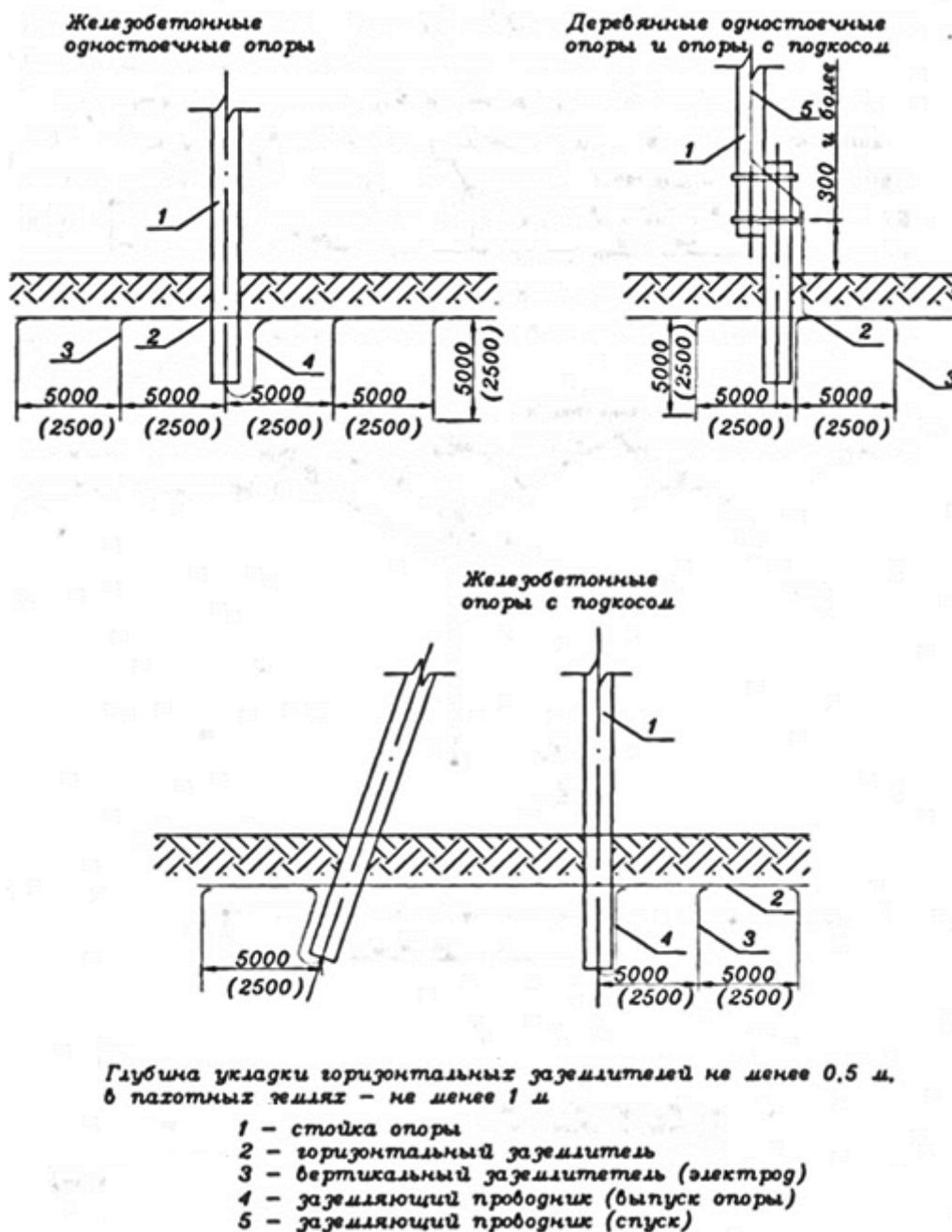


Рисунок Б.3 – Схема выполнения заземлителей опор

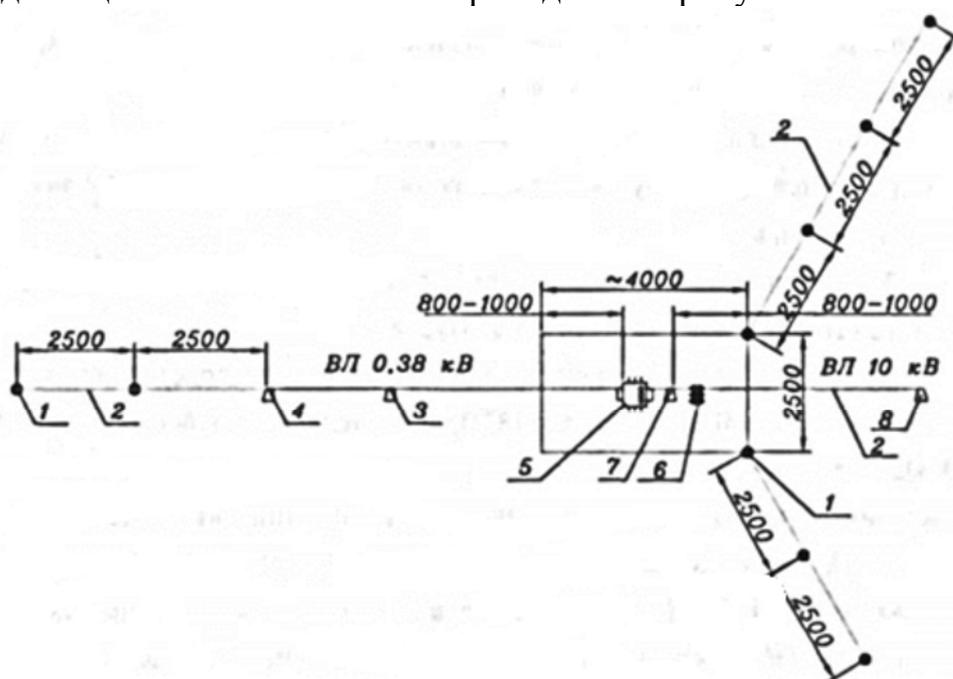
В.3. Заземлитель ВЛ, как правило, должен находиться на глубине не менее 0,5 м, а в пахотной земле – 1 м.

В.4. Заземляющее устройство трансформаторных подстанций: комплектных (КТП), мачтовых (МТП) и закрытых (ЗТП), является общим для напряжений 10 и 0,4 кВ и состоит из обязательного (совмещенного) и, если обязательный не обеспечивает нормируемого сопротивления, дополнительного заземлителей.

В.5. При выполнении заземляющего устройства трансформаторных подстанций (КТП, МТП, ЗТП) в первую очередь выполняется обязательный заземлитель. Обязательный (совмещенный) заземлитель подстанций типа

КТП и МТП состоит из замкнутых контуров, проложенных вокруг площадки занимаемой электрооборудованием подстанции на расстоянии 0,8-1 м от оборудования и горизонтальных связей со всеми концевыми опорами ВЛ 10 и 0,38 кВ. Кроме того, в двух углах контура подстанции типа КТП (со стороны разъединителя) забивается по одному вертикальному заземлителю длиной по 2,5 м. В качестве горизонтального заземлителя используется сталь круглая диаметром 10 мм, уложенная на глубине 0,5 м. К горизонтальному заземлителю привариваются выпуски стойки и подкоса опор ВЛ 0,38 и 10 кВ.

В.6. Если нормируемое сопротивление не обеспечивается обязательным заземлителем, сооружается дополнительный заземлитель, путем укладки лучей из базовых элементов аналогично укладываемым на ВЛ 0,38 и 10 кВ. Примеры выполнения заземляющих устройств трансформаторных подстанций типа КТП и МТП приведены на рисунках Б.4а – Б.4в и Б.5.

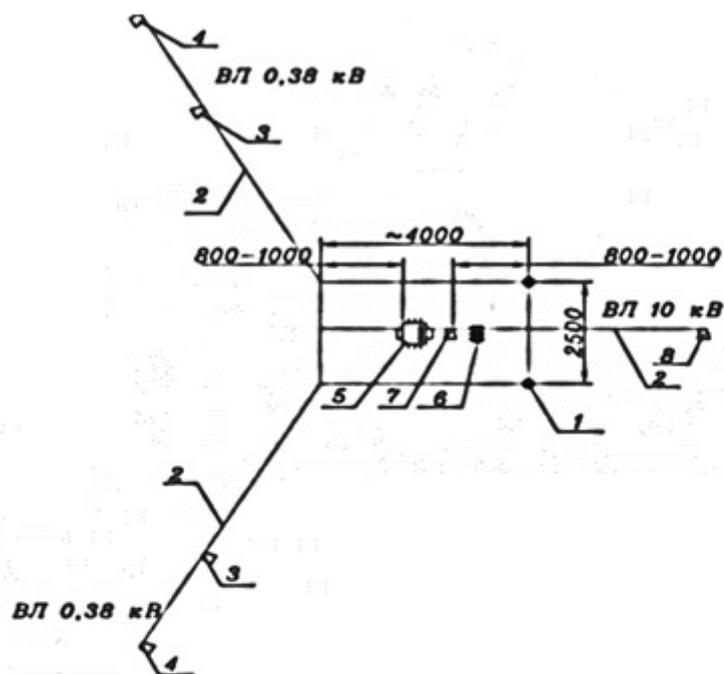


Условные обозначения

- обязательный (совмещенный) заземлитель
 ● ————— дополнительный заземлитель

- 1 – вертикальный заземлитель, сталь круглая диаметром 10 мм, длиной 2,5 м
 2 – горизонтальный заземлитель, сталь круглая диаметром 10 мм, глубина укладки 0,5 м, на пазотных землях – 1 м
 3 – стойка концевой опоры ВЛ 0,38 кВ
 4 – подкос концевой опоры ВЛ 0,38 кВ
 5 – трансформатор
 6 – разъединитель
 7 – стойка концевой (угловой промежуточной) опоры ВЛ 10 кВ
 8 – подкос концевой (угловой промежуточной) опоры ВЛ 10 кВ

Рисунок Б.4а – Заземляющее устройство КТП 10/0,4 кВ при одной отходящей ВЛ 0,38 кВ (пример выполнения при $\rho=100$ Ом.м)



- 1 - вертикальный заземлитель, сталь круглая диаметром 10 мм, длиной 2,5 м
 2 - горизонтальный заземлитель, сталь круглая диаметром 10 мм, глубина укладки 0,5 м, на пахотных землях - 1 м
 3 - стойка концевой опоры ВЛ 0,38 кВ
 4 - провис концевой опоры ВЛ 0,38 кВ
 5 - трансформатор
 6 - разрядник
 7 - стойка концевой (угловой промежуточной) опоры ВЛ 10 кВ
 8 - провис концевой (угловой промежуточной) опоры ВЛ 10 кВ

Рисунок Б.46 – Заземляющее устройство КТП 10/0,4 кВ при двух отходящих ВЛ 0,38 кВ (пример выполнения при $\rho=100$ Ом.м)

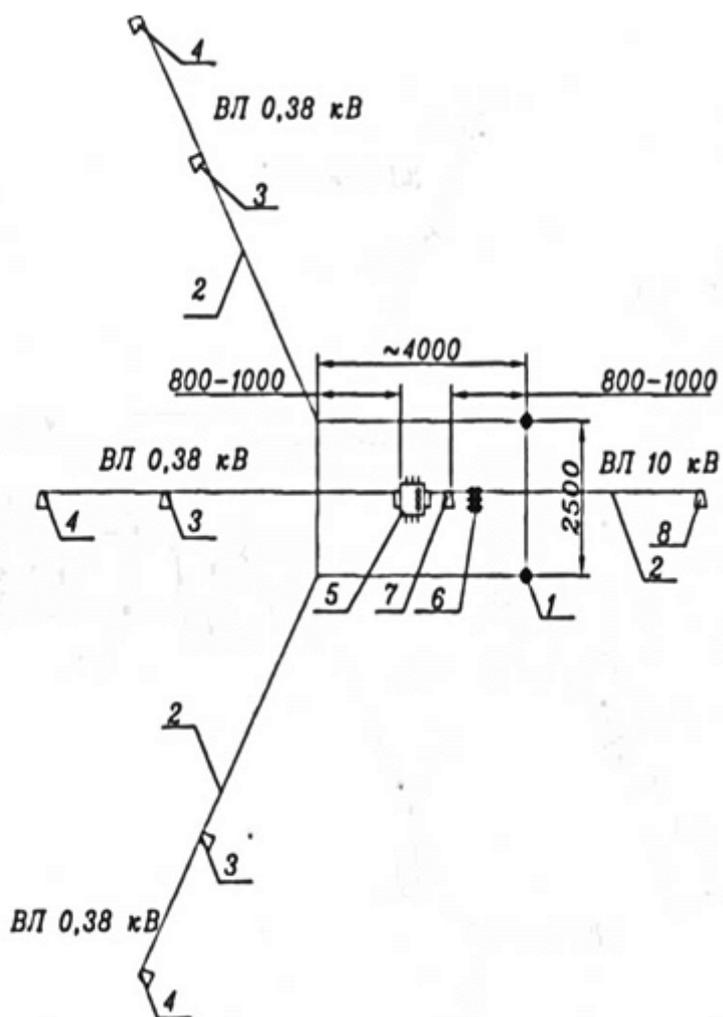
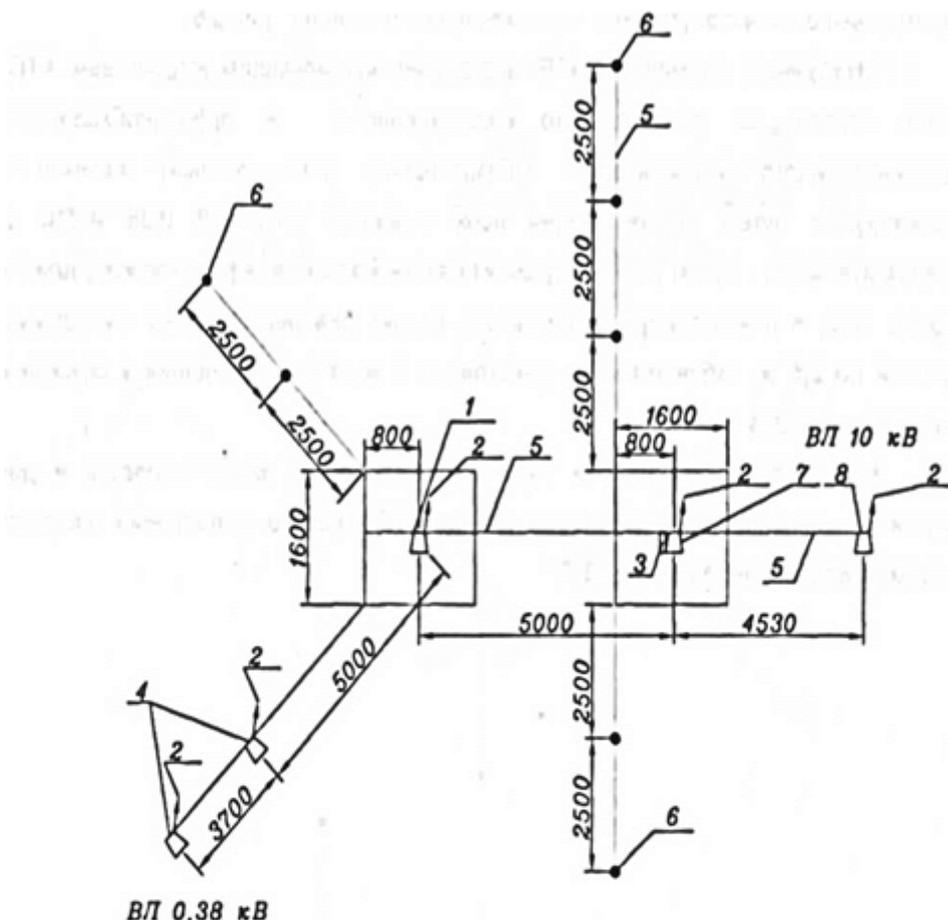


Рисунок Б.4в – Заземляющее устройство КТП 10/0,4 кВ при трех отходящих ВЛ 0,38 кВ (пример выполнения при $\rho=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$)



Условные обозначения

- обязательный (совмещенный) заземлитель
 • — дополнительный заземлитель

- 1 - стойка опоры мачтовой ТП 10/0,4 кВ
 2 - заземляющий проводник (выпуск стойки)
 3 - прибор разрядителя
 4 - конечная опора ВЛ 0,38 кВ
 5 - горизонтальный заземлитель, сталь диаметром 10 мм, глубина укладки 0,5 м, на пазы под землю - 1 м
 6 - вертикальный заземлитель, сталь диаметром 10 мм, длиной 2,5 м
 7 - стойка конечной опоры ВЛ 10 кВ с разрядителем
 8 - подкос конечной опоры ВЛ 10 кВ

Рисунок Б.5 – Заземляющее устройство мачтовой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ (пример выполнения при $\rho=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$)

В.7. Заземляющее устройство ЗТП состоит из заземления внутри здания ЗТП и наружного заземлителя. Внутри здания для магистрали заземления используются все опорные металлоконструкции. Для этой цели все опорные металлоконструкции в местах стыков и в торцах должны быть соединены электросваркой между собой. Пример выполнения внутреннего заземления приведен на рисунке Б.6.

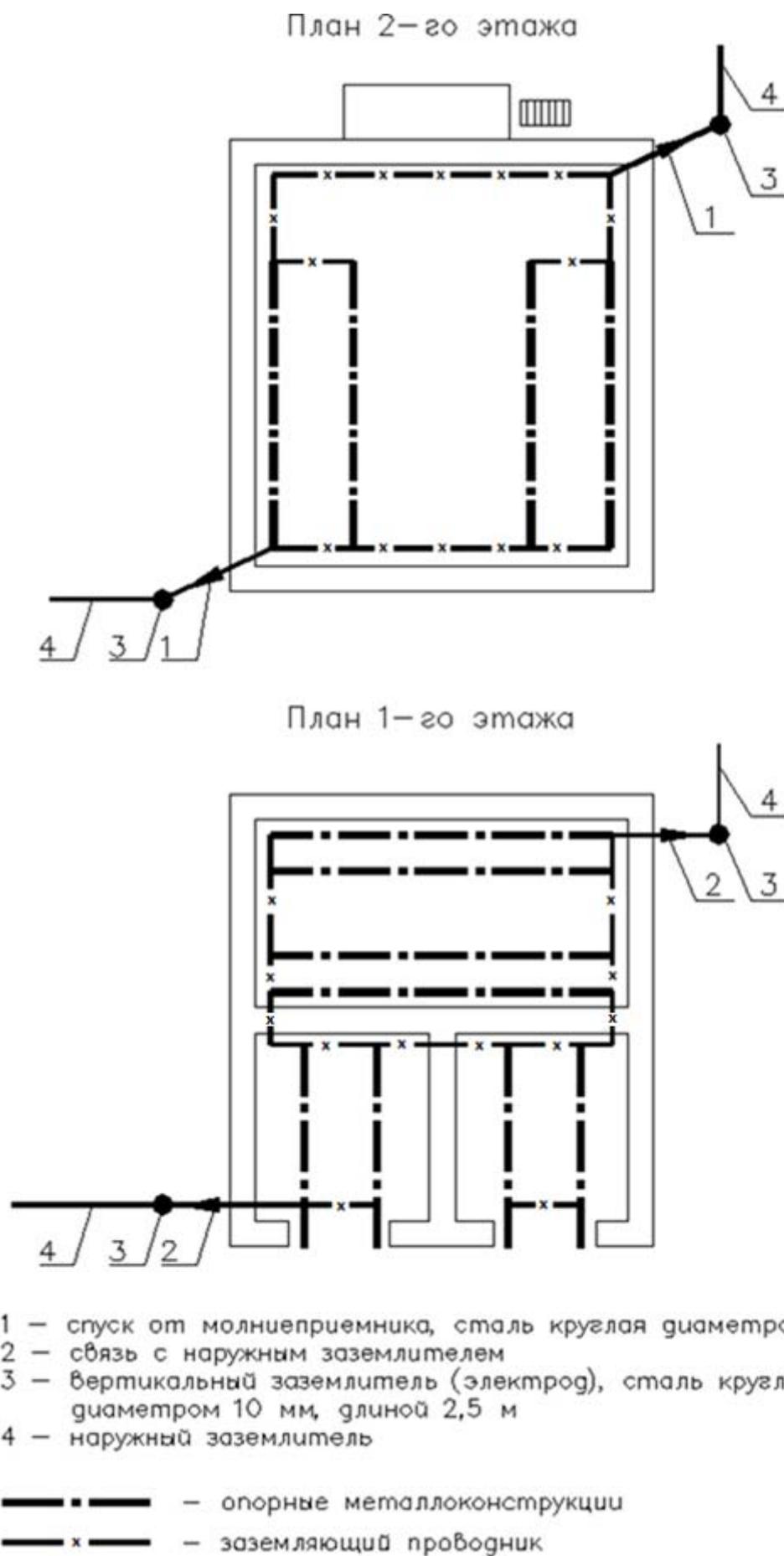
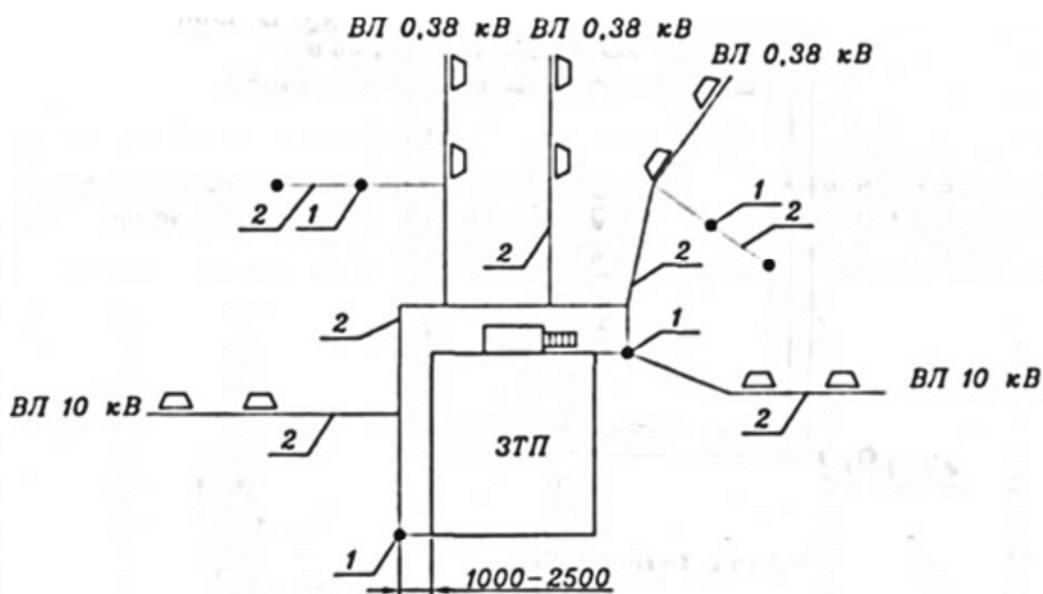


Рисунок Б.6 – Заземление внутри здания закрытой трансформаторной подстанции

В.8. Наружный заземлитель ЗТП аналогично заземляющим устройствам КТП и МТП, состоит из обязательного (совмещенного) и, при необходимости, дополнительных заземлителей. Обязательный (совмещенный) заземлитель выполняется путем использования всех концевых опор ВЛ 0,38 и 10 кВ, дополнительный – путем укладки лучей из базовых элементов размером 2,5 или 5 м. Кроме того, в обязательный заземлитель входят два вертикальных заземлителя длиной по 2,5 м, забиваемые на расстоянии 1 м от стены здания у спусков от молниеприемника.

В.9. Связь внутреннего и наружного заземлений осуществляется в двух местах с противоположных сторон здания ЗТП.



Условные обозначения

- обязательный (совмещенный) заземлитель
 • ————— дополнительный заземлитель

1 – вертикальный заземлитель, сталь круглая диаметром 10 мм, длиной 2,5 м

2 – горизонтальный заземлитель, сталь круглая диаметром 10 мм, глубина укладки 0,5 м, на паточных землях – 1 м

Рисунок Б.7 – Заземляющее устройство закрытой трансформаторной подстанции (пример выполнения при $\rho=300$ Ом.м)

Приложение В (справочное)

Физические основы заземления и электробезопасности

Б.1 Ток в земле растекается во все стороны от заземлителя, т.е. протекание тока в земле носит объемный характер. Рассмотрим прохождение тока между двумя вертикальными заземлителями (стержнями) А и В, находящимися на значительном расстоянии друг от друга в однородной земле (рисунок В.1).

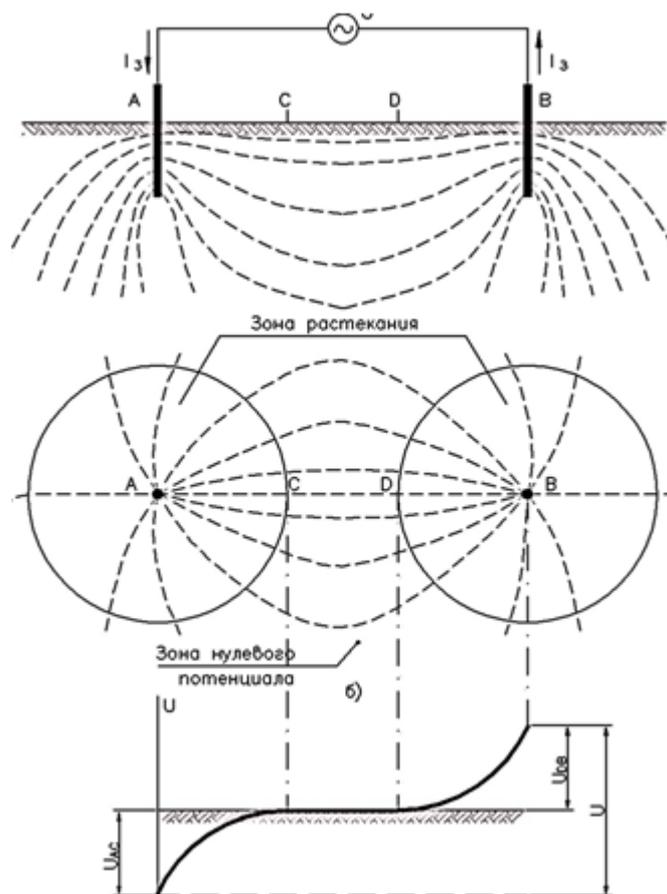


Рисунок В.1 – Прохождение тока (а) и распределение напряжения (б) в однородной земле между стержневыми заземлителями

В неоднородной земле симметрия растекания нарушится, но принцип остается таким же.

Пунктирными линиями показаны пути растекания тока в земле. Вблизи заземлителей плотность тока наибольшая, так как здесь ток проходит по малому сечению. По мере удаления от заземлителей плотность тока постепенно уменьшается ввиду того, что ток растекается по все большему объему земли. На расстоянии 20 – 30 м от единичного заземлителя (стержня длиной 2–3 м) ток в земле растекается по столь большому объему, что его плотность на этом расстоянии можно считать равной нулю.

Таким образом, сопротивление растеканию тока практически сосредоточено в радиусе 20–30 м от места входа или выхода тока (рисунок В.1). Поэтому те точки земли, которые находятся на расстоянии 20 м и более от одиночных заземлителей А и В, практически будут иметь потенциал, равный нулю, т.е. будут являться землей в электрическом смысле слова (зона нулевого потенциала).

Б.2 При больших (сложных) заземлителях указанные расстояния будут значительно больше 20 м и доходить до нескольких сот и даже тысяч метров. Поэтому в общем случае зоной нулевого потенциала называют те точки земли, которые лежат вне зоны растекания тока, и потенциал которых настолько мал, что его можно принять равным нулю.

Из рисунка В.1 видно, что все точки земли, находящиеся на участке СД, имеют нулевой потенциал, так как на этом участке плотность тока в земле ничтожно мала и нет падения напряжения. Наибольшие потенциалы будут на заземлителях А и В. Их потенциалы называют полными потенциалами или напряжением на заземлителе U_A и U_B , которые равны:

$$U_A = -I_3 R_A = -U_{AC} \quad (B.1)$$

$$U_B = I_3 R_3 = U_{DB} \quad (B.2)$$

Разные знаки у потенциалов U_A и U_B объясняются разным направлением токов, протекающих через заземлители.

Из (B.1), (B.2) сопротивление заземлителей А и В равны:

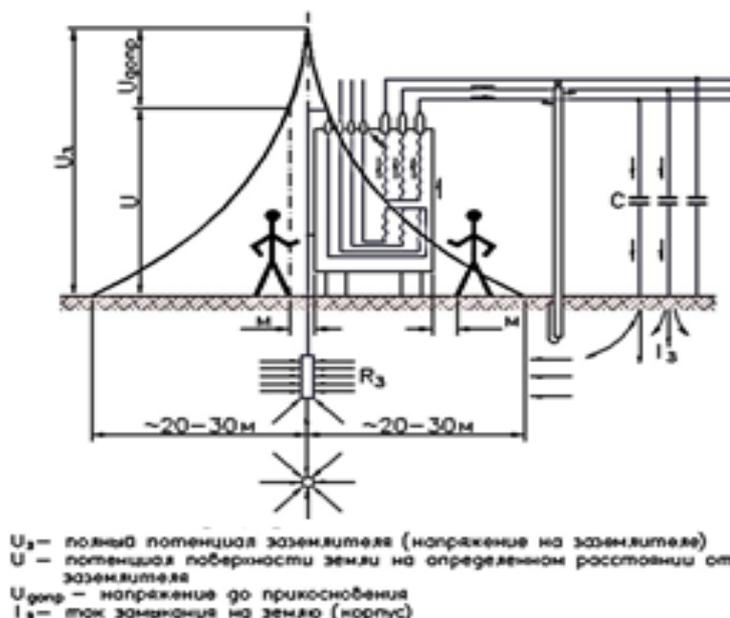
$$R_A = \frac{U_A}{I_3}, \quad R_B = \frac{U_B}{I_3}, \quad (B.3)$$

где I_3 - ток стекающий (втекающий) с заземлителя.

Если при помощи вольтметра измерить разность потенциалов между заземлителем А (рисунок Б.1 (б)) и зоной нулевого потенциала, получим полный потенциал заземлителя U_A или другими словами, напряжение на заземлителе (заземляющем устройстве) $U_A = U_{AC}$.

Б.3 Если при помощи вольтметра измерить разность потенциалов на поверхности земли при разных расстояниях от заземлителя (для простоты понимания рассматривается одиночный стержневой заземлитель в однородной земле (рисунок В.2) и результаты нанести на диаграмму, получим кривую распределения потенциалов по поверхности земли U . Из этих кривых видно, что наивысший потенциал имеет заземлитель (U_3) и электрически связанные с ним кожух (бак) трансформатора и все надземные металлические конструкции.

Вблизи заземлителя потенциал падает очень резко, а дальше от заземлителя – постепенно. В общем случае характер кривой распределения потенциалов по поверхности земли различный и зависит от формы заземлителя,



взаимного расположения отдельных элементов в заземлителе, глубины их заложения, электрической структуры земли и практически не зависит от величины стекающего тока.

Рисунок В.2 – Распределение потенциала по поверхности земли при растекании тока с одиночного заземлителя в однородной земле

Б.4 По мере углубления заземлителя потенциал точек на поверхности земли непосредственно над заземлителем уменьшается, так как в слое земли между верхним краем заземлителя и поверхностью земли происходит падение напряжения, которое тем больше, чем глубже расположен заземлитель. Это следует помнить при укладке потенциаловывравнивающих заземлителей для снижения напряжений прикосновения. Чем на меньшей глубине они уложены, тем ближе потенциал поверхности земли к потенциалу заземлителя (заземленных корпусов оборудования, приводов разъединителей и т.п.) и тем меньше разность потенциалов между заземленными надземными металлоконструкциями и землей.

Б.5 Если человек касается рукой корпуса аппарата или оборудования с поврежденной изоляцией токоведущих частей (на рисунке Б.2 бака трансформатора 10/0,4 кВ), то напряжение между баком и поверхностью земли, где стоят ноги человека составит:

$$U_{до пр.} = U_з - U = I_з R_з - U,$$

где $U_{до пр.}$ – напряжение до прикосновения (ожидаемое напряжение прикосновения по ГОСТ ИЕС 61140);

$I_з$ – ток замыкания на землю;

$R_з$ – сопротивление заземлителя;

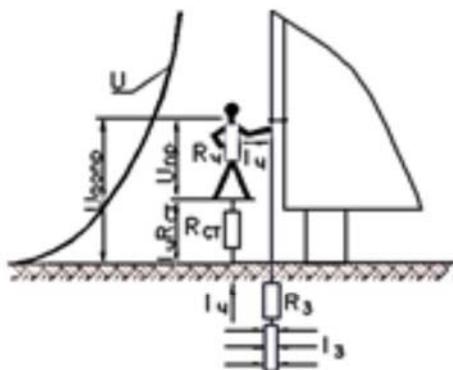
U – потенциал поверхности земли в конкретной точке, $U_{\text{допр.}}$ – это разность потенциалов между точкой земли и заземленными частями оборудования в момент, когда человек еще не коснулся оборудования, т.е. когда цепь тока, протекающего через тело человека, еще не замкнута. Напряжение до прикосновения можно измерить вольтметром с бесконечно большим внутренним сопротивлением, например, электростатической системы. При этом электрод, обеспечивающий контакт с землей, может быть произвольной конструкции (круг, пластина, полусфера и т.п.).

Как видно из рисунка Б.2. $U_{\text{допр.}}$ существенно зависит от расположения человека относительно заземлителя, с которым соединен бак трансформатора. Например, при $R_3=10 \text{ Ом}$, $I_3=10 \text{ А}$, $U_{\text{допр.}}=I_3 R_3 - U = 10 \cdot 10 - 70 = 30 \text{ В}$ с левой стороны бака (вблизи заземлителя), где $U = 70 \text{ В}$ – потенциал поверхности земли, в месте расположения человека.

С правой стороны бака (на некотором расстоянии от заземлителя)

$$U_{\text{допр.}} = 100 - 12 \approx 88 \text{ В.}$$

Б.6 Напряжение прикосновения – это падение напряжения на сопротивлении тела человека в момент его прикосновения к заземленному оборудованию и протекании через человека тока. Напряжение прикосновения всегда меньше, чем напряжение до прикосновения. Это обусловлено тем, что ток, протекающий по пути «рука - ноги», встречает на своем пути два сопротивления (рисунок В.3). Одно из них – $R_{\text{ч}}$ включает сопротивление человеческого тела, сопротивление кожи рук и ног (сопротивлением недиэлектрической обуви пренебрегают), второе $R_{\text{ст}}$ – сопротивление растеканию тока со стоп ног человека. $R_{\text{ст}}$ практически не зависит от конструкции заземлителя и определяется удельным сопротивлением земли (пола) ρ , на которой стоит человек $R_{\text{ст}} = 1,5 \rho$.



- U – распределение потенциалов по поверхности земли при стекании (втекании) тока однофазного замыкания с заземляющего устройства
- I_3 – ток замыкания на землю
- R_3 – сопротивление заземляющего устройства
- $I_{\text{ч}}$ – ток, протекающий через тело человека по пути «рука-ноги»
- $R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека
- $R_{\text{ст}}$ – сопротивление растеканию тока со ступней ног человека
- $U_{\text{допр.}}$ – напряжение до прикосновения
- $U_{\text{тп}}$ – напряжение прикосновения

Рисунок В.3 – К определению понятия напряжения прикосновения

На рисунке В.3 приведена утрированная схема замещения, в которой распределенные сопротивления заземлителя (заземляющего устройства) и стоп ног для наглядности изображены сосредоточенными.

Определим величины напряжений прикосновения для вышеуказанного примера (рисунок В.2). Примем удельное сопротивление земли $\rho=300$ Ом·м. Из рисунка В.3 видно:

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{ч}} R_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{допр}}}{R_{\text{СТ}} + R_{\text{ч}}} \cdot R_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{допр}}}{1,5\rho + R_{\text{ч}}} \cdot R_{\text{ч}}$$

Напряжение прикосновения с левой стороны бака будет

$$U_{\text{пр}} = \frac{30}{1,5 \cdot 300 + 1000} \cdot 1000 \approx 21\text{В},$$

с правой стороны

$$U_{\text{пр}} = \frac{88}{1,5 \cdot 300 + 1000} \cdot 1000 \approx 61\text{В}.$$

Следует помнить, что напряжение прикосновения измеряется вольтметром с внутренним сопротивлением 1 кОм. Если оно выше 1 кОм, подбирается шунт обеспечивающий общее сопротивление 1 кОм, т.е. суммарное сопротивление должно равняться принятой ГОСТ 12.1.038 величине сопротивления тела человека. $1 \pm 10\%$ кОм. Стопы ног имитируются квадратной пластиной определенных размеров и конструкции.

Б.7 Напряжение шага – напряжение между двумя точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю, при одновременном касании их ногами человека. Величину шага человека обычно принимают 0,8 м.

При растекании тока в земле между разными точками земли возникает разность потенциалов. Если ноги человека будут касаться этих точек, то он попадает под шаговое напряжение. Кривые распределения потенциалов вокруг заземлителя показывают, что по мере удаления от заземлителя или от места замыкания на землю величина шагового напряжения постепенно уменьшается от наибольшего значения до нуля.

На рисунке В.4 нанесены кривые распределение потенциалов около одиночного заземлителя и заземлителя ТП. В однородной земле эквипотенциальные линии представляют из себя окружности с центром в месте заземлителя, а в неоднородной – фигуры другой формы. Из этого рисунка видно, что шаговое напряжение может равняться нулю даже в непосредственной близости от заземлителя, если ноги человека находятся на эквипотенциальной линии, например, в точках А и В. Допустимая величина шагового напряжения не нормируется, так как шаговое напряжение всегда меньше напряжения прикосновения. Однако шаговое напряжение может оказаться опасным, особенно для животных, у которых большее чем у человека расстояние между ногами и которые более чувствительны к напряжению (12 В является для них поражающим напряжением).

По этой причине действующие правила и инструкции безопасности предписывают применять меры защиты путем выравнивания потенциалов и (или) использования персоналом диэлектрической обуви

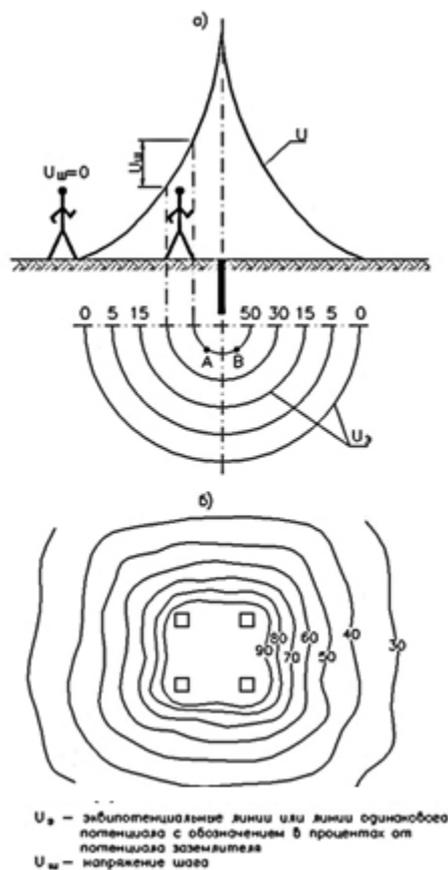


Рисунок В.4 – Распределение потенциала U по поверхности земли у одиночного заземлителя в однородной земле (а) и у заземлителя ТП в реальной земле (б)

Приложение Г (справочное)

Рекомендации по выбору дополнительных базовых элементов для доведения сопротивления заземляющих устройств до нормируемых

Г.1 Пример 1. Определение соответствия сопротивления ЗУ норме.

Г.1.1 Информация о ЗУ:

Г.1.1.1 Вид электроустановки - разъединительный пункт 10 кВ.

Г.1.1.2 Минимальное допустимое сопротивление ЗУ в соответствии с Таблицей 6.2 - $R_{\text{мин.доп}} = 10 \text{ Ом}$.

Г.1.1.3 Измеренное сопротивление - $R_{\text{изм}} = 10 \text{ Ом}$, т.е. на время измерения соответствует норме $R_{\text{изм}} = R_{\text{мин.доп}} = 10 \text{ Ом}$.

Г.1.1.4 Время измерения - Август.

Г.1.1.5 Конструкция ЗУ - 40 базовых элементов с длиной вертикальных электродов и горизонтальных заземлителей 2,5 м.

Г.1.2 Приведение измеренного сопротивления ЗУ к расчетному сезону:

Г.1.2.1 Расчетный сезон в соответствии с Таблицей 6.1 - зимний.

Г.1.2.2 По Таблице 13.6. определяется сезонный коэффициент $K_{\text{зу}} = 1,3$.

Г.1.2.3 Измеренная величина сопротивления ЗУ по выражению (13.7) приводится к расчетному сезону

$$R_{\text{зу}} = K_{\text{зу}} \cdot R_{\text{изм}} = 1,3 \cdot 10 = 13 \text{ Ом}.$$

Г.1.3 Определение допустимого сопротивления ЗУ:

Г.1.3.1 По выражению (13.8) определяется эквивалентное удельное сопротивление земли

$$\rho_{\text{э}} = (5 + 1,2n_{\text{э}}) \cdot R_{\text{зу}} = (5 + 1,2 \cdot 40) \cdot 13 = 689 \text{ Ом.м}.$$

Г.1.3.2 Из Таблицы 6.2 следует, что

$$R_{\text{доп}} = 689 \cdot 0,02 = 13,7 \text{ Ом}.$$

Г.1.4 Заключение: Сопротивление ЗУ удовлетворяет норме в зимний расчетный сезон

$$R_{\text{зу}} = 13 \text{ Ом} < R_{\text{доп}} = 13,7 \text{ Ом}.$$

Г.2 Пример 2. Определение соответствия сопротивления ЗУ норме.

Г.2.1 Информация о ЗУ:

Г.2.1.1 Вид ЗУ электроустановки - повторное заземление нулевого провода ВЛ 0,38 кВ.

Г.2.1.2 Минимальное допустимое сопротивление ЗУ в соответствии с Таблицей 6.2 - $R_{\text{мин.доп}} = 30 \text{ Ом}$.

Г.2.1.3 Измеренное сопротивление - $R_{\text{изм}} = 27 \text{ Ом}$, т.е. на время измерения соответствует норме $R_{\text{изм}} = 27 \text{ Ом} < R_{\text{мин.доп}} = 30 \text{ Ом}$.

Г.2.1.4 Время измерения – Май.

Г.2.1.5 Конструкция ЗУ - 4 базовых элемента с длиной вертикальных электродов и горизонтальных заземлителей 2,5 м.

Г.2.2 Приведение измеренного сопротивления ЗУ к расчетному сезону:

Г.2.2.1 Расчетный сезон в соответствии с Таблицей 6.1 - зимний.

Г.2.2.2 По Таблице 13.4. определяется сезонный коэффициент $K_{з\text{у}}=1,45$.

Г.2.2.3 Измеренная величина сопротивления ЗУ по выражению (3.1) приводится к расчетному сезону

$$R_{з\text{у}}=K_{з\text{у}} \cdot R_{\text{изм}} = 1,45 \cdot 27=39,15 \text{ Ом.}$$

Г.2.3 Определение допустимого сопротивления ЗУ:

Г.2.3.1 По выражению (13.8) определяется эквивалентное удельное сопротивление земли

$$\rho_{\text{э}}=(5 + 1,2 \cdot n_{\text{э}}) \cdot R_{з\text{у}}= (5+1,2 \cdot 4) \cdot 39,15 = 383,67 \text{ Ом.м.}$$

Г.2.3.2 Из Таблицы 6.2 следует, что

$$R_{\text{доп}} = 383,67 \cdot 0,3 = 115,1 \text{ Ом.}$$

Г.2.4 Заключение: Сопротивление ЗУ удовлетворяет норме в зимний расчетный сезон.

$$R_{з\text{у}} = 39,15 \text{ Ом} < R_{\text{доп}} = 115,1 \text{ Ом.}$$

Г.3 Пример 3. Определение соответствия сопротивления ЗУ норме.

Г.3.1 Информация о ЗУ:

1.1. Вид ЗУ электроустановки - заземление ж/б опор ВЛ 10 кВ в населенной местности.

1.2. Минимальное допустимое сопротивление ЗУ в соответствии с Таблицей 6.2 - $R_{\text{мин.доп}}=10 \text{ Ом.}$

Г.3.1.3 Измеренное сопротивление - $R_{\text{изм}}=14 \text{ Ом}$, т.е. измеренное сопротивление больше минимального допустимого сопротивления. Необходимо определить допустимое сопротивление ЗУ.

Г.3.1.4 Время измерения - Декабрь.

Г.3.1.5 Конструкция ЗУ - 7 базовых элементов с длиной вертикальных электродов и горизонтальных заземлителей 2,5 м.

Г.3.2 Приведение измеренного сопротивления ЗУ к расчетному сезону:

Г.3.2.1 Расчетный сезон в соответствии с таблицей 6.1 - зимний.

Г.3.2.2 По Таблице 13.4. определяется сезонный коэффициент $K_{з\text{у}}=1,0$.

Г.3.2.3 Измеренная величина сопротивления ЗУ по выражению (13.7) приводится к расчетному сезону: $R_{з\text{у}}=K_{з\text{у}} \cdot R_{\text{изм}} =1,0 \cdot 14=14 \text{ Ом.}$

Г.3.3 Определение допустимого сопротивления ЗУ:

Г.3.3.1 По выражению (13.8) определяется эквивалентное удельное сопротивление земли

$$\rho_{\text{э}}=(5 + 1,2 \cdot n_{\text{э}}) \cdot R_{з\text{у}}= (5 + 1,2 \cdot 7) \cdot 14 = 187,6 \text{ Ом.м.}$$

Г.3.3.2 Из Таблицы 6.2 следует, что $R_{\text{доп}} = 15 \text{ Ом.}$

Г.3.4 Заключение: Сопротивление ЗУ удовлетворяет норме

$$R_{з\text{у}} = 14 \text{ Ом} < R_{\text{доп}} = 15 \text{ Ом.}$$

Г.4 Пример 4. Изменение конструкции ЗУ.

Г.4.1 Информация о ЗУ:

1.1. Вид ЗУ электроустановки - грозозащитное заземление ВЛ 0,38 кВ.

1.2. Минимальное допустимое сопротивление ЗУ в соответствии с Таблицей 6.2 - $R_{\text{мин.доп}} = 30 \text{ Ом}$.

Г.4.1.3 Измеренное сопротивление - $R_{\text{изм}} = 43 \text{ Ом}$, т.е. измеренное сопротивление больше минимального допустимого сопротивления. Необходимо определить допустимое сопротивление ЗУ.

Г.4.1.4 Время измерения - Май.

Г.4.1.5 Конструкция ЗУ - 1 базовый элемент с длиной вертикального электрода и горизонтального заземлителя 2,5 м.

Г.4.2 Приведение измеренного сопротивления ЗУ к расчетному сезону:

Г.4.2.1 Расчетный сезон в соответствии с Таблицей 6.1 - летний.

Г.4.2.2 Сезонный коэффициент $K_{\text{зУ}} = 1,0$.

Г.4.2.3 Измеренная величина сопротивления ЗУ по выражению (13.7) приводится к расчетному сезону $R_{\text{зУ}} = K_{\text{зУ}} \cdot R_{\text{изм}} = 1,0 \cdot 43 = 43,0 \text{ Ом}$.

Г.4.3 Определение допустимого сопротивления ЗУ:

из таблицы 6.2 следует, что $R_{\text{доп}} = 30 \text{ Ом}$.

Г.4.4 Заключение: Сопротивление ЗУ не удовлетворяет норме.

Г.4.5 Изменение конструкции ЗУ с целью доведения до нормы сопротивления ЗУ:

Г.4.5.1 Из выражения (13.10) число дополнительных базовых элементов ЗУ

$$\Delta n_3 = (4+1)(43/30-1) = 2,17.$$

Г.4.5.2 Принимается решение о монтаже 2-х дополнительных базовых элементов ЗУ с длиной вертикальных электродов и горизонтальных заземлителей 2,5 м.

Библиография

- [1] ГОСТ Р 50571.4.41-2022/МЭК 60364-4-41:2017 Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Защита для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током
- [2] ГОСТ Р 50571.4.44-2019 (МЭК 60364-4-44:2007) Электроустановки низковольтные. Часть 4.44. Защита для обеспечения безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных возмущений
- [3] Методическое пособие по проектированию, строительству и эксплуатации заземляющих устройств распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ в Белорусской энергосистеме. Белорусский государственный энергетический концерн «Белэнерго». Приказ концерна «Белэнерго» от 16.07.99 № 69.
- [4] СН 4.04.03-2020 Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций
- [5] ГОСТ Р МЭК 62561-7-2016 Компоненты системы молниезащиты. Часть 7. Требования к смесям, нормализующим заземление
- [6] ГОСТ Р 50571.5.54-2013/МЭК 60364-5-54:2011 Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов
- [7] ГОСТ Р 58882 – 2020 Заземляющие устройства. Системы уравнивания потенциалов. Заземлители. Заземляющие проводники. Технические требования