

В. Д. Маньков, С. Ф. Заграничный

# ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАНУЛЕНИЕ электроустановок

СПРАВОЧНИК



В. Д. Маньков, С. Ф. Заграничный

# ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ и ЗАНУЛЕНИЕ электроустановок

СПРАВОЧНИК



**ПОЛИТЕХНИКА  
ИЗДАТЕЛЬСТВО**

Санкт-Петербург 2005

УДК 621.30.053

ББК 31.279-04

М24

Рецензенты: О. Н. Халявкин — технический директор ОАО «Севзап-электромонтаж»; В. В. Карагодин — начальник кафедры «Электроснабжение» ВКА им. А. Ф. Можайского, Почетный энергетик РФ, канд. техн. наук, доцент.

**Маньков В. Д., Заграничный С. Ф.**

**М24** Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник. — СПб.: Политехника, 2005. — 400 с.: ил. — (Сер. Безопасность жизни и деятельности).

ISBN 5-7325-0791-4

В книге рассмотрены защитное заземление и защитное зануление, включая требования, предъявляемые к ним, к их составным элементам, к конструкции и эксплуатации.

В отличие от аналогичных изданий справочник написан на основе измененных или вновь введенных в действие нормативно-технических документов по защитным мерам от поражения электрическим током. Учтены требования комплекса ГОСТов Р 50571 «Электроустановки зданий», а также требования ПУЭ 7-го издания, ПТЭЭП.

Книга предназначена для специалистов электроэнергетиков, занимающихся эксплуатацией электроустановок, проектированием и монтажом, а также желающих самостоятельно изучать вопросы обеспечения электробезопасности.

УДК 621.30.053

ББК 31.279-04

ISBN 5-7325-0791-4



СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Маньков Виктор Дмитриевич  
Заграничный Сергей Филиппович

**ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ  
И ЗАЩИТНОЕ ЗАНУЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

*Безопасность жизни и деятельности*

Заведующая редакцией *Е. В. Шарова*. Редактор *Е. Ю. Гомзякова*.  
Переплет художника *М. Л. Черненко*. Технический редактор *Т. М. Жилич*.  
Корректоры *З. С. Романова, Е. П. Смирнова, Н. В. Соловьева*.  
Операторы *С. В. Барашкова, Н. А. Черепкова*

Сдано в набор 24.11.04. Подписано в печать 01.06.2005.

Формат издания 60 × 90<sup>1/16</sup>. Гарнитура SchoolBook. Печать офсетная.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 25,0. Уч.-изд. 23,8. Тираж 3000 экз. Заказ № 1949.

ОАО «Издательство «Политехника». 191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., 6.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных диапозитивов в ГУП РК «Республиканская типография им. П. Ф. Анохина», 185005, г. Петрозаводск, ул. Правды, 4

ISBN 5-7325-0791-4

© В. Д. Маньков, С. Ф. Заграничный, 2005

© Издательство «Политехника», 2005

# О Г Л А В Л Е Н И Е

Список сокращений .....	6
Краткий словарь употребляемых терминов .....	8
Предисловие .....	17
<b>Глава 1. Общие требования к обеспечению безопасности электроустановок .....</b>	<b>19</b>
1.1. Действие электрического тока на тело человека .....	—
Виды действия электрического тока (19). Виды поражения электрическим током (21). Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током (31). Индивидуальные свойства человека (33). Параметры электрической сети и цепи поражения (35). Условия окружающей среды (55).	
1.2. Классификация электрических сетей .....	56
Значение заземления нейтрали для обеспечения электробезопасности .....	65
1.3. Системы заземления электрических сетей .....	69
Система TN (73). Система TT (75). Система IT (76).	
1.4. Классификация помещений с электроустановками и территорий по электробезопасности .....	77
1.5. Маркировка и условное обозначение характеристик электротехнических устройств (электроустановок) .....	81
1.6. Основные требования к применению защит от поражения электрическим током .....	96
Оптимизация защиты в распределительных сетях (114).	
<b>Глава 2. Общие требования, предъявляемые к защитному заземлению и защитному занулению .....</b>	<b>117</b>
2.1. Область применения защитного заземления и защитного зануления .....	—
2.2. Электроустановки и их части, подлежащие защитному заземлению и защитному занулению .....	122
Защитное заземление и защитное зануление электроустановок во взрывоопасных зонах (124).	
2.3. Виды заземляющих устройств и требования, предъявляемые к ним .....	127
<b>Глава 3. Требования, предъявляемые к выполнению заземления и зануления .....</b>	<b>135</b>
3.1. Заземление электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью .....	—
3.2. Заземление электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью .....	140
3.3. Заземление электроустановок напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной и изолированной нейтралью .....	143

3.4. Особенности заземления электроустановок в электрических сетях системы TN .....	147
Электрические сети системы TN-C (148). Электрические сети системы TN-S (149). Электрические сети системы TN-C-S (150).	
3.5. Особенности заземления электроустановок в электрических сетях системы TT .....	159
3.6. Особенности заземления электроустановок в электрических сетях системы IT .....	163
<b>Г л а в а 4. Устройство и применение заземления и зануления в электрических сетях и установках .....</b>	<b>178</b>
4.1. Требования к устройству и применению заземлителей .....	—
4.2. Требования к устройству и применению заземляющих и защитных проводников .....	186
4.3. Устройство защитного заземления и защитного зануления переносных и передвижных электроприемников .....	199
4.4. Требования к устройству защитного заземления и защитного зануления осветительных установок .....	216
4.5. Защитное заземление и защитное зануление лифтового и кранового оборудования .....	221
Лифты (221). Краны (223).	
4.6. Заземление и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации .....	224
<b>Г л а в а 5. Конструктивное исполнение заземляющих устройств</b>	<b>236</b>
5.1. Конструктивное исполнение искусственных заземляющих устройств .....	—
Конструкция заземлителей молниеотводов (251). Заземляющая сетка (253).	
5.2. Конструктивное исполнение и монтаж заземляющих и нулевых защитных проводников .....	254
5.3. Соединения и присоединения заземляющих и нулевых защитных проводников .....	267
Подсоединение молниеотводов к заземлителям (279).	
<b>Г л а в а 6. Эксплуатация заземляющих устройств и систем зануления</b> .....	<b>281</b>
6.1. Нормы проверки, контроля и сдачи в эксплуатацию заземляющих устройств .....	—
6.2. Проверка состояния заземляющих устройств и пробивных предохранителей .....	288
Визуальная проверка заземляющего устройства (228). Проверка контактных соединений и металловязей оборудования с заземляющим устройством (228). Оценивание коррозионного состояния (290). Проверка состояния пробивных предохранителей (291).	

6.3. Измерение напряжения прикосновения .....	291
6.4. Измерение сопротивлений растеканию тока с заземляющих устройств и цепи фаза—нулевой защитный проводник .....	297
Выбор сезонного коэффициента сопротивления растеканию тока с заземляющего устройства (300). Измерение сопротивления цепи фаза—нулевой защитный проводник (305). Измерение сопротивления заземляющего устройства трансформаторной подстанции (307). Измерение сопротивления заземлителей опор воздушных линий (309).	
6.5. Измерение электрического сопротивления земли (грунта) ...	311
<b>Глава 7. Расчет заземляющих устройств .....</b>	<b>315</b>
7.1. Растекание электрического тока с заземлителей .....	—
7.2. Определение электрических характеристик грунта .....	323
7.3. Расчет искусственного заземляющего устройства в виде заземляющей сетки .....	337
7.4. Расчет параметров заземляющих и зануляющих проводников	345
7.5. Расчет сопротивления растеканию электрического тока с заземлителей в неоднородной земле .....	350
7.6. Особенности расчета заземляющих устройств строительных конструкций .....	359
7.7. Упрощенный расчет заземляющих устройств .....	371
<b>Приложения .....</b>	<b>381</b>
Приложение 1. Акт освидетельствования скрытых работ по монтажу заземляющих устройств и присоединений к естественным заземляющим устройствам .....	—
Приложение 2. Протокол испытания заземляющего устройства ...	383
Приложение 3. Акт осмотра и проверки состояния открыто проложенных заземляющих проводников .....	386
Приложение 4. Протокол измерения сопротивления заземляющих устройств .....	387
Приложение 5. Сроки контроля состояния заземляющих устройств	388
Приложение 6. Классификация взрывоопасных зон .....	390
Приложение 7. Технологическая карта. Измерение величины сопротивления заземляющего устройства и сопротивления заземляющего проводника .....	391
Приложение 8. Технологическая карта. Измерение величины сопротивления цепи фаза—нулевой защитный проводник и проверка целостности нулевого провода .....	394
Приложение 9. Протокол проверки автоматического отключения питания путем замера полного сопротивления цепи фаза—нулевой защитный проводник .....	396
Приложение 10. Наибольшие значения сопротивлений ЗУ электроустановок и воздушных линий электропередач .....	397
Литература .....	399

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- N — *neutral* (нейтральный провод)  
PE — *protecte eath* (защитная земля)  
TN-C — *terra neutral — complete* (нейтральная земля общая)  
TN-S — *terra neutral — selective* (нейтральная земля разделенная)  
ВЛ — воздушные линии  
ВЛЭП — воздушные линии электропередачи  
ВТЭ — вспомогательный токовый электрод  
ВУ — вводное устройство  
ВЭЗ — вертикальное электрическое зондирование  
ГЗШ — главная заземляющая шина  
ГК СЭН России — Госкомсанэпиднадзор России  
ГН — гигиенические нормативы  
ГОСТ — государственный стандарт  
ГПШ — главная потенциаловыравнивающая шина  
ЗОт — защитное отделение  
ЗПр — заземляющий проводник  
ЗРУ — закрытое распределительное устройство  
ЗУ — заземляющее устройство  
КЗ — короткое замыкание  
ЛЭП — линия электропередачи  
ЛВЖ — легковоспламеняющаяся жидкость  
МЗ — Министерство здравоохранения  
МР — методические рекомендации  
МУК — методические указания по контролю  
НЗП — нулевой защитный проводник  
НРП — нулевой рабочий проводник  
ОБУВ — ориентировочные безопасные уровни воздействия  
ООИ — оборудование обработки информации  
ОПЧ — открытые проводящие части  
ОРУ — открытое распределительное устройство  
ПВС — потенциаловыравнивающая сетка  
ПдЭП — передвижной электроприемник  
ПИП — передвижной источник питания  
ПК (ПЭВМ) — персональный компьютер  
ПКИ — прибор контроля изоляции  
ПвЭП — переносной электроприемник  
ППР — планово-предупредительные ремонты  
ПТЭЭП — правила технической эксплуатации электроустановок потребителей

ПУЭ — правила устройства электроустановок  
ПЭ — потенциальный электрод  
ПЭВМ — персональная электронно-вычислительная машина  
РД — руководящий документ  
РУ — распределительное устройство  
РФ — Российская Федерация  
РЩ — распределительный щит  
СанПиН — Санитарные правила и нормы  
СБСНН — система безопасного сверхнизкого напряжения  
СЗСНН — система защитного сверхнизкого напряжения  
СНИП — Строительные нормы и правила  
СП — Санитарные правила  
СПЧ — сторонние проводящие части  
СБСТ — система стандартов безопасности труда  
ФСНН — система функционального сверхнизкого напряжения  
СЭ — сравнительный электрод  
СЭС — система электроснабжения  
ТВЧ — токоведущая часть  
ТП — трансформаторная подстанция  
ТСН — трансформатор собственных нужд  
ТЭ — токовый электрод  
УЗО — устройство защитного отключения  
УЗО-д — устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток  
ЦОТ — цепь обратного тока  
ЭБ — электробезопасность  
ЭДС — электродвижущая сила  
ЭМП — электромагнитное поле  
ЭО — электрооборудование  
ЭП — электроприемник  
ЭС — электрическая сеть  
ЭУ — электроустановка



**Безопасный разделительный трансформатор** — разделительный трансформатор, предназначенный для питания цепей сверхнизким напряжением.

**Влажное помещение** — помещение, в котором пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь кратковременно в небольших количествах, а относительная влажность воздуха более 60 %, но не превышает 75 %.

**Выравнивание потенциала** — снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли.

**Главная заземляющая шина (главный заземляющий зажим)** — шина или зажим, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки до 1 кВ и предназначенная для электрического присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

**Глухозаземленная нейтраль** — нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству. Глухозаземленным может быть также вывод источника однофазного переменного тока или полюс источника постоянного тока в двухпроводных сетях, а также средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока.

**Глухозаземленная средняя точка** — средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству.

**Глухозаземленный вывод** — вывод источника однофазного переменного тока, присоединенный непосредственно к заземляющему устройству.

**Двойная изоляция** — изоляция в ЭУ напряжением до 1 кВ, состоящая из основной и дополнительной изоляций.

**Двойная изоляция электроприемника** — совокупность рабочей (основной) и защитной (дополнительной) изоляций, при которой доступные прикосновению части электроприемника не приобретают опасного напряжения при повреждении только рабочей (основной) или только защитной (дополнительной) изоляции (оборудование класса II).

**Действующие ЭУ** — такие ЭУ или их участки, которые находятся под напряжением полностью или частично или на которые в любой момент может быть подано напряжение включением коммутационной аппаратуры.

**Дополнительная защита** — применение мер для исключения или смягчения электрического удара в случае повреждения основной защиты и/или защиты при повреждении (изоляции).

**Дополнительная изоляция** — независимая изоляция в ЭУ напряжением до 1 кВ, выполняемая дополнительно к основной изоляции для защиты при косвенном прикосновении.

**Естественный заземлитель** — сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая в целях заземления.

**Жаркое помещение** — помещение, в котором под воздействием различных тепловых излучений температура превышает постоянно или периодически (более 1 сут) + 35 °С (например, помещение с сушилками, сушильными и обжигательными печами, аппаратами и т. д.).

**Заземление** — преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

**Заземление какой-либо части ЭУ** — преднамеренное электрическое соединение (через естественные заземлители) этой части с землей или ее эквивалентом.

**Заземленная нейтраль** — нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземлителю непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформатор тока).

**Заземлитель** — проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

**Заземляющее устройство** — совокупность заземлителей и заземляющих проводников.

**Заземляющий проводник** — проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

**Заземляющий электрод (электрод заземлителя)** — проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с локальной землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, например, через слой бетона или проводящее антикоррозионное покрытие.

**Закрытая или наружная ЭУ** — ЭУ, размещенная внутри здания, защищающего ее от атмосферных воздействий.

**Закрытое распределительное устройство (ЗРУ)** — распределительное устройство, оборудование которого расположено в здании.

**Замыкание на землю** — случайное соединение находящихся под напряжением частей ЭУ с конструктивными частями, не изолированными от земли, или непосредственно с землей.

**Замыкание на корпус** — случайное соединение находящихся под напряжением частей ЭУ с их конструктивными частями — ОПЧ, нормально не находящимися под напряжением.

**Защита от прямого прикосновения** — защита для предотвращения прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

**Защита при косвенном прикосновении** — защита от поражения электрическим током при прикосновении к ОПЧ, оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции.

**Защитное автоматическое отключение питания** — автоматическое замыкание цепи одного или нескольких фазных проводников (и, если требуется, нулевого рабочего проводника), выполняемое в целях обеспечения ЭБ.

**Защитное заземление** — заземление нетоковедущих частей ОПЧ электроустановки в целях обеспечения ЭБ.

**Защитное зануление в ЭУ напряжением до 1 кВ** — преднамеренное соединение ОПЧ с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях обеспечения ЭБ.

**Защитное отключение** — быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение ЭУ при возникновении в ней опасности поражения током.

**Защитное отключение в ЭУ напряжением до 1 кВ** — автоматическое отключение всех фаз (полюсов) участка сети, обеспечивающее безопасные для человека сочетания тока и времени его прохождения при замыканиях на корпус или снижении уровня изоляции ниже определенного значения.

**Защитное разделение электрических цепей** — отделение одной электрической цепи от других цепей в ЭУ напряжением до 1 кВ при помощи двойной изоляции или основной изоляции и защитного экрана или усиленной изоляции.

**Защитное уравнивание потенциалов** — уравнивание потенциалов, выполняемое в целях обеспечения ЭБ.

**Защитное уравнивание электрических потенциалов** — уравнивание электрических потенциалов в целях обеспечения ЭБ путем устранения разности электрических потенциалов между всеми одновременно доступными прикосновению ОПЧ стационарного электрооборудования и СПЧ, включая металлические части строительных конструкций зданий, достигаемое надежным соединением этих частей друг с другом при помощи проводников.

**Защитное устройство от сверхтока** — механическое выключающее устройство, способное включать, пропускать и отключать токи при нормальных условиях, а также включать, пропускать и автоматически отключать токи при аварийных условиях работы сети, таких как перегрузка и короткое замыкание.

**Защитный заземляющий проводник** — защитный проводник, предназначенный для защитного заземления.

**Защитный проводник (РЕ-проводник)** — проводник, применяемый для выполнения защитных мер от поражения электрическим током в случае повреждения и для соединения ОПЧ: с заземлителями, заземляющим проводником или заземленной ТВЧ; с другими ОПЧ; с СПЧ.

**Защитный проводник уравнивания потенциалов** — защитный проводник, предназначенный для защитного уравнивания потенциалов.

**Защитный экран** — проводящий экран, предназначенный для отделения электрической цепи и/или проводников от ТВЧ других цепей.

**Земля (относительная, эталонная)** — проводящая электрический ток и находящаяся вне зон влияния какого-либо заземлителя часть земной коры, электрический потенциал которой принимают равным нулю.

**Зона нулевого потенциала** — зона земли за пределами зоны растекания тока.

**Зона нулевого потенциала (относительная земля)** — часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

**Зона растекания** — область земли, в пределах которой возникает заметный градиент потенциала при стекании тока с заземлителя.

**Зона растекания (локальная земля)** — зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.

**Изолированная нейтраль** — нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземлителю или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные устройства, имеющие большое сопротивление.

**Искусственный заземлитель** — заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

**Комплектная трансформаторная (преобразовательная) подстанция** — подстанция, состоящая из трансформаторов (преобразователей) и блоков (КРУ или КРУН и других элементов), поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Комплектные трансформаторные (преобразовательные) подстанции (КТП, КПП) или их части, устанавливаемые в закрытом помещении, относятся к внутренним установкам, устанавливаемые на открытом воздухе — к наружным установкам.

**Комплектное распределительное устройство** — распределительное устройство, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики и поставляемое в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Комплектное распределительное устройство, предназначенное для внутренней установки, обозначается КРУ, а для наружной установки — КРУН.

**Косвенное прикосновение** — электрический контакт людей или животных с ОПЧ или СПЧ, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции.

**Коэффициент замыкания на землю в трехфазной электрической сети** — отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

**Линия электропередачи (ЛЭП)** — ЭУ, предназначенная для передачи электроэнергии.

**Локальная земля** — часть земли, находящаяся в контакте с заземлителем, электрический потенциал которой под влиянием тока, стекающего с заземлителя, может быть отличен от нуля. В случаях, когда отличие от нуля потенциала части земли не имеет принципиального значения, вместо термина «локальная земля» используют общий термин «земля».

**Магистраль заземления или зануления** — заземляющий или нулевой защитный проводник с двумя или более ответвлениями.

**Малое (сверхнизкое) напряжение** — номинальное напряжение между фазами (полусами) и по отношению к земле не более 50 В переменного и 120 В постоянного тока, применяемое в ЭУ для обеспечения ЭБ.

**Напряжение на заземляющем устройстве** — напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземляющее устройство и зоной нулевого потенциала.

**Напряжение относительно земли при замыкании на корпус** — напряжение между этим корпусом и зоной нулевого потенциала.

**Напряжение при повреждении изоляции** — напряжение на ОПЧ оборудования или СПЧ по отношению к зоне нулевого потенциала при повреждении изоляции.

**Напряжение прикосновения** — напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

**Напряжение шага** — напряжение между двумя точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю, при одновременном касании их ногами человека.

**Нейтральная проводящая часть (нейтральный проводник)** — часть ЭУ, способная проводить электрический ток, потенциал которой в нормальном эксплуатационном режиме равен или близок к нулю, например корпус трансформатора, шкаф распределительного устройства, кожух пускателя, проводник системы уравнивания потенциалов, PEN-проводник и т. п.

**Непроводящие (изолирующие) помещения, зоны, площадки** — помещения, зоны, площадки, в которых (на которых) защита при косвенном прикосновении обеспечивается высоким сопротивлением пола и стен, и в которых отсутствуют заземленные проводящие части.

**Нормальный режим потребителя электрической энергии** — режим, при котором обеспечиваются заданные значения параметров его работы.

**Нулевой защитный проводник (РЕ-проводник)** в ЭУ напряжением до 1 кВ — проводник, соединяющий зануляемые части с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока (система TN).

**Нулевой рабочий (нейтральный) проводник (N-проводник)** в ЭУ напряжением до 1 кВ — проводник, используемый для питания электроприемников, соединенный с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока (система TN).

**Ожидаемое напряжение прикосновения** — часть напряжения при повреждении, появляющаяся между доступными проводящими частями, которых может одновременно коснуться человек или животное.

**Опасные токоведущие части** — ТВЧ, которые при определенных условиях могут наносить вредный для здоровья электрический удар (PEN-проводник не относится к опасным токоведущим частям).

**Основная защита (защита от прямого прикосновения)** — применение мер, предотвращающих прямой контакт с ТВЧ.

**Основная изоляция** — изоляция ТВЧ, обеспечивающая в том числе защиту от прямого прикосновения.

**Особо сырое помещение** — помещение, в котором относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрытые влагой).

**Открытая или наружная ЭУ** — ЭУ, не защищенная зданием от атмосферных воздействий.

**Открытая проводящая часть** — доступная прикосновению проводящая часть ЭУ, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

**Открытое распределительное устройство (ОРУ)** — распределительное устройство, все или основное оборудование которого расположено на открытом воздухе.

**Подстанция** — ЭУ, служащая для преобразования и распределения электроэнергии и состоящая из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств, устройств управления

и вспомогательных сооружений. В зависимости от преобладания той или иной функции подстанций они называются трансформаторными или преобразовательными.

**Помещение с химически активной или органической средой** — помещение, в котором постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию, токоведущие части ЭО и заземляющие устройства ЭУ.

**Поражающий ток** — ток, проходящий через тело человека или животного, характеристики которого могут обусловить патофизиологические воздействия.

**Потенциаловыравнивающий электрод** — то же, что и заземляющий электрод, но используемый для выравнивания электрических потенциалов.

**Потребитель электрической энергии** — электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

**Предельно допустимое напряжение при повреждении** — наибольшее напряжение, которое допускается на ОПЧ по отношению к зоне нулевого потенциала при повреждении изоляции.

**Приемник электрической энергии (электроприемник)** — аппарат, агрегат или другое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

**Проводник** — часть ЭУ, предназначенная для проведения электрического тока определенного значения.

**Проводящая часть** — часть ЭУ, которая может проводить электрический ток.

**Прямое прикосновение** — электрический контакт людей или животных с ТВЧ, находящимися под напряжением.

**Пыльное помещение** — помещение, в котором по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводниках, проникать внутрь машин, аппаратов и т. п. Пыльные помещения разделяются на помещения с токопроводящей пылью и нетокопроводящей пылью.

**Рабочее (функциональное) заземление** — заземление точки или точек токоведущих частей ЭУ, выполняемое для обеспечения работы ЭУ (не в целях ЭВ).

**Рабочее заземление** — заземление какой-либо точки ТВЧ электроустановки, необходимое для обеспечения работы ЭУ.

**Разделительный (разделяющий) трансформатор** — трансформатор, первичная обмотка которого отделена от вторичных обмоток при помощи защитного электрического разделения цепей. Он предназначен для отделения сети, питающей электроприемник, от первичной электрической сети, а также от сети заземления или зануления.

**Разностный (дифференциальный) ток** — векторная сумма токов, протекающих через дифференциальное токовое устройство, такое как УЗО-Д.

**Распределительное устройство** — ЭУ, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты,

сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

**Сверхнизкое (малое) напряжение (СНН)** — напряжение, не превышающее 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

**Сверхток** — ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока ЭУ.

**Система заземления (заземляющая система)** — совокупность заземляющих устройств подстанции, открытых проводящих частей потребителя и нейтрального проводника в ЭУ до 1 кВ.

**Система сверхнизкого безопасного напряжения (БСНН, ЗСНН, ФСНН)** — совокупность технических мер защиты от прямого и косвенного прикосновений, которые характеризуются применением сетей с напряжением, не превышающим 50 В переменного тока или 120 В постоянного тока, питаемых от источников питания по ГОСТ 50571.3–94, и устройством электрических цепей, обеспечивающих необходимую степень безопасности (оборудование класса III).

**Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник (PEN-проводник)** — проводник в сети с системой заземления TN, который присоединен к заземленной нейтрали источника и одновременно выполняет функции нулевого защитного проводника (PE-проводника) и нулевого рабочего проводника (N-проводника).

**Сопротивление заземляющего устройства** — отношение напряжения на ЭУ к току, стекающему с заземлителя в землю.

**Сторонние проводящие части** — проводящие части, которые не являются частью ЭУ, но способные приобретать потенциал при определенных условиях.

**Сухое помещение** — помещение, в котором относительная влажность воздуха не превышает 60 %, при отсутствии в таком помещении условий, характерных для влажного, сырого, особо сырого, жаркого, пыльного, с химической активной и органической средой помещений.

**Сырое помещение** — помещение, в котором относительная влажность воздуха превышает 75 % длительный период времени.

**Тип системы заземления** — показатель, характеризующий отношение к земле нейтрали трансформатора на подстанции и открытых проводящих частей у потребителя, а также устройство нейтрального проводника. Обозначение типов систем заземления — по ГОСТ 30331.2 / ГОСТ Р 50571.2. Различают TN-, TT- и IT-системы, две первые из которых имеют заземленную нейтраль на трансформаторной подстанции, а третья — изолированную. TN-система по устройству нейтрального проводника, в свою очередь, делится на TN-S-, TN-C- и TN-C-S-системы.

**Ток замыкания на землю** — ток, стекающий в землю через место замыкания.

**Ток короткого замыкания** — сверхток, обусловленный повреждением с малым сопротивлением между точками, находящимися под разными потенциалами в нормальных рабочих условиях.

**Ток перегрузки** — сверхток в электрической цепи электроустановки при отсутствии электрических повреждений.

**Ток повреждения** — ток, появившийся в результате повреждения или перекрытия изоляции.

**Ток прикосновения** — ток, который может протекать через тело человека или животного при прикосновении их к одной или более доступным проводящим частям. Ток прикосновения может протекать при нормальных или аварийных условиях.

**Ток утечки** — ток, который протекает в землю или на СПЧ в электрически неповрежденной сети.

**Ток утечки в сети постоянного тока** — ток, протекающий между плюсом и землей в сети постоянного тока.

**Ток утечки в сети с заземленной нейтралью** — ток, протекающий по участку электрической цепи, соединенному параллельно с нулевым рабочим проводником, а при отсутствии нулевого рабочего проводника — ток нулевой последовательности.

**Ток утечки в сети с изолированной нейтралью** — ток, протекающий между фазой и землей в сети с изолированной нейтралью.

**Токоведущая часть** — проводящая часть ЭУ, находящаяся в процессе ее работы под рабочим напряжением, в том числе нулевой рабочий проводник (но не PEN-проводник).

**Уравнивание потенциалов** — снижение разности потенциалов между доступными одновременно прикосновению ОПЧ, СПЧ, заземляющими и защитными проводниками (РЕ-проводниками), а также PEN-проводниками путем электрического соединения этих частей между собой.

**Усиленная изоляция** — изоляция в ЭУ напряжением до 1 кВ, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, равноценную двойной изоляции.

**Устройство защитного отключения или УЗО-Д** — механическое выключающее устройство, предназначенное для включения, прохождения и отключения токов при нормальных условиях эксплуатации, которое может обеспечивать размыкание контактов, когда разностный ток достигает заданного значения при определенных условиях.

**Фибрилла (*fibril*)** — очень тонкое волокно или образующая волокно нить (например, миофибрилла мышечного волокна).

**Фибрилляция (*fibrillatio*)** — быстрое хаотическое сокращение многих отдельных мышечных волокон сердца, в результате которого сердце теряет способность к эффективным и синхронным сокращениям.

**Функциональное заземление** — заземление, необходимое для обеспечения нормального функционирования аппарата, на корпусе которого по требованию разработчика не должен присутствовать даже малейший электрический потенциал (иногда для этого требуется наличие отдельного электрически независимого заземлителя).

**Функциональный заземляющий проводник (FE-проводник)** — заземляющий проводник в электроустановке до 1 кВ, служащий для функционального заземления.

**Эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой** — удельное сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой. Термин «удельное сопротивление», применяемый в Справочнике для земли с неоднородной структурой, следует понимать как «эквивалентное удельное сопротивление».



**Электрическая сеть** — совокупность ЭУ для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

**Электрическая сеть с эффективно заземленной нейтралью** — трехфазная электрическая сеть напряжением выше 1 кВ, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4.

**Электрическая часть энергосистемы (система электроснабжения)** — совокупность ЭО как объектов энергосистемы.

**Электрический удар** — патофизиологический эффект в результате прохождения электрического тока через тело человека или животного.

**Электробезопасность** — система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

**Электрооборудование** — совокупность электрических устройств, объединенных общими признаками. Признаками объединения в зависимости от задач могут быть: назначение, например, технологическое; условия применения, например, в тропиках; принадлежность к объекту, например, станку, цеху.

**Электропомещение** — помещение или отгороженные (например, сетками) части помещения, в которых расположено ЭО, доступное только для квалифицированного обслуживающего персонала.

**Электротравма** — травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

**Электроустановка** — совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии. ЭУ по условиям ЭБ разделяются на ЭУ до 1000 В и ЭУ выше 1000 В (по действующему значению напряжения).

**Электроустановка выше 1 кВ** — ЭУ, номинальное значение напряжения в которой равно или выше 1 кВ.

**Электроустановка до 1 кВ** — ЭУ, номинальное значение напряжения в которой не превышает 1 кВ.

**Энергосистема (система энергоснабжения)** — совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электроэнергии и тепла при общем управлении этим режимом.

Современное развитие техники и промышленно-технического комплекса страны сопровождается непрерывным повышением уровня потребления электрической энергии, совершенствованием применяемого электрооборудования, поиском новых технических решений при создании электроустановок (ЭУ).

С увеличением разнообразия ЭУ зданий и сооружений повысились их потребляемые мощности и опасность поражения током. Обеспечение безопасности ЭУ зданий — является важнейшей задачей ученых и проектировщиков. В настоящее время в России ежегодно от поражения электрическим током погибает более 4,5 тыс. человек.

Заземляющие устройства являются неотъемлемой частью ЭУ напряжением как до 1000 В, так и выше 1000 В. Зануление, в свою очередь, является неотъемлемой частью ЭУ напряжением до 1000 В, прежде всего это относится к ЭУ зданий и сооружений. Одной из основных функций заземления и зануления открытых проводящих частей (корпусов) ЭУ является защита от поражения электрическим током. Однако при их проектировании ограничен выбор технических решений, так как условия работы заземляющих устройств определяются, в первую очередь, удельным электрическим сопротивлением ( $\rho$ ) земли и электрическими параметрами заземляющих и защитных проводников.

На практике значение  $\rho$  в зависимости от погодных условий изменяется от 0,001 до 100 кОм·м, т. е. более чем в 100 тыс. раз. Кроме того, конфигурация, линейные размеры, поперечное сечение заземляющих и защитных проводников, их материал и то, какие части ЭУ зданий и сооружений, технологического оборудования используются в качестве указанных проводников, также создают множество вариантов для принятия решения.

Требования к техническим мерам защиты регламентируются двумя основополагающими нормативными документами: Правилами устройства ЭУ (ПУЭ — разд. 1, 6, 7 изд. 7-е и ПУЭ — изд. 6-е) и комплексом стандартов ГОСТ Р 50571 (МЭК-364). Требования действующих ПУЭ распространяются на все ЭУ напряжением от 1000 В и выше, однако для обеспечения безопасности ЭУ зданий и сооружений этих требований недостаточно, поэтому этот документ дорабатывается. Необходимо еще учитывать требования ГОСТ Р 50571

(МЭК-364). В связи с тем, что данный документ не является документом прямого действия, а изменения в ПУЭ пока еще не внесены в полном объеме, необходимо учитывать требования обоих документов. Переработка и внесение изменений в ПУЭ будут осуществляться с учетом ГОСТ Р 50571, так как требования стандартов являются обязательными при разработке новых и переработке существующих нормативных документов.

При работе над справочником авторы ставили следующие задачи.

1. Объединить требования действующих ПУЭ и вновь введенных в действие ГОСТ Р 50571 (МЭК-364).

2. Материал изложить доступным языком, с необходимыми объяснениями, проиллюстрировав наиболее сложные для понимания вопросы, однако без лишней детализации.

3. Обеспечить в полной мере необходимой информацией электротехнический персонал и лиц, интересующихся вопросами электробезопасности.

Идея написания данного справочника возникла в результате многолетнего сотрудничества авторов с образовательными учреждениями дополнительного профессионального образования: «Санкт-Петербургским центром электросвязи», Учебно-методическим центром «Электро Сервис», Международной Академией интенсивного образования и карьерного проектирования.

Материал в справочнике ориентирован в основном на электротехнический персонал, организующий и осуществляющий эксплуатацию ЭУ, а также на проектировщиков и монтажников, однако может быть использован и для обучения.

Авторы выражают благодарность главному специалисту по проектированию ОАО «Севзапэлектромонтаж» П. И. Воронову за скрупулезное прочтение рукописи, ценные замечания и рекомендации по ее структуре и содержанию.

Авторы надеются, что задачи, поставленные ими при написании справочника, выполнены, и он займет достойное место в ряду современной справочной литературы по вопросам обеспечения электробезопасности.

В дальнейшем будет написан аналогичный справочник по защитному отключению, а также руководство для ответственного за электрохозяйство, где планируется отразить теоретические, организационно-правовые и практические аспекты эксплуатации ЭУ.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

---

### 1.1. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ТЕЛО ЧЕЛОВЕКА

---

#### Виды действия электрического тока

Действие электрического тока на живую ткань в отличие от действия других материальных факторов (пара, химических веществ, излучения и т. п.) носит своеобразный и разно-сторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и механическое (динамическое) действия, являющиеся обычными физико-химическими процессами, присущими как живой, так и неживой материи; одновременно электрический ток оказывает биологическое действие, которое является специфическим процессом, свойственным лишь живой ткани.

*Термическое* действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства.

*Электролитическое* действие тока выражается в разложении органической жидкости, в том числе и крови, что сопровождается значительными нарушениями ее физико-химического состава.

*Механическое (динамическое)* действие тока выражается в расслоении, разрыве и других подобных повреждениях различных тканей организма, в том числе мышечной ткани, стенок кровеносных сосудов, сосудов легочной ткани и т. д., в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара от перегретой током тканевой жидкости и крови.

*Биологическое* действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении

внутренних биоэнергетических процессов, протекающих в нормально функционирующем организме и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями.

Электрический ток, проходя через организм, раздражает живые ткани, вызывая в них ответную реакцию, — возбуждение, являющееся одним из основных физиологических процессов и характеризующееся тем, что живые образования переходят из состояния относительного физиологического покоя в состояние специфической для них деятельности.

Так, если электрический ток проходит непосредственно через мышечную ткань, то возбуждение, обусловленное раздражающим действием тока, проявляется в виде произвольного сокращения мышц.

Это так называемое *прямое*, или непосредственное, раздражающее действие тока на ткани, по которым он проходит.

Однако действие тока может быть не только прямым, но и *рефлекторным*, т. е. через центральную нервную систему. Иными словами, ток может вызывать возбуждение и тех тканей, которые не находятся на его пути.

Дело в том, что электрический ток, проходя через тело человека, вызывает раздражение рецепторов — особых клеток, имеющих в большом количестве во всех тканях организма и обладающих высокой чувствительностью к воздействию факторов внешней и внутренней среды. Раздражение рецепторов вызывает возбуждение находящихся возле них чувствительных нервных окончаний, от которых волна возбуждения в виде нервного импульса передается со скоростью примерно 27 м/с по нервным путям в центральную нервную систему.

Центральная нервная система перерабатывает нервный импульс и передает его подобно исполнительной команде рабочим органам — мышцам, железам, сосудам, которые могут находиться вне зоны прохождения тока. При обычных, естественных раздражениях рецепторов центральная нервная система обеспечивает целесообразную ответную деятельность соответствующих органов тела. Например, при случайном прикосновении к горячему предмету человек произвольно отдернет от него руку, чем избежит от опасного воздействия.

В случае же чрезмерного или необычного для организма раздражающего действия, например, электрического тока, центральная нервная система может подать нецелесообраз-

ную (не нужную для организма) исполнительную команду, что может привести к серьезным нарушениям деятельности жизненно важных органов, в том числе сердца и легких, даже если эти органы не лежат на пути тока.

Как известно, в живой ткани, и в первую очередь в мышцах, в том числе и в сердечной мышце, а также в центральной и периферической нервных системах постоянно возникают электрические потенциалы — биопотенциалы, которые связаны с возникновением и распространением процесса возбуждения, т. е. с переходом живой ткани в состояние активной деятельности.

Внешний ток, взаимодействуя с биотоками, значения которых весьма малы, может нарушить нормальный характер их воздействия на ткани и органы человека, подавить биоток и тем самым вызвать специфические расстройства в организме вплоть до его гибели.

### Виды поражения электрическим током

Указанное многообразие действий электрического тока на организм человека нередко приводит к различным электротравмам<sup>1</sup>, которые условно можно свести к двум видам: 1) *местные электротравмы*, при которых возникает местное (локальное) повреждение организма; 2) *общие электротравмы*, так называемый электрический удар, когда из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем поражается весь организм (или создается угроза поражения).

Примерное распределение несчастных случаев от электрического тока в промышленности по видам электротравм: 20 % — местные электротравмы; 25 % — электрические удары; 55 % — смешанные травмы, т. е. одновременно местные электротравмы и электрические удары<sup>2</sup>.

Оба вида травм часто сопутствуют друг другу. Тем не менее они различны и должны рассматриваться отдельно. На рис. 1.1 представлена классификация видов поражения электрическим током.

---

<sup>1</sup> Электротравма — травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги; «травма» — повреждение, рана (греч.).

<sup>2</sup> В данном случае за 100 % приняты лишь те случаи поражения электрическим током, которые подлежат официальному учету, т. е. вызвавшие утрату трудоспособности более чем на 3 рабочих дня, а также приведшие к инвалидности или смертельному исходу.

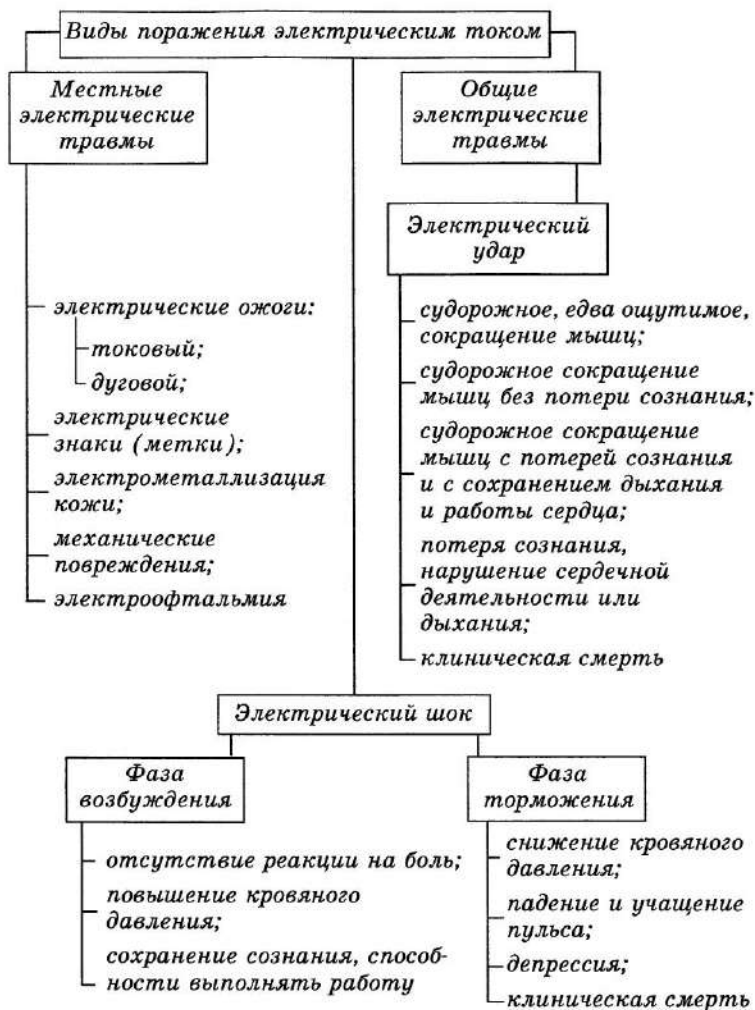


Рис. 1.1. Классификация видов поражения электрическим током

**Местные электротравмы.** Это ярко выраженное локальное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги.

Чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. поражения кожи, иногда других мягких тканей, а также связок и костей.

Опасность местных травм и сложность их лечения зависят от места, характера и степени повреждения тканей, а также от реакции организма на это повреждение. Как пра-

вило, местные травмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. В редких случаях (обычно при тяжелых ожогах) человек погибает. При этом непосредственной причиной смерти является не электрический ток, а местное повреждение организма, вызванное током.

К характерным местным электротравмам относятся: *электрические ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия.*

Как отмечалось, примерно 75 % случаев поражения людей током сопровождается возникновением местных электротравм. Распределение случаев поражения по видам травм в процентном отношении к общему числу электротравм представлено в табл. 1.1.

*Электрический ожог* — самая распространенная электротравма. Ожоги возникают у большей части (63 %) пострадавших от электрического тока, причем треть их (23 %) сопровождается другими травмами — знаками, электрометаллизацией кожи и офтальмией. Около 85 % пострадавших от электрических ожогов — электромонтеры, обслуживающие действующие ЭУ.

В зависимости от условий возникновения различают два основных вида ожога: 1) *токовый* (или *контактный*), возникающий при прохождении тока непосредственно через тело человека в результате его контакта с ТВЧ; 2) *дуговой*, обусловленный воздействием на тело человека электрической дуги.

*Токовый* (контактный) ожог возникает в ЭУ относительно небольшого напряжения — не выше 2 кВ. При более высоких напряжениях, как правило, образуется электрическая дуга или искра, которые и обуславливают возникновение ожога другого вида — *дугового*.

Таблица 1.1  
Распределение случаев поражения по видам электротравм

Вид травмы	% от общего числа электротравм
Электрические ожоги	40
Электрические знаки	7
Металлизация кожи	3
Механические повреждения	0,5
Электроофтальмия	1,5
Смешанные травмы, т. е. ожоги с другими местными травмами	23
Всего	75



Контактный ожог участка тела является следствием преобразования энергии электрического тока, проходящего через него, в тепловую. Поэтому, чем больше величина тока, время его прохождения и электрическое сопротивление участка тела, подвергнувшегося воздействию тока, тем опаснее такой ожог.

Поскольку при токовых ожогах напряжение, приложенное к телу человека, сравнительно невелико, то ток, проходящий через человека, также невелик: доли ампера или, в худшем случае, несколько ампер. Однако в месте контакта тела с ТВЧ плотность тока может достигать больших значений, так как площадь соприкосновения тела с ТВЧ обычно невелика. Здесь же ток встречает и наибольшее сопротивление, а именно, сопротивление кожи, которое во много раз больше сопротивления внутренних тканей. Поэтому максимальное количество теплоты выделяется в месте контакта проводника с кожей, а точнее, в том участке кожи, который находится в контакте с ТВЧ.

Этим и объясняется то, что токовый ожог является, как правило, ожогом кожи. Лишь в редких случаях, когда через тело человека проходит большой ток, при контактном ожоге могут быть поражены и подкожные ткани.

Кроме того, тяжелые повреждения внутренних тканей могут возникнуть при контактных ожогах, вызванных токами высокой частоты. При этом кожа может иметь незначительные повреждения.

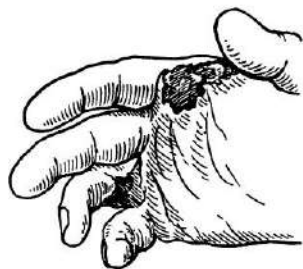


Рис. 1.2. Контактный ожог IV степени от переменного тока напряжением 220 В

Токовые ожоги образуются примерно у 38 % пострадавших от электрического тока, в большинстве случаев они являются ожогами I и II степеней; при напряжениях выше 380 В возникают и более тяжелые ожоги — III и IV степеней<sup>1</sup>.

На рис. 1.2 показан тяжелый токовый ожог пальцев и ладони правой руки человека, взявшегося за оголенные провода квартирной электропроводки напряжением 220 В.

<sup>1</sup> Различают следующие четыре степени ожогов: I — покраснение кожи; II — образование пузырей; III — омертвление всей толщи кожи; IV — обугливание тканей. Обычно тяжесть повреждения организма при ожогах обуславливается не степенью ожога, а площадью поверхности тела, пораженной ожогом.

При этом пострадавший коснулся обоих проводов — фазного и нулевого рабочего: одного — пальцами, а другого — участком ладони у большого пальца.

Дуговой ожог наблюдается в ЭУ различных напряжений. При этом в ЭУ до 6 кВ ожог является следствием случайных коротких замыканий, например, при работах под напряжением на щитах и сборках до 1000 В, измерениях переносными приборами (электроизмерительными клещами) в установках выше 1000 В (до 6 кВ). В установках более высоких напряжений дуга возникает:

при случайном приближении человека к ТВЧ, находящимся под напряжением, на расстояние, при котором происходит пробой воздушного промежутка между ними;

при повреждении изолирующих защитных средств (штанг, указателей напряжения и т. п.), которыми человек касается ТВЧ, находящихся под напряжением;

при ошибочных операциях с коммутационными аппаратами (например, при отключении разъединителя под нагрузкой с помощью штанги), когда дуга нередко перебрасывается на человека, и т. п. Во всех этих случаях возникает мощная дуга, вызывающая обширные ожоги на теле человека и обуславливающая прохождение через него больших токов — достигающих до десятков ампер.

В этих случаях поражения носят тяжелый характер и оканчиваются, как правило, смертью пострадавшего, причем тяжесть поражения возрастает обычно с увеличением напряжения ЭУ.

Электрическая дуга может вызвать обширные ожоги тела, выгорание тканей на большую глубину, обугливание и даже бесследное сгорание больших участков тела или конечностей.

Большой ток, проходящий через человека, вызывает тяжелые ожоги в месте входа и выхода. Ткани тела, находящиеся на пути тока, претерпевают серьезные изменения, а в случае большого количества тепла, выделяющегося в них, высушиваются и обугливаются.

Вместе с тем большой ток, проходящий через человека, обычно не вызывает фибрилляцию сердца. Объяснение этого парадоксального явления еще не найдено. Смерть в таких случаях наступает, как правило, от паралича дыхания или в результате обширных ожогов поверхности тела человека.

На рис. 1.3 показан тяжелый случай дугового ожога, вызвавшего сквозной дефект грудной клетки и сопровождавшегося прохождением тока непосредственно через сердце.

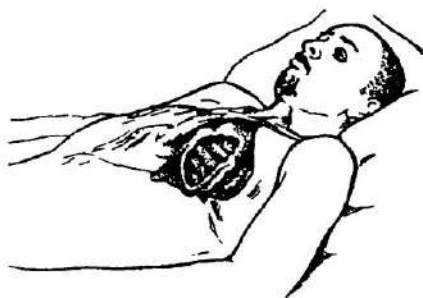


Рис. 1.3. Тяжелый ожог грудной клетки в результате включения пострадавшего в цепь тока через электрическую дугу

Длительное и сложное лечение пострадавшего окончилось его выздоровлением. Из общего числа учитываемых несчастных случаев в результате действия электрического тока дуговые ожоги составляют примерно 25 %.

*Электрические знаки*, именуемые также знаками тока или электрическими метками, представляют собой резко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета

на поверхности тела человека, подвергнувшегося действию тока. Обычно знаки имеют круглую или овальную форму и размеры 1–5 мм с углублением в центре (рис. 1.4).

Электрические знаки встречаются и в виде царапин, небольших ран, бородавок, кровоизлияний в кожу, мозолей и мелкоточечных татуировок. Иногда форма знака соответствует форме участка ТВЧ, которого коснулся пострадавший, а при воздействии грозового разряда напоминает фигуру молнии (рис. 1.5).

Пораженный участок кожи затвердевает подобно мозоли. Происходит омертвление верхнего слоя кожи. Поверхность знака сухая, не воспаленная.

Обычно электрические знаки безболезненны и лечение заканчивается благополучно: с течением времени верхний слой кожи сходит и пораженное место приобретает первоначальный цвет, эластичность и чувствительность. Эти знаки появляются примерно у 11 % пострадавших от тока.

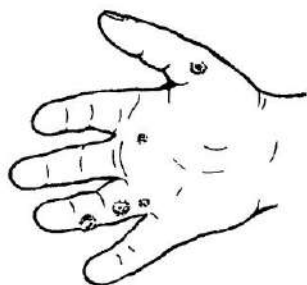


Рис. 1.4. Типичные электрические знаки

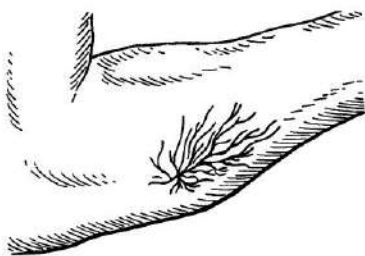


Рис. 1.5. Электрический знак, возникший при поражении человека молнией

*Электрометаллизация кожи* — проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги. Такое явление встречается при коротких замыканиях, отключениях разъемов, замене предохранителей под нагрузкой и т. п. При этом мельчайшие брызги расплавленного металла под влиянием возникших динамических сил и теплового потока разлетаются во все стороны с большой скоростью. Каждая из этих частичек имеет высокую температуру, но при этом малый запас теплоты и, как правило, не способна прожечь одежду. Поэтому поражаются обычно открытые части тела — руки и лицо (рис. 1.6). Пораженный участок кожи имеет шероховатую поверхность.

Пострадавший ощущает боль от ожогов под действием теплоты занесенного в кожу металла и испытывает напряжение кожи от присутствия в ней инородного тела.

Обычно с течением времени поврежденная кожа сходит, пораженный участок приобретает нормальный вид и эластичность, исчезают и все болезненные ощущения, связанные с травмой. Лишь при поражении глаз лечение может оказаться длительным и сложным, а в некоторых случаях и безрезультатным, т. е. пострадавший может лишиться зрения.

Поэтому работы, при которых возможно возникновение электрической дуги (например, при установке переносных заземлений, при снятии и установке предохранителей и т. п.), должны выполняться в средствах защиты лица и глаз. Одежда работающего должна быть застегнута на все пуговицы, ворот закрыт, а рукава опущены и застегнуты у запястий рук.

Электрометаллизация кожи наблюдается у 10 % пострадавших от электрического тока. В большинстве случаев одновременно с электрометаллизацией возникает дуговой ожог, который почти всегда вызывает более тяжелые поражения.

При постоянном токе электрометаллизация кожи возможна и в результате электролиза, который возникает при плотном и относительно длительном контакте тела с ТВЧ, находящейся под напряжением. В этом случае частички металла заносятся в кожу электрическим током, который одновременно разлагает органическую жидкость в тканях, образуя в ней основные



Рис. 1.6. Электрометаллизация кожи

и кислотные ионы. Металл, соединяясь с кислотными ионами, образует соответствующие соли, которые придают пораженному участку кожи специфическую окраску. Так, зеленый цвет свидетельствует о том, что в кожу занесена красная медь, сине-зеленый — латунь, а серо-желтый — свинец. Этот вид электрометаллизации излечивается успешно.

*Механические повреждения* являются в большинстве случаев следствием резких произвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека. В результате могут произойти разрывы сухожилий, кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани; могут иметь место вывихи суставов и даже переломы костей. Разумеется, электротравмами не считаются аналогичные травмы, вызванные падением человека с высоты, ушибами о предметы и т. п. в результате воздействия тока.

Механические повреждения происходят в основном при работе с ЭУ до 1000 В при относительно длительном нахождении человека под напряжением. Это, как правило, серьезные травмы, требующие длительного лечения. К счастью, механические повреждения возникают довольно редко — примерно у 1 % пострадавших от тока. Такие повреждения всегда сопутствуют электрическим ударам, поскольку их вызывает ток, проходящий через тело человека. Некоторые из них сопровождаются, кроме того, контактными ожогами тела.

*Электроофтальмия*<sup>1</sup> — воспаление наружных оболочек глаз — роговицы и конъюнктивы (слизистой оболочки, покрывающей глазное яблоко), возникающее в результате воздействия мощного потока ультрафиолетовых лучей, которые энергично поглощаются клетками организма и вызывают в них химические изменения.

Такое облучение возможно при наличии электрической дуги, которая является источником интенсивного излучения не только видимого света, но и ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Электроофтальмия наблюдается примерно у 3 % пострадавших от тока.

Инфракрасные (тепловые) лучи также вредны для глаз, но лишь на близком расстоянии или при интенсивном и длительном облучении. В случае же кратковременной дуги основным фактором, воздействующим на глаза, являются ультрафиолетовые лучи, хотя и в этом случае не исключена опасность поражения глаз инфракрасными лучами, а так-

---

<sup>1</sup> От греч. ophthalmos — глаз.

же мощным потоком света и брызгами расплавленного металла.

Электроофтальмия развивается через 4–8 часов после ультрафиолетового облучения. При этом имеют место покраснение, воспаление кожи и слизистых оболочек век, слезотечение, гнойные выделения из глаз, спазмы век и частичная потеря зрения. Пострадавший испытывает головную боль и резкую боль в глазах, усиливающуюся на свету, т. е. у него возникает так называемая светобоязнь. В тяжелых случаях нарушается прозрачность роговой оболочки, сужается зрачок.

Обычно болезнь продолжается несколько дней. В случае поражения роговой оболочки лечение оказывается более сложным и длительным. Предупреждение электроофтальмии при обслуживании ЭУ обеспечивается применением защитных очков с обычными стеклами, которые почти не пропускают ультрафиолетовых лучей и одновременно защищают глаза от инфракрасного облучения и брызг расплавленного металла при возникновении электрической дуги.

**Общие электротравмы.** К числу общих электротравм относится *электрический удар*, под которым следует понимать возбуждение живых тканей организма протекающим через него электрическим током, проявляющееся в непроизвольных судорожных сокращениях различных мышц тела. Появляется рассеянность, ослабевают память и внимание. Если подобных ярко выраженных заболеваний не наступает, то и в этом случае считается, что электрический удар резко ослабляет сопротивляемость организма к болезням, в первую очередь к сердечно-сосудистым и нервным.

Электрический удар является следствием протекания тока через тело человека; при этом под угрозой поражения оказывается весь организм из-за нарушения нормальной работы различных его органов и систем, в том числе сердца, легких, центральной нервной системы и т. д.

Степень отрицательного воздействия на организм электрических ударов различна. Самый слабый электрический удар вызывает едва ощутимое сокращение мышц вблизи места входа или выхода тока; в худшем случае он приводит к нарушению и даже полному прекращению работы легких и сердца, т. е. к гибели организма. При этом внешних местных повреждений человек может и не иметь.

В зависимости от исхода поражения электрические удары можно условно разделить на следующие пять степеней:

I — *судорожное едва ощутимое сокращение мышц;*

- II — судорожное сокращение мышц, сопровождающееся сильными, едва переносимыми болями, без потери сознания;
- III — судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;
- IV — потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания;
- V — клиническая смерть, т. е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Исход воздействия электрического тока на организм человека зависит от ряда факторов, в том числе от значения и длительности прохождения тока, его рода и частоты, а также от индивидуальных свойств человека. Роль этих факторов рассматривается в следующем параграфе данного справочника. Сопротивление тела человека и приложенное к нему напряжение также влияют на исход поражения, но лишь постольку, поскольку они определяют значение тока, проходящего через человека.

Электрический удар, даже если он не приводит к смерти, вызывает серьезные расстройства в организме, которые могут проявляться как сразу после воздействия тока, так и через несколько часов, дней и даже месяцев. Так, в результате электрического удара, сопровождающегося произвольными судорожными сокращениями мышц, могут возникнуть или обостриться сердечно-сосудистые заболевания: аритмия сердца, стенокардия, повышение или понижение артериального давления и др., а также нервные болезни: невроз, эндокринные нарушения и др. Нередко у пострадавших, подвергшихся воздействию тока, были отмечены различные расстройства в организме, в том числе сердечно-сосудистой системы. Этим больным потребовалось длительное и сложное лечение.

Электрическим ударам подвергается обычно более 80 % пострадавших из числа учитываемых случаев поражения током.

Электрические удары являются серьезной опасностью для жизни пострадавших; они вызывают 85–87 % смертельных поражений (считая за 100 % все случаи со смертельным исходом от действия тока). Правда, большая часть смертельных случаев (60–62 %) является результатом смешанных поражений, т. е. одновременного действия электрических ударов и местных электротравм (ожогов), однако и в этих случаях смертельный исход является, как правило, следствием электрического удара.

*Электрический шок* — своеобразная тяжелая нервно-рефлекторная реакция организма в ответ на чрезмерное раздражение электрическим током, сопровождающаяся глубокими расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ и т. п.

При электрическом шоке непосредственно после воздействия тока наступает кратковременная фаза возбуждения, когда пострадавший не реагирует на возникшие боли, у него повышается кровяное давление и т. п. Вслед за этим приходит фаза торможения и истощения нервной системы, когда резко снижается кровяное давление, учащается пульс, его наполнение падает, ослабевает дыхание, возникает депрессия — угнетенное состояние и полная безучастность к окружающему миру при сохранившемся сознании.

Шоковое состояние длится от нескольких десятков минут до суток. После этого может наступить или гибель человека в результате полного угасания жизненно важных функций, или выздоровление как результат своевременного активного лечебного вмешательства.

### **Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током**

Тело человека является проводником электрического тока. Однако проводимость живой ткани в отличие от обычных проводников обусловлена не только ее физическими свойствами, но и сложнейшими биохимическими и биофизическими процессами, протекающими лишь в живой материи.

В живой ткани нет свободных электронов, и поэтому она не может быть уподоблена металлическому проводнику, электрический ток в котором представляет собой упорядоченное движение свободных электронов.

Сопротивление тела человека является переменной величиной, имеющей нелинейную зависимость от множества факторов, в том числе от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды.

Большинство тканей тела человека содержит значительное количество воды (до 65 %). Поэтому живую ткань можно рассматривать как электролит, т. е. раствор, разлагающийся химически при прохождении по нему тока, и, таким образом, считать, что она обладает ионной проводимостью. Иными словами, можно полагать, что перенос электрических



зарядов в живой ткани осуществляется не свободными электронами, как в металлических проводниках, а заряженными атомами или группами атомов — ионами, подобно тому, как это происходит в электролитах.

В живой ткани наблюдается явление межклеточной миграции (перемещения) энергии, т. е. резонансного переноса энергии электронного возбуждения между возбужденной и невозбужденной клетками. Поэтому можно предположить, что живая ткань обладает также электронно-дырочной проводимостью, свойственной полупроводникам, в которых перенос зарядов осуществляется электронами проводимости и дырками.



Рис. 1.7. Классификация факторов, влияющих на исход поражения человека электрическим током

Таким образом, тело человека можно рассматривать как проводник особого рода, имеющий переменное сопротивление и обладающий в какой-то мере свойствами проводников первого (полупроводники) и второго (электролиты) рода. При поражении человека электрическим током основным поражающим фактором является ток, проходящий через его тело. Однако имеется и ряд других не менее опасных факторов. Классификация факторов, влияющих на исход поражения электрическим током, представлена на рис. 1.7.

### Индивидуальные свойства человека

*Состояние здоровья.* Практикой установлено, что здоровые и физически крепкие люди переносят воздействие электрическим током легче, чем больные и слабые.

Повышенной восприимчивостью к электрическому току обладают лица, страдающие рядом заболеваний, в первую очередь болезнями кожи, сердечно-сосудистой и нервной системы, органов внутренней секреции, легких и др.

*Психическое состояние.* В западноевропейской и американской литературе нередко встречаются утверждения, что психическое состояние человека в момент поражения имеет если не большее, то, по крайней мере, такое же значение для исхода поражения, как сопротивление тела человека и другие его физические данные.

Многие зарубежные ученые считают, что алкоголики, неврастеники, истерические больные, эпилептики, а также меланхолики могут погибнуть от токов, которые совершенно безопасны для здоровых людей. Строгого подтверждения этой версии нет. Однако было бы неправильно полностью отрицать влияние психических факторов на исход поражения. Например, немалое значение имеет психическая подготовленность человека к возможной опасности поражения током.

Дело в том, что неожиданный электрический удар, даже при относительно небольшом напряжении, нередко приводит к тяжелым последствиям; если же человек подготовлен к возможному поражению током, т. е. ожидает его, то степень опасности резко уменьшается. Имеют значение также моральное состояние в процессе выполняемой им работы, степень утомления и т. п.

*Внимание.* В своих опытах над животными австрийский ученый С. Еллинек выявил роль фактора внимания в исходе электротравмы. Те из животных, которые находились

в спокойном состоянии и не ждали беды, погибали от малого напряжения, а те, которых дразнили палкой и при этом подавали напряжение 220 В, воспринимали удар электрического тока как удар палкой, приходили в ярость и бросались на экспериментатора. Описываемый опыт был многократно повторен и подтвержден.

Говоря о спасительном факторе внимания, можно сделать вывод, что для защиты от опасного раздражителя мобилизуются внутренние ресурсы животного, что, естественно свойственно, и человеку.

Главная особенность электротравмы заключается в том, что напряжение нашего внимания, наша твердая воля в состоянии не только ослабить действие электрического тока, но иногда совершенно его уничтожить. «Сокрушительную силу падающей балки или взрыва нельзя ослабить мужеством и героической выдержкой, но это вполне возможно по отношению к действию электрического удара, если он наступает в период напряженного внимания... Действительно, тот, кто слышит выстрел, не видя стреляющего, может погибнуть от внезапно наступившего шока, тот же, кто смотрит на стреляющего или сам стреляет, шоку неподвержен...» [19]. Здесь имеется в виду не так называемое непроизвольное внимание, которое вызывается каким-нибудь неожиданным событием, а то внимание, которое усилием воли направляется нами на ожидаемые явления, события и раздражения.

«Фактор внимания, — писал С. Еллинек, — играет чрезвычайно большую, может быть решающую роль...» и далее: «С тем, кто находится в состоянии сосредоточенного внимания, обыкновенно ничего не случается... Он противопоставляет свое внимание, как щит, страшному моменту, который может произойти».

*Квалификация человека.* Несомненно, квалификация человека также отражается на результатах воздействия тока: человек, далекий от электротехники, в случае попадания под напряжение оказывается, как правило, в более тяжелых условиях, чем опытный электротехник. Дело здесь не в «привычке» к электрическому току, так как никакая тренировка не вырабатывает в организме иммунитета к нему, а в опыте, умении правильно оценить степень возникшей опасности и применить рациональные приемы освобождения себя от действия тока. Этим, в частности, объясняется то, что в отечественных и зарубежных правилах и нормах требования к устройству и содержанию ЭУ в общепроизводственных цехах значительно строже, чем в электротехнических цехах, куда

имеет доступ лишь квалифицированный электротехнический персонал.

С учетом этих обстоятельств Министерством здравоохранения РФ установлено обязательное медицинское освидетельствование персонала, обслуживающего действующие ЭУ, как при назначении на должность, так и периодически 1 раз в 2 года (Приказ Минздрава РФ № 90 от 14.03.96 г.).

Однако, это освидетельствование преследует и другую цель — ограничить допуск к обслуживанию ЭУ людей с недостатками здоровья, которые могут мешать их производственной деятельности или послужить причиной ошибочных действий, опасных для других лиц. К таким недостаткам относятся: неразличение цветового сигнала из-за порока зрения, невозможность подать четкую команду из-за болезни горла или дефектов речи и т. п.

### Параметры электрической сети и цепи поражения

Если человек касается одновременно двух точек, между которыми существует напряжение, и при этом образуется замкнутая цепь, через его тело проходит ток. Значение этого тока зависит от схемы прикосновения, т. е. от того, каких частей электрической установки касается человек, а также от параметров электрической сети.

На рис. 1.8 представлено двухфазное (двухпроводное) прикосновение к ТВЧ; при этом человек оказывается под рабочим напряжением сети, и ток, протекающий через его тело, равен:

$$a) I_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} U_{\Phi}}{R_{\text{ч}}}; \quad б) I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}}}.$$

Ток  $I_{\text{ч}}$ , протекающий через тело человека, элементы электрической сети, пол (грунт), будем называть *поражающим*, в отличие от тока нагрузки, который на человека влияния не оказывает. Цепь протекания поражающего тока называется *цепью поражения*.

*Напряжение прикосновения* — напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

Во всех случаях контакта человека с проводящими частями ЭУ, нормально или случайно находящимися под напряжением

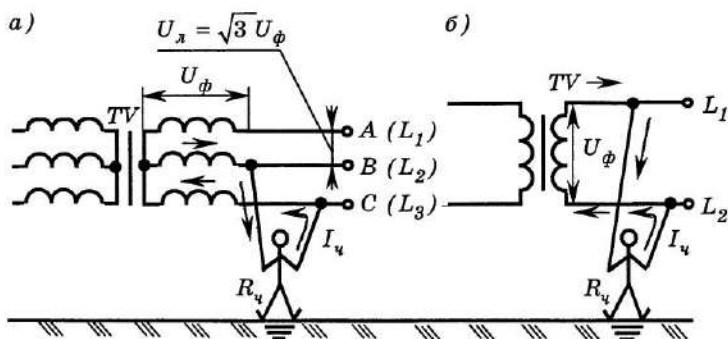


Рис. 1.8. Двухфазное (двухпроводное) прикосновение к ТВЧ:  
 а — в трехфазной сети; б — в однофазной сети:

TV — трансформатор напряжения (источник питания); A (L<sub>1</sub>), B (L<sub>2</sub>), C (L<sub>3</sub>) — фазные проводники ЭУ (соответственно фазы A, B, C); U<sub>л</sub>, U<sub>φ</sub> — соответственно линейное и фазное напряжения ЭУ; R<sub>ч</sub> — сопротивление тела человека; I<sub>ч</sub> — ток, протекающий через тело человека

ем, это напряжение прикладывается ко всей цепи, куда входят сопротивления тела человека, обуви, пола или грунта, на котором стоит человек, и т. п. Напряжение прикосновения прикладывается только к человеку и его можно определить как падение напряжения в теле человека:

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{ч}} \cdot R_{\text{ч}}.$$

При двухпроводном прикосновении в однофазной сети (рис. 1.8, б) напряжение прикосновения равно фазному напряжению ЭУ, а в трехфазной сети (рис. 1.8, а) — линейному напряжению. И чем больше U<sub>пр</sub>, тем более опасно прикосновение к ТВЧ.

Из рис. 1.8 видно, что величина U<sub>пр</sub> зависит от величины напряжения сети и чем оно выше, тем больше U<sub>пр</sub>. В стандартах системы безопасности труда нормируются наибольшие допустимые значения напряжений прикосновения и поражающих токов (табл. 1.2–1.4).

Указанные данные используются при разработке технических средств и способов защиты людей от поражения электрическим током.

При измерении напряжений прикосновения и токов сопротивление растеканию тока с ног человека в землю должно моделироваться металлической плоской пластиной с площадью контактной поверхности 625 см<sup>2</sup>. Прижим пластины к земле должен создаваться массой не менее 50 кг.

Т а б л и ц а 1.2

Наибольшие допустимые напряжения прикосновения  $U_{пр}$  и поражающие токи  $I_{ч}$  при нормальном режиме работы ЭУ

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значения	
	$U_{пр}$ , В	$I_{ч}$ , мА
Переменный ток 50 Гц	2	0,3
Переменный ток 400 Гц	3	0,4
Постоянный ток	8	1,0

Пр и м е ч а н и е. Настоящие нормы установлены исходя из реакции ощущения и соответствуют продолжительности воздействия тока на человека не более 10 мин в сутки.

Т а б л и ц а 1.3

Наибольшие допустимые напряжения прикосновения  $U_{пр}$  и поражающие токи при аварийном режиме ЭУ переменного тока 50 Гц напряжением до 1 кВ с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1 кВ с изолированной нейтралью

Нормируемая величина	Наибольшие допустимые значения при продолжительности воздействия тока $t$ , с											
	0,01–0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Свыше 1,0
$U_{пр}$ , В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
$I_{ч}$ , мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

Т а б л и ц а 1.4

Наибольшие значения напряжения прикосновения и токов, проходящих через человека, для ЭУ напряжением выше 1 кВ частотой 50 Гц с эффективно заземленной нейтралью

Нормируемая величина	Продолжительность воздействия тока $t$ , с											
	0,01–0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1–5
$I_{ч}$ , мА	650	500	400	325	250	200	160	130	110	105	100	50/ $t$
$U_{пр}$ , В	650	500	400	325	250	200	160	130	110	150	100	50/ $t$

Измерения должны производиться для условий, соответствующих наибольшим значениям напряжений прикосновения и токов, проходящих через тело человека.

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково: кожа, кости, жировая ткань, сухожилия и хрящи имеют относительно большое сопротивление, а мышечная ткань, кровь, лимфа и особенно спинной и головной мозг — малое. Удельное объемное сопротивление тканей человека при воздействии тока частотой 50 Гц представлено в табл. 1.5.

## Удельное объемное сопротивление тканей тела человека

Наименование тканей тела человека	Удельное объемное сопротивление [Ом·м]
Кожа сухая	$3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$
Кости (без надкостницы)	$10^3 - 2 \cdot 10^6$
Жировая ткань	30-60
Мышечная ткань	1,5-3
Кровь	1-2
Спинаномозговая жидкость	0,5-0,6

Из этих данных следует, что по сравнению с другими тканями кожа обладает очень большим удельным сопротивлением, которое является главным фактором, определяющим сопротивление тела человека в целом.

Строение кожи весьма сложно. Она состоит из двух основных слоев: наружного, называемого *эпидермисом*, и внутреннего, являющегося собственно кожей и носящего название *дерма* (рис. 1.9).

Эпидермис, в свою очередь, состоит из пяти слоев. Самый верхний из них является, как правило, более толстым,

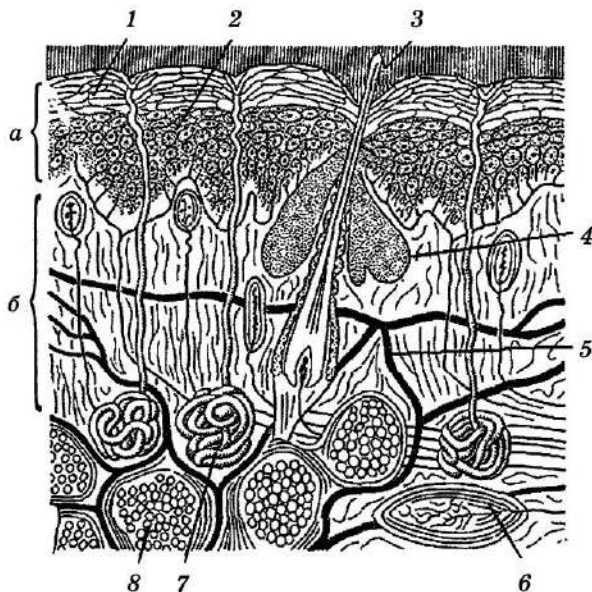


Рис. 1.9. Схема вертикального разреза кожи: а — эпидермис; б — дерма;

1 — роговой слой; 2 — ростковый слой; 3 — волос; 4 — сальные железы; 5 — кровеносные сосуды; 6 — чувствительные нервные окончания; 7 — потовые железы; 8 — подкожная жировая клетчатка

чем все остальные слои вместе взятые, и называется *роговым слоем*.

*Роговой слой* включает в себя несколько десятков рядов мертвых ороговевших клеток, имеющих вид чешуек, плотно прилегающих одна к другой. Каждая такая чешуйка представляет собой плотную роговую оболочку, как бы сплюснутую маленькую подушечку, содержащую небольшое количество воздуха.

Роговой слой лишен кровеносных сосудов и нервов и поэтому является слоем неживой ткани. Толщина его на разных участках тела различна и колеблется в пределах 0,05–0,2 мм. Наибольшей толщины он достигает в местах, подвергающихся постоянным механическим воздействиям, в первую очередь, на подошвах ног и ладонях рук, где, утолщаясь, он может образовывать мозоли.

Роговой слой обладает относительно высокой механической прочностью, плохо проводит тепло и электричество и является защитной оболочкой, покрывающей все тело человека. В сухом и незагрязненном состоянии этот слой можно рассматривать как диэлектрик: его удельное сопротивление достигает  $10^5$ – $10^6$  Ом · м, т. е. в сотни и тысячи раз превышает сопротивление других слоев кожи и внутренних тканей организма.

Другие слои эпидермиса, лежащие под роговым слоем и образованные в основном из живых клеток, можно условно объединить в один так называемый *ростковый слой*. В основании этого слоя непрерывно происходят деление и развитие новых живых клеток, а сверху — ороговение и отмирание клеток, которые при этом изменяют свою форму, уплотняются, пропитываются особым белковым веществом и становятся клетками рогового слоя, восполняя постоянно слущивающиеся с поверхности кожи мертвые клетки.

Электрическое сопротивление росткового слоя благодаря наличию в нем отмирающих и находящихся в стадии ороговения клеток может в несколько раз превышать сопротивление внутреннего слоя кожи (дермы) и подкожных (внутренних) тканей организма, хотя по сравнению с сопротивлением рогового слоя оно невелико.

*Внутренний слой кожи* — дерма — состоит из прочных волокон соединительной и эластической ткани, переплетающихся между собой и образующих густую прочную сетку, которая и служит основой всей кожи. Между этими волокнами находятся кровеносные и лимфатические сосуды, нервные окончания и корни волос. Здесь же расположены пото-



вые и сальные железы, выводные протоки которых выходят на поверхность кожи, пронизывая эпидермис.

Дерма является живой тканью, электрическое сопротивление ее незначительно: оно во много раз меньше сопротивления эпидермиса. Проблема определения сопротивления человеческого тела весьма сложна из-за своеобразного поведения отдельных тканей организма и его биологической реактивности.

Говоря об электрическом сопротивлении человеческого организма, обычно различают *внешнее сопротивление* (сопротивление кожи) и *внутреннее сопротивление* (сопротивление внутренних тканей: мышц, нервов и т. д.). Исследованиями установлено, что сопротивление внутренних органов не зависит от величины приложенного напряжения, а зависит только от изменения температуры тела. В среднем его значение может быть принято равным 500–1000 Ом.

Наибольшее сопротивление току оказывает эпидермис. Этот слой при некоторых условиях представляет собой как бы наслоенный изолятор. Сопротивление кожи с увеличением толщины этого слоя возрастает. Даже для одного и того же участка тела человека оно изменяется в очень широких пределах и зависит от состояния кожи, величины поверхности и плотности прилегания контакта, величины и продолжительности проходящего тока, величины приложенного напряжения. Сопротивление кожи отдельных участков тела связано с количеством имеющихся в них потовых желез, характером кровеносных сосудов и некоторыми другими факторами, пока еще не выявленными.

Влага, пот, проводящие химические вещества, токопроводящая пыль (металлическая, угольная и др.) значительно снижают сопротивление кожи.

Повышенная чувствительность некоторых лиц к электрическому току во многих случаях может быть объяснена усиленной деятельностью потовых желез. Вследствие увлажнения кожи человека сопротивление ее уменьшается, а эффект физиологического воздействия тока увеличивается.

Сопротивление кожи тем меньше, чем больше поверхность, соприкасающаяся с ТВЧ. Сопротивление кожи изменяется обратно пропорционально площади контакта. Это особенно важно иметь в виду при электросварочных работах, когда работающий значительной поверхностью своего тела соприкасается с металлическими частями и в случае попадания под напряжение опасность поражения током увеличивается.

При увеличении тока, проходящего через кожу, сопротивление ее уменьшается, что объясняется ее нагревом, увеличивающим потовыделение. По данным наблюдений, сопротивление тела человека, составляющее при токе 0,1 мА около 500 кОм, снижается при токе 10 мА до 8 кОм. Снижение сопротивления кожи от длительности протекания тока объясняется нагревом и электролитическим изменением кожи.

Весьма существенное влияние на сопротивление кожи оказывает величина приложенного напряжения. Это объясняется тем, что в верхнем роговом слое кроме указанных выше электролитических изменений может наступить явление пробоя. Начало этого явления; в особенности при тонкой коже, наступает при 10–30 В. Однако, влияние его на сопротивление резко увеличивается лишь при напряжении 250 В и выше, когда, в конечном счете, сопротивление тела приближается к сопротивлению при снятой коже.

Сопротивление кожи приблизительно может быть выражено следующим образом:

$$R_k = \frac{\rho_k \cdot S}{\Delta},$$

где  $\rho_k$  — сопротивление кожи на единицу поверхности контакта, Ом · мм/см<sup>2</sup>;

$\Delta$  — толщина кожи, мм;

$S$  — поверхность контакта, см<sup>2</sup>.

Величины  $\rho_k$  и  $\Delta$  могут отличаться не только у различных лиц, но даже у одного человека, изменяясь в широких пределах в зависимости от приложенного напряжения и времени воздействия электрического тока (табл. 1.6).

Обычно при переменном токе промышленной частоты учитывают лишь активное сопротивление тела человека, равное 1000 Ом, и принимают его за расчетную величину.

Т а б л и ц а 1.6

Сопротивление тела человека в зависимости от приложенного напряжения и времени действия

Время действия, с	0,2	0,5	0,7	1	3–30	Более 30
Величина тока, мА	250	100	75	65	6	1
Сопротивление человека, Ом	700	1000	1065	1150	3000	6000
Напряжение, В	175	175	80	75	18	6

*Род и частота тока.* Непосредственным физическим фактором поражения при электротравмах является электрический ток, проходящий через тело человека. Сопротивление тела человека и приложенное к нему напряжение сказываются лишь в той мере, в какой они изменяют величину тока.

Токи различного рода неодинаково опасны (при прочих равных условиях) для организма. Наиболее опасным следует считать *переменный ток* промышленной частоты 50–60 Гц. Он сильно воздействует на центральную нервную систему и производит сильные сокращения мышц, которые во многих случаях удерживают человека в контакте с частями, находящимися под напряжением, лишая возможности самостоятельно освободиться от ТВЧ.

По этому вопросу существует несколько теорий, но ни одна из них не отвечает высоким требованиям современной физиологической науки. Однако приблизительно это явление можно объяснить следующим образом.

При прикосновении к ТВЧ, находящимся под напряжением, в живой клетке происходит расщепление внутрисклеточного вещества на ионы, которые устремляются к внешним оболочкам клеток. При частоте 50 Гц скорость ионов оказывается достаточной, чтобы за период изменения тока пройти длину клетки. Это соответствует наибольшему возмущению в клетке и нарушению биохимических процессов в ней.

Дальнейшее повышение частоты, несмотря на рост тока, проходящего через тело человека, сопровождается снижением опасности поражения, которая полностью исчезает при частоте 450–500 кГц.

Токи частотой 450–500 кГц и более не могут вызвать смертельного поражения вследствие прекращения работы сердца или легких, а также других жизненно важных органов. Правда, эти токи сохраняют опасность ожогов, как при возникновении электрической дуги, так и при прохождении их непосредственно через тело человека.

*Постоянный ток* примерно в 4–5 раз безопаснее переменного частотой 50 Гц. Проходя через тело человека, он вызывает более слабые сокращения мышц и менее неприятные ощущения по сравнению с переменным током того же значения. Лишь в момент замыкания и размыкания цепи тока человек испытывает кратковременное болезненное ощущение вследствие внезапного судорожного сокращения мышц, подобное тому, которое возникает при переменном токе приблизительно того же значения.

Утверждение о сравнительной опасности постоянного и переменного токов справедливо лишь для напряжений до 500 В. Считается, что при более высоких напряжениях постоянный ток становится опаснее переменного частотой 50 Гц.

Степень отрицательного воздействия тока на организм человека увеличивается также и с ростом тока. В табл. 1.7 представлена характеристика физиологического действия тока в зависимости от его величины.

Условно различают три степени воздействия электрического тока на организм человека и три его пороговых значения: *ощутимый*, *неотпускающий* и *фибрилляционный*.

*Ощутимый ток* — это такой ток, который вызывает при прохождении через человека ощутимые раздражения. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него

Т а б л и ц а 1.7

Характеристика физиологического воздействия тока в зависимости от его величины

Ток, мА	Характер воздействия	
	Переменный ток частотой 50–60 Гц	Постоянный ток
0,6–1,5	Начало ощущения, легкое дрожание рук	Не ощущается
2–3	Сильное дрожание рук	Не ощущается
5–7	Судороги в руках	Зуд, ощущение нагрева
8–10	Руки с трудом, но можно оторвать от электродов. Сильные боли в пальцах, кистях рук	Усиление ощущения нагрева
20–25	Руки парализуются мгновенно, оторваться от электродов невозможно. Сильные боли, затрудняется дыхание	Еще большее усиление ощущения нагрева. Незначительные сокращения мышц рук
50–80	Паралич дыхания. Начало трепетания желудочков сердца	Сильное ощущение нагрева. Сокращения мышц рук, судорога. Затруднение дыхания
90–100	Паралич дыхания. При длительности 3 с и более — паралич сердца, трепетание желудочков	Паралич дыхания
3000 и более	Паралич дыхания и сердца при воздействии дольше 0,1 с. Разрушение тканей тела теплом тока	Паралич дыхания и сердца, трепетание желудочков

П р и м е ч а н и е. Для постоянного тока пороговое значение неотпускающего тока составляет 50–80 мА.

переменного тока частотой 50 Гц значением 0,5–1,5 мА и постоянного тока значением 5–7 мА.

Это воздействие ограничивается при переменном токе слабым зудом и легким покалыванием, а при постоянном токе — ощущением нагрева кожи на участке, касающемся ТВЧ. Указанные значения тока являются граничными (пороговыми), с которых начинается область ощутимого воздействия.

*Неотпускающий ток* — это такой ток, который вызывает при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник.

*Пороговым неотпускающим током* называют наименьшее значение неотпускающего тока. Для переменного тока частотой 50 Гц оно составляет 10–15 мА. При этих значениях тока человек чувствует непереносимую боль, а судороги мышц руки оказываются настолько сильными, что он не в состоянии их преодолеть, т. е. не может разжать руку, в которой зажата ТВЧ.

*Фибрилляционный ток* — это такой ток, который при прохождении через тело человека вызывает фибрилляцию сердца.

*Фибрилляция (fibrillatio)* — быстрое хаотическое сокращение многих отдельных мышечных волокон сердца, в результате которого сердце теряет способность к эффективным и синхронным сокращениям. Пораженный участок сердца после этого перестает нагнетать кровь. Фибрилляция может возникнуть независимо в предсердиях или желудочках сердца. Фибрилляция предсердий (*atrial fibrillation*) является типичной разновидностью аритмии; проявляется учащенным и неритмичным пульсом и сердцебиением. При фибрилляции желудочков (*ventricular fibrillation*) сердце перестает сокращаться. Чаще всего причиной такой фибрилляции является инфаркт миокарда.

*Пороговым фибрилляционным током* называют наименьшее значение фибрилляционного тока. Для переменного тока частотой 50 Гц фибрилляционным является ток от 100 мА до 5 А, пороговым — 100 мА. Для постоянного тока пороговым фибрилляционным током считается ток 300 мА, верхним пределом — 5 А. Следует подчеркнуть, что эти данные справедливы при условии длительного прохождения тока через человека (не менее 2–3 с) по пути рука — рука или рука — ноги.

Ток больше 5 А при постоянном напряжении и частотой 50 Гц фибрилляцию сердца, как правило, не вызывает. При

протекании такого тока происходит немедленная остановка сердца, минуя состояние фибрилляции. Если воздействие тока было кратковременным (до 1–2 с) и не вызвало паралич сердца, то сердце, как правило, самостоятельно возобновляет нормальную деятельность.

При большом токе, даже в случае кратковременного воздействия, наряду с остановкой сердца происходит и паралич дыхания.

*Влияние продолжительности прохождения тока на исход поражения.* Анализ несчастных случаев с людьми от воздействия электрического тока и данные опытов над животными показывают, что длительность прохождения тока через организм существенно влияет на исход поражения: чем продолжительнее действие тока, тем больше вероятность тяжелого или смертельного исхода. Такая зависимость объясняется тем, что с увеличением времени воздействия тока на живую ткань повышается его значение, растут (накапливаются) последствия воздействия тока на организм и, наконец, повышается вероятность совпадения момента прохождения тока через сердце с уязвимой фазой  $T$  сердечного цикла (кардиоцикла).

*Рост тока* с увеличением времени его действия объясняется уменьшением сопротивления тела человека.

*Последствия воздействия тока на организм* выражаются в нарушении функций центральной нервной системы, изменении состава крови, местном разрушении тканей организма под влиянием выделяющейся теплоты, нарушении работы сердца и легких и т. п.

Очевидно, что с увеличением времени воздействия тока эти отрицательные факторы накапливаются, а губительное влияние их на состояние организма усиливается.

Опасность совпадения момента прохождения тока через сердце с фазой  $T$  кардиоцикла заключается в следующем. Каждый цикл сердечной деятельности состоит из двух периодов: *диастолы*, когда желудочки сердца, находясь в расслабленном состоянии, заполняются кровью, и *систола*, когда сердце, сокращаясь, выталкивает кровь в артериальные сосуды (рис. 1.10, а).

На кардиограмме выделяются отдельные участки, соответствующие различным фазам работы сердца. Так, зубец  $P$  возникает при сокращении предсердий, что обеспечивает заполнение расслабленных желудочков кровью, пик  $QRS$  — при сокращении желудочков сердца, благодаря чему кровь выталкивается в аорты, зубец  $T$  — период, когда заканчивается

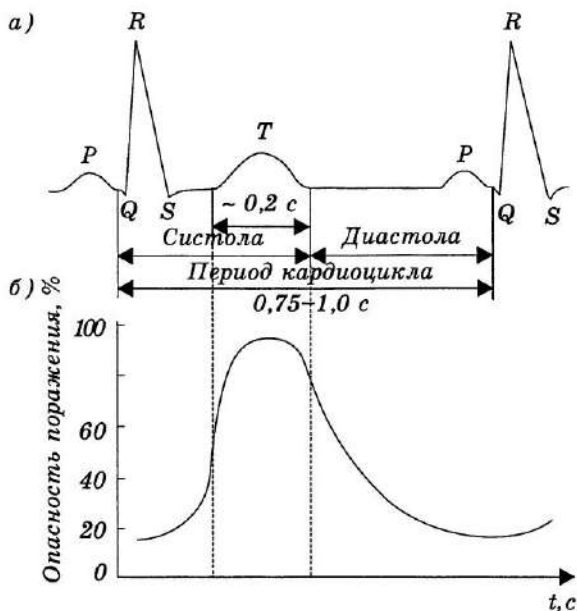


Рис. 1.10. Опасность совпадения времени протекания тока через сердце с фазой  $T$  кардиоцикла:  $a$  — электрокардиограмма здорового человека (в схематическом виде);  $b$  — кривая, выражающая общий характер зависимости опасности поражения током (т. е. вероятности возникновения фибрилляции сердца) от момента протекания тока через сердце человека;

$P, T, Q, R, S$  — фазы кардиоцикла

сокращение желудочков, и они переходят в расслабленное состояние.

Установлено, что чувствительность сердца к электрическому току неодинакова в разные фазы его деятельности. Наиболее уязвимым сердце становится в фазе  $T$ , продолжительность которой около  $0,2$  с. Поэтому, если во время фазы  $T$  через сердце проходит ток, то при некотором его значении возникает фибрилляция сердца; если же время прохождения этого тока не совпадает с фазой  $T$ , то вероятность возникновения фибрилляции резко уменьшается. Например, опыты над животными показали, что ток промышленной частоты разного значения (вплоть до  $10$  А) и длительностью  $0,2$  с, как правило, не вызывает фибрилляции сердца, если время прохождения его совпадает с периодом сокращения предсердий (пик  $P$ ) или желудочков (пик  $QRS$ ). При совпадении же тока с фазой  $T$  смертельное поражение наступает

при значительно меньшем токе (0,6–0,7 А) той же длительности.

Следовательно, вероятность возникновения фибрилляции сердца, т. е. опасность смертельного поражения, зависит не только от значения тока, но и от того, с какой фазой сердечного цикла совпадает период прохождения тока через область сердца. Общий характер этой зависимости выражается кривой, приведенной на рис. 10, б.

При длительности прохождения тока, равной времени кардиоцикла (0,75–1 с) или превышающей его, ток «встречается» со всеми фазами работы сердца, в том числе с наиболее уязвимой фазой  $T$ , что весьма опасно для организма.

Если же время воздействия тока меньше продолжительности кардиоцикла на 0,2 с или более, то вероятность совпадения момента прохождения тока с фазой  $T$ , а, следовательно, и опасность поражения резко уменьшаются.

Необходимо отметить еще одно немаловажное обстоятельство, влияющее на исход поражения. Дело в том, что если время прохождения тока совпадает с фазой  $T$ , то и в этом случае вероятность возникновения фибрилляции сердца зависит от длительности воздействия тока.

На рис. 1.11 показана зависимость порогового фибрилляционного тока частотой 50 Гц от длительности его прохождения через тело человека. Время прохождения тока во всех случаях совпадает с фазой  $T$  кардиоцикла. Эта кривая получена путем соответствующей обработки результатов опытов над животными. Известно, что величина тока, проходящего через тело человека (мА), не вызывающая фибрилляцию сердца у 99,5 % пострадавших, связана со временем его воздействия соотношением (по данным профессора С. Ф. Дальзиеля из США)

$$I_{\text{ч}} \leq \frac{\alpha}{\sqrt{t}},$$

где  $\alpha = 165\text{--}168$  — экспериментальный коэффициент;

$t$  — время воздействия тока, с.

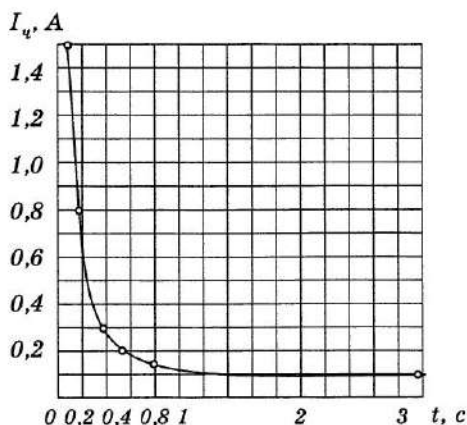


Рис. 1.11. Зависимость порогового фибрилляционного тока частотой 50 Гц от длительности его прохождения через тело человека



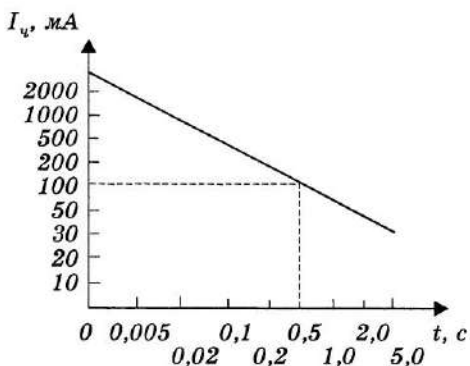


Рис. 1.12. Зависимость безопасного тока от времени его воздействия на человека

мозг, то опасность поражения весьма велика, поскольку ток воздействует непосредственно на эти органы.

Если же ток проходит иными путями, то воздействие его на жизненно важные органы может быть лишь рефлекторным. При этом опасность тяжелого поражения сохраняется, но вероятность ее резко снижается.

Кроме того, поскольку путь тока определяется местом приложения токоведущих частей (электродов) к телу пострадавшего, его влияние на исход поражения обуславливается еще и различным сопротивлением кожи на разных участках тела.

Возможных путей тока в теле человека, которые именуются также *петлями тока*, очень много. Однако характерными, обычно встречающимися в практике, являются не более 15 петель, показанных на рис. 1.13.

Наиболее часто цепь тока в теле человека возникает по пути правая рука — ноги. Однако, если рассматривать лишь те случаи поражения током, которые вызывают утрату трудоспособности более чем на 3 рабочих дня (т. е. учитываемые несчастные случаи), то, как это видно из табл. 1.8, наиболее распространенным окажется путь рука — рука,

Построенная по приведенному соотношению кривая имеет вид, представленный на рис. 1.12.

*Влияние пути тока на исход поражения.* Практикой и опытами установлено, что путь прохождения тока через тело человека играет существенную роль в исходе поражения. Так, если на пути тока оказываются жизненно важные органы — сердце, легкие, головной

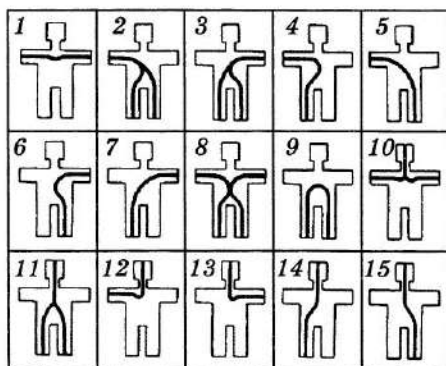


Рис. 1.13. Характерные пути тока в теле человека (петли тока)

## Характеристика наиболее распространенных путей тока в теле человека

Путь тока	Частота возникновения данного пути тока, %	Доля потерявших сознание во время воздействия тока, %	Значение тока, проходящего через область сердца, % общего тока, проходящего через тело
Рука — рука	40	83	3,3
Правая рука — ноги	20	87	6,7
Левая рука — ноги	17	80	3,7
Нога — нога	6	15	0,4
Голова — ноги	5	88	6,8
Голова — руки	4	92	7,0
Прочие	8	65	—

**П р и м е ч а н и я:**

1. Во второй графе за 100 % приняты все несчастные случаи поражения током, повлекшие за собой утрату трудоспособности более чем на 3 рабочих дня.
2. Предполагается, что при воздействии шагового напряжения (путь тока нога — нога) пострадавшие теряли сознание (15 %) после падения на землю, т. е. когда возникал новый путь тока.

который возникает примерно в 40 % случаев. Путь правая рука — ноги занимает второе место — 20 %. Другие петли возникают еще реже.

Опасность различных петель тока можно оценить, пользуясь данными табл. 1.8, по относительному количеству случаев потери сознания во время воздействия тока, а также по значению тока, проходящего через область сердца: чем больше этот ток, тем опаснее петля.

Предполагается, что при наиболее распространенных путях в теле человека через сердце протекает 0,4–7 % общего тока.

В табл. 1.8 эти токи указаны для каждой из рассматриваемых петель (4-я графа).

Наиболее опасными являются петли голова — руки и голова — ноги, когда ток может проходить через головной и спинной мозг. К счастью, эти петли возникают относительно редко.

Следующий по степени опасности путь правая рука — ноги, который по частоте образования занимает второе место.

Наименее опасен путь нога — нога, который называется также нижней петлей и возникает при воздействии на человека так называемого *напряжения шага*. Это напряжение между двумя точками на поверхности земли, на расстоянии

1 м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека.

В этом случае через сердце проходит, очевидно, небольшой ток. Опыты, проводившиеся с животными, подтвердили меньшую опасность этой петли. Например, собаки оставались живыми при прохождении тока в течение 12 с от одной задней ноги к другой, к которым было приложено напряжение 900 В; в другом случае напряжение 6000 В прикладывалось кратковременно дважды. Опытам подвергались и кролики, к задним лапам которых подводилось напряжение 180–400 В на 0,5–12,5 с. Кролики также оставались живыми. Здесь уместно еще раз напомнить, что при меньшем токе, протекающем через сердце, снижается лишь одна, хотя и самая грозная опасность поражения током, а именно, опасность непосредственного воздействия тока на сердце. Опасность же непрямого (рефлекторного) действия тока на сердце и другие жизненно важные органы сохраняется.

Отсюда следует, что и в случае нижней петли, т. е. при небольшом токе, проходящем через сердце, также возможен смертельный исход вследствие его рефлекторного действия.

Кроме влияния рассмотренных физиологических факторов и условий окружающей природной среды на исход поражения влияют и другие факторы, хотя и в значительно меньшей степени.

*Сопротивление тела женщин*, как правило, меньше, чем у мужчин, у детей — меньше, чем у взрослых, у молодых людей меньше, чем у пожилых. Объясняется это, очевидно, тем, что у одних людей кожа тоньше и нежнее, у других — толще и грубее.

Физические раздражения, возникающие неожиданно для человека, как-то: болевые (уколы и удары), звуковые, световые и прочие воздействия — могут вызвать на несколько минут снижение сопротивления тела на 20–50 %.

*Вид сети, сопротивление изоляции и емкость ее фаз относительно земли.*

Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются на несколько видов:

— электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью (см. п. 1.2);

— электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;

— электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;

— электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

*Глухозаземленная нейтраль* — нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству. Глухозаземленным может быть также вывод источника однофазного переменного тока или полюс источника постоянного тока в двухпроводных сетях, а также средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока.

*Изолированная нейтраль* — нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.

В сетях, изолированных от земли, решающее влияние на исход однофазного прикосновения оказывает уровень сопротивления изоляции токоведущих частей относительно земли (рис. 1.14).

*Электрическая сеть с эффективно заземленной нейтралью* — трехфазная электрическая сеть напряжением выше 1 кВ, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4.

*Коэффициент замыкания на землю в трехфазной электрической сети* — это отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на

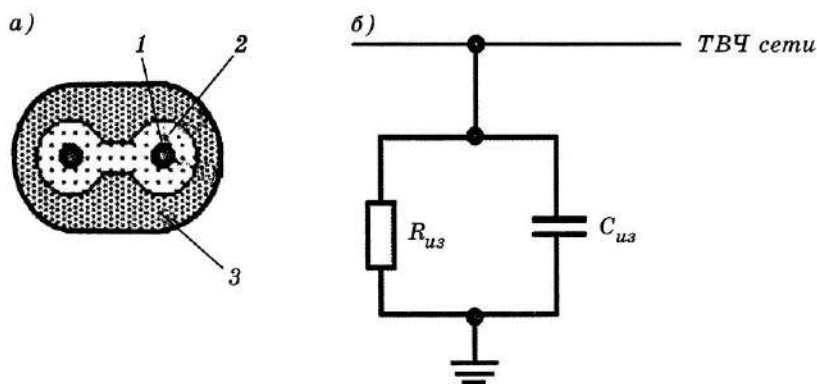


Рис. 1.14. Изоляция токоведущих частей и ее сопротивление: *а* — изолированный проводник; *б* — электрическая схема замещения; 1 — проводник; 2 — рабочая изоляция; 3 — дополнительная изоляция;  $R_{из}$  — активное сопротивление изоляции;  $C_{из}$  — емкость ТВЧ сети относительно земли

землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

Сопротивление изоляции является комплексным, имеющим активную и реактивную (емкостную) составляющие. Активное сопротивление изоляции  $R_{из}$  зависит от наличия в изоляции проводящих частиц (включений) и диэлектрических свойств, которые с течением времени ухудшаются в результате естественного старения изоляции и воздействия окружающей среды.

С другой стороны, токоведущая часть обладает емкостью относительно земли.

Из курса физики известно, что емкость конденсатора не зависит от напряжения и равна

$$C = \frac{\epsilon S}{d},$$

где  $C$  — емкость конденсатора;

$\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость;

$S$  — площадь пластин;

$d$  — расстояние между пластинами.

Емкостное сопротивление изоляции  $X_C$  можно представить в следующем виде:

$$X_C = \frac{1}{j\omega C},$$

где  $C$  — емкость токоведущей части относительно земли;

$\omega$  — угловая частота переменного тока;

$j$  — множитель мнимой части комплексного числа.

Активное и емкостное сопротивления изоляции распределены вдоль всей ТВЧ, но на электрических схемах их обозначают сосредоточенными, как показано на рис. 1.15.

Полное комплексное сопротивление изоляции находится по формуле

$$Z = R_{из} + \frac{1}{j\omega C}.$$

В целом электрические сети с изолированной централью менее опасны при эксплуатации по сравнению с заземленными электрическими сетями, так как в них опасность поражения не зависит от  $R_{из}$  фаз относительно земли (рис. 1.16, 1.17).

Если учесть, что  $R_{из}$  в сетях до 1 кВ должно быть не менее 0,5 МОм,  $R_{\nu} = 1$  кОм, а  $R_0 = 1 + 20$  Ом, то опасность прикосновения к ТВЧ в заземленных сетях очевидна.

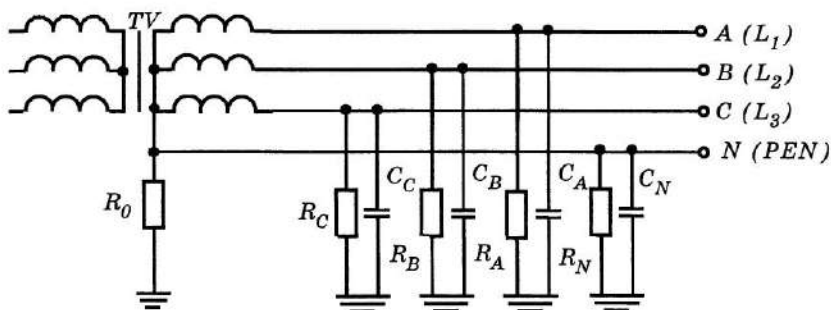


Рис. 1.15. Общий вид схемы замещения трехфазной четырехпроводной сети:

$R_0$  — сопротивление рабочего заземления ТВЧ электроустановки;  $N (PEN)$  — совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники;  $R_A, R_B, R_C, R_N, C_A, C_B, C_C, C_N$  — активное сопротивление изоляции и емкости относительно земли соответственно проводников фазы  $A, B, C$  и проводника  $N (PEN)$

Чем больше емкость фаз относительно земли, тем меньше емкостное сопротивление  $X_C$  и выше опасность поражения электрическим током.

Малым емкостным сопротивлением обладают электрические сети напряжением выше 1 кВ (воздушные и кабельные линии электропередачи) и протяженные сети напряжением до 1 кВ.

*Сопротивление электрозащитных средств и соблюдение правил их применения.* Для увеличения сопротивления тела человека  $R_{\text{ч}}$  используют электрозащитные средства, которые изготавливают из резины и других диэлектрических материалов.

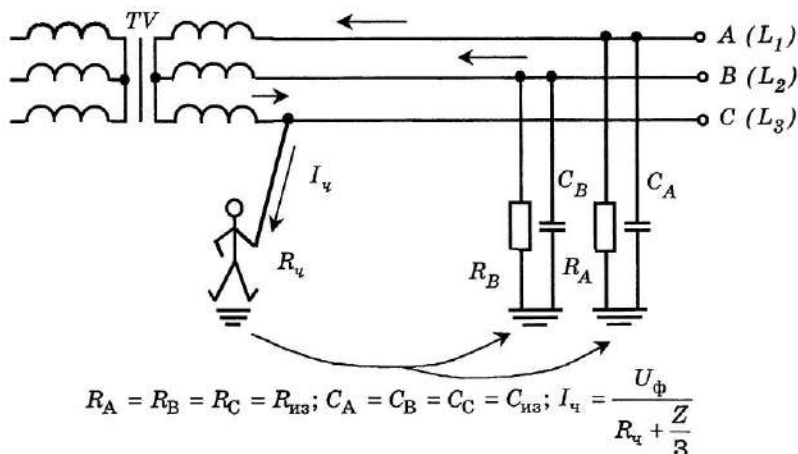


Рис. 1.16. Прикосновение человека к фазе  $C$  трехфазной сети с изолированной нейтралью

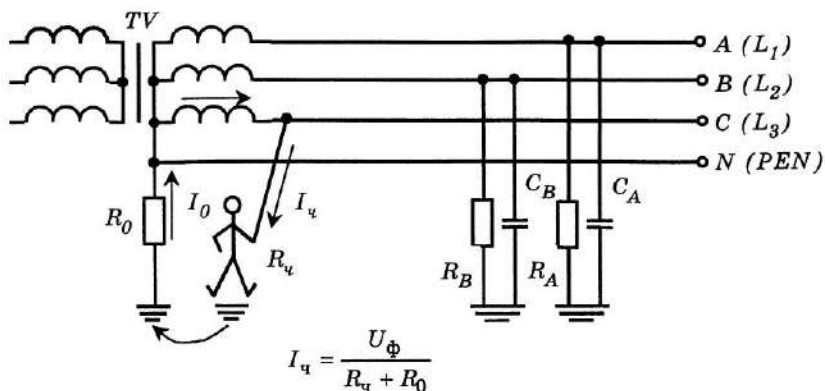


Рис. 1.17. Прикосновение человека к фазе С трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью

Классифицируются электротехнические средства по напряжению (до и выше 1 кВ), по степени обеспечения защиты от электрического тока (основные и дополнительные). Прикасаться к ТВЧ можно только при применении основных защитных средств с учетом рабочего напряжения сети или электроустановки, тогда

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{сз}} + \frac{Z}{3}}$$

или

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{сз}} + R_0}$$

Т а б л и ц а 1.9

Средние значения сопротивлений различных материалов, которые используются для изготовления подошв обуви, Ом

Материал подошвы	Напряжение сети, В			
	До 65	127	220	Свыше 220
Сухие помещения				
Кожа	200	150	100	50
Кожимит	150	100	50	25
Резина	500	500	500	500
Сырые и влажные помещения				
Кожа	1,6	0,8	0,5	0,2
Кожимит	2	1	0,7	0,5
Резина	2	1,8	1,5	1

Средние значения сопротивлений различных материалов, которые используются для покрытия полов в зданиях и сооружениях, Ом

Материал пола	Состояние пола		
	Сухой	Влажный	Мокрый
Асфальт	2000	10	0,8
Бетон	2000	0,9	0,1
Дерево	30	3	0,3
Земля	20	0,8	0,3
Кирпич	10	1,5	0,8
Линолеум	1500	50	4
Металл	0,01	0	0
Метлахская плитка	25	2	0,3

Существенно снижается  $I_{\text{ч}}$ , если человек обут в обувь с подошвой из хорошего диэлектрика или материал пола обладает хорошими диэлектрическими свойствами.

Средние значения сопротивлений различных материалов указаны в табл. 1.9 и 1.10.

### Условия окружающей среды

*Атмосферные условия.* Уменьшение или увеличение парциального давления кислорода в воздухе по сравнению с нормой, соответственно, снижает или повышает сопротивление тела человека. Следовательно, в закрытых помещениях, где парциальное давление кислорода, как правило, меньше, опасность поражения током при прочих равных условиях выше, чем на открытом воздухе.

Повышенная температура окружающего воздуха (30–45 °С) или тепловое облучение человека вызывают некоторое понижение сопротивления тела, даже если человек в этих условиях находится кратковременно (несколько минут) и у него не наблюдается усиления потовыделения. Одной из причин этого может быть усиление снабжения сосудов кожи кровью в результате их расширения, что является ответной реакцией организма на тепловое воздействие.

*Углекислый газ.* Чувствительность к току изменяется также с изменением содержания в воздухе углекислого газа. С увеличением содержания этого газа в воздухе чувствительность к току возрастает, среднее значение ощутимого тока при этом уменьшается на 30–40 %.

Если парциальное содержание углекислого газа превышает значение, допустимое по санитарно-гигиеническим



нормам (1 %), то чувствительность к току возрастает в два раза.

*Электрическое поле.* На человека постоянно действует электрическое поле напряженностью 12–150 В/м, а в предгрозовой и грозовой периоды — еще более сильное. Физиологическое воздействие электрических полей на живой организм объясняется контактом электроаэросистем с тканями организма. Активные вещества, образующиеся при этом в процессе биоэлектрохимических реакций в тканях, воздействуют на нервные рецепторные зоны и рефлекторным путем вызывают те или иные сдвиги систем организма, а это сказывается и на изменении его чувствительности к электрическому току. Чем дольше человек находится в электрическом поле, тем ниже его чувствительность к действию электрического тока.

*Магнитное поле.* Само по себе магнитное поле не вызывает патологии. Нарушения здоровья обуславливаются токами, возникающими в теле человека в процессе изменения численных значений напряженности магнитного поля, и чем она выше, тем выше опасность поражения электрическим током.

Анализ факторов, влияющих на исход поражения электрическим током, и последствий этих влияний позволил разработать методику оказания первой помощи пострадавшему при поражении электрическим током [41].

---

## 1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

---

Все электрические сети можно классифицировать по ряду признаков (рис. 1.18):

1) по размещению:

а) наружные воздушные и кабельные сети. При их выполнении применяются неизолированные (голые) провода, кабели и шинопроводы;

б) внутренние сети — это сети, проложенные внутри технологических помещений. При их выполнении используются изолированные и неизолированные провода, кабели и шинопроводы;

2) по назначению:

а) местные электрические сети — это сети напряжением до 35 кВ включительно;

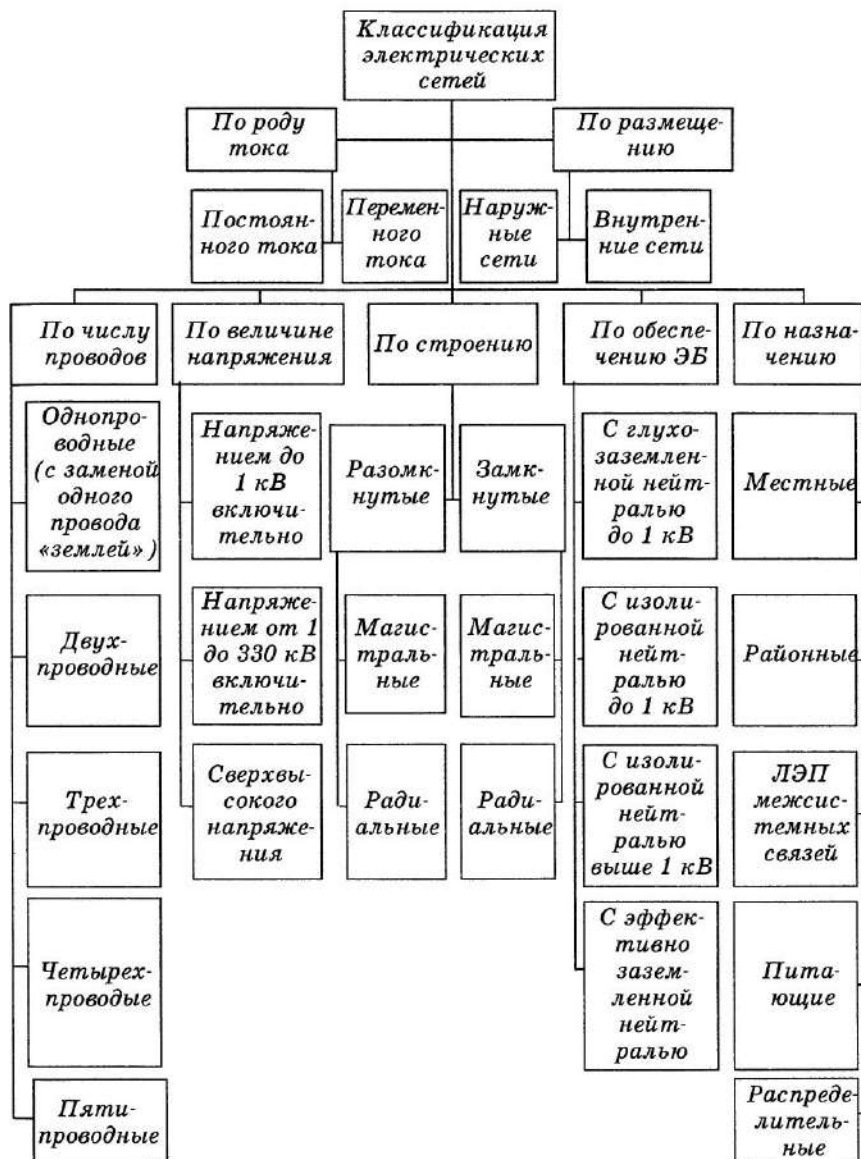


Рис. 1.18. Классификация электрических сетей

б) районные электрические сети — это сети, к которым относятся изолированные одиночные районные сети с одной электростанцией и сети электрических систем с несколькими электростанциями напряжением, как правило, 110 кВ и выше;

в) линии электропередачи (ЛЭП) межсистемных связей — это линии напряжением выше 220 кВ, служащие для связей отдельных энергетических систем напряжением до 1150 кВ;

г) питающие линии — это линии, которые служат для передачи энергии от источника питания к группам потребителей;

д) распределительные электрические сети — это сети, служащие для распределения электроэнергии от распределительных пунктов к потребительским трансформаторным подстанциям (ТП) или непосредственно к потребителям;

3) по роду тока:

а) электрические сети постоянного тока;

б) электрические сети переменного тока;

4) по числу проводов (рис. 1.19, 1.20):

а) двухпроводные электрические сети — это сети постоянного тока и однофазного переменного тока с изолированным выводом источника тока (рис. 1.19, а, б) и с заземленным выводом источника тока;

б) трехпроводные электрические сети — это сети однофазного тока; в отличие от двухпроводных у них имеется

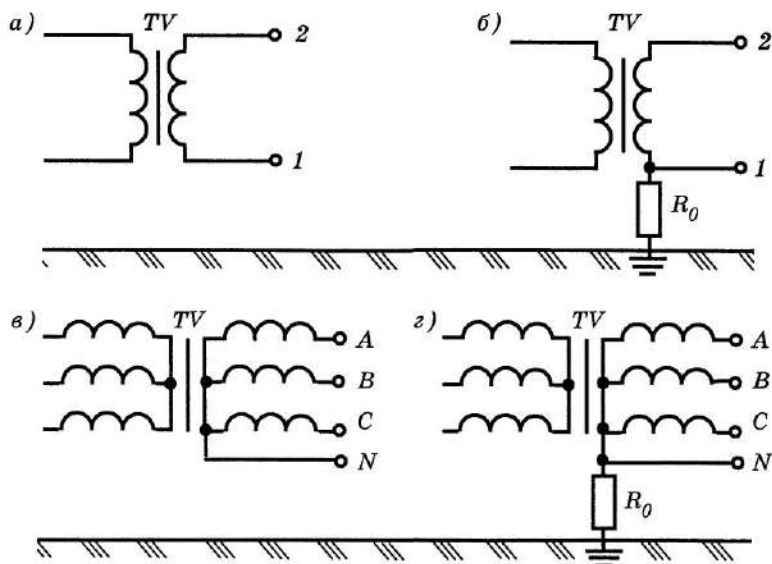


Рис. 1.19. Виды электрических сетей по числу проводов (двухпроводные и четырехпроводные): а, б — двухпроводные (однофазные); в, г — четырехпроводные (трехфазные);

$R_0$  — сопротивление заземляющего устройства нейтрали источника тока; А, В, С — фазные проводники соответственно фаз А, В, С; N — нулевой рабочий проводник; 1, 2 — проводники однофазной сети

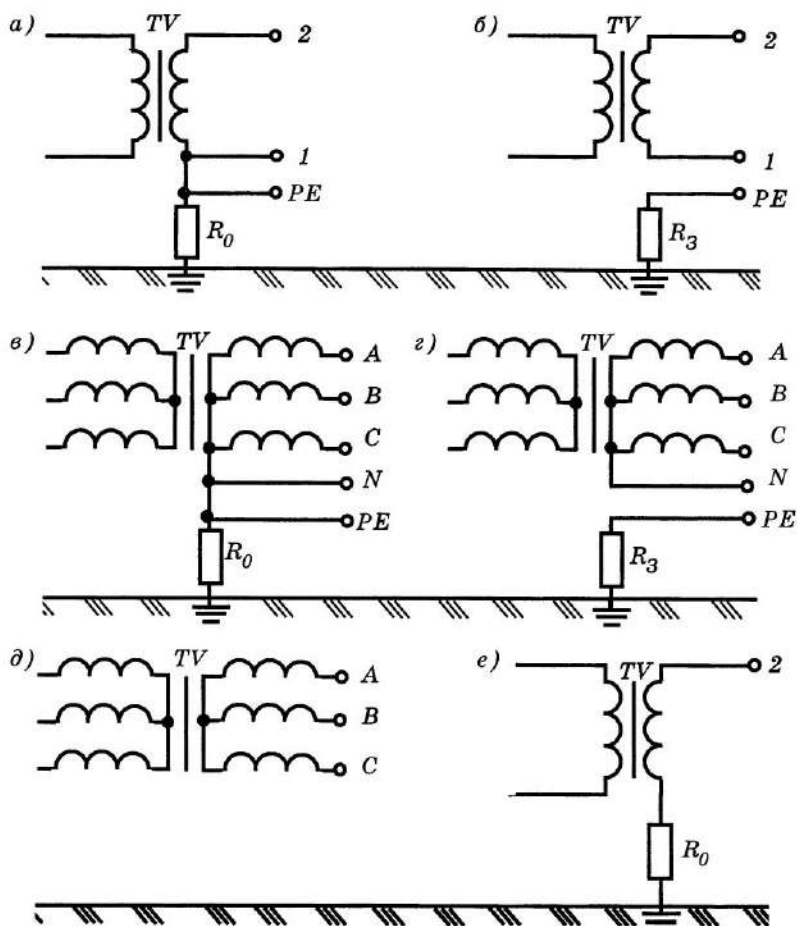


Рис. 1.20. Виды электрических сетей по числу проводов (однопроводные, трехпроводные и пятипроводные): а, б — трехпроводные однофазные; в, г — пятипроводные; д — трехпроводная (трехфазная); е — однопроводная (с заменой одного провода «землей»);

$R_0$  — сопротивление защитного ЗУ; PE — нулевой защитный проводник

нулевой защитный проводник, соединенный с заземленным выводом источника тока или соединенный с защитным заземляющим устройством в сетях с изолированным выводом источника тока, а также трехфазные сети без нейтрального провода (рис. 1.20);

в) четырехпроводные электрические сети — это сети трехфазного тока с нейтральным проводом (в сетях с изолированной от земли нейтралью) или с нулевым проводом (в сетях с глухозаземленной нейтралью источника тока) (рис. 1.19, в, г);

г) сети с заменой одного провода «землей» — это сети однофазного переменного тока, когда роль второго провода играет «земля» (рельс);

д) пятипроводные сети — это сети трехфазного тока, которые отличаются от четырехпроводных тем, что в них функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников разделены — проводники N и PE;

5) по построению: разомкнутые и замкнутые (рис. 1.21):

а) сеть магистральная разомкнутая состоит из одиночных ЛЭП, каждая из которых независимо питает несколько потребителей (рис. 1.21, а);

б) сеть радиальная разомкнутая — это магистральная разомкнутая сеть, питающая одну группу потребителей (рис. 1.21, б);

в) сеть радиальная замкнутая — такую сеть применяют в целях бесперебойного питания потребителей энергией, сети выполняют с резервированием, т. е. к потребителю прокладывают две линии электропередачи (рис. 1.21, в);

г) сеть магистральная замкнутая (петлевая), применяется если несколько потребителей в одном районе должны получать электроэнергию бесперебойно, тогда выполняют сеть петлевой, образующей замкнутый контур (см. рис. 1.21, г);

6) по величине напряжения:

а) сети напряжением до 1 кВ включительно;

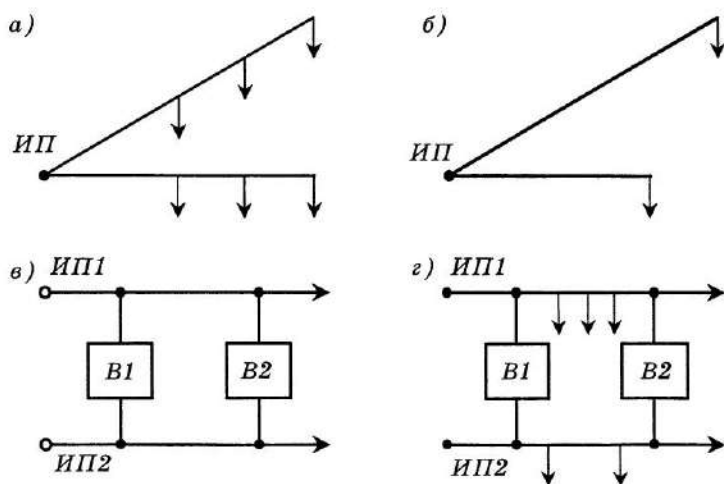


Рис. 1.21. Виды электрических сетей по построению: а — магистральная разомкнутая; б — радиальная разомкнутая; в — радиальная замкнутая; г — магистральная замкнутая;

ИП — источник питания; В — выключатель

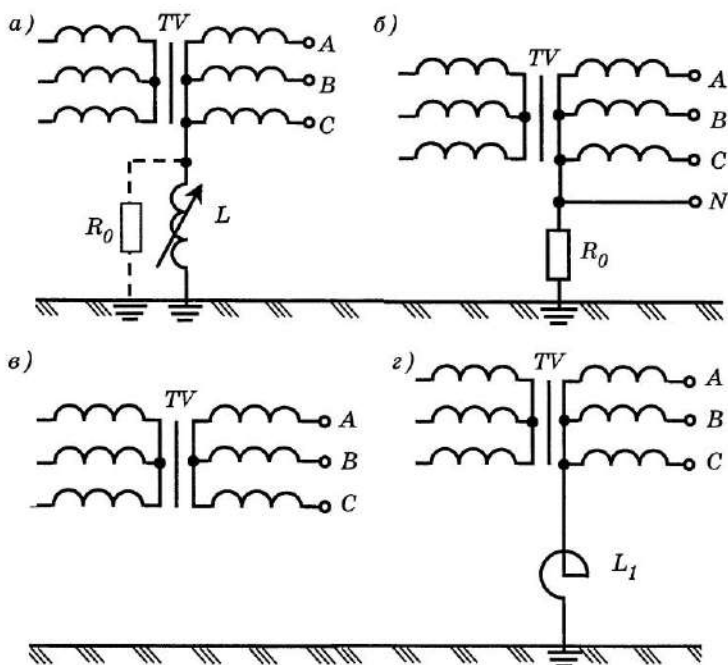


Рис. 1.22. Виды электрических сетей по обеспечению электробезопасности в зависимости от способа заземления нейтрали: *а* — с глухозаземленной и эффективно заземленной нейтралью; *б* — с глухозаземленной нейтралью до 1 кВ; *в* — с изолированной нейтралью до 1000 В; *г* — с изолированной нейтралью выше 1000 В;

$L$  — дугогасящая катушка;  $L_1$  — заземляющий реактор

*б*) сети напряжением выше 1 кВ (от 1 до 300 кВ включительно);

*в*) сети сверхвысокого напряжения — более 330 кВ;

7) по обеспечению электробезопасности: (в зависимости от способа заземления нейтрали в соответствии с ПУЭ) (рис. 1.22):

*а*) сети с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью напряжением выше 1000 В;

*б*) сети с глухозаземленной нейтралью до 1 кВ;

*в*) сети с изолированной нейтралью;

*г*) сети с заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;

*д*) сети с изолированной нейтралью до 1 кВ (рис. 1.23).

Изолированной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое

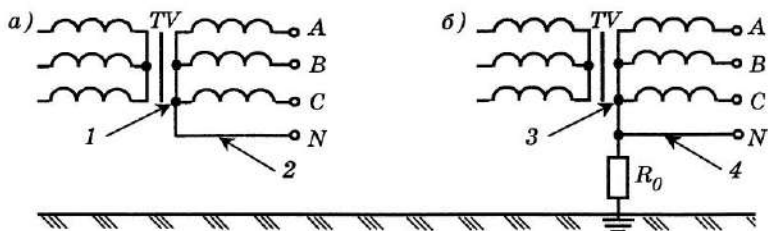


Рис. 1.23. Нейтрали обмоток источников тока: *а* — сети, изолированные от земли; *б* — сети с глухозаземленной нейтралью; 1 — нейтральная точка (нейтраль); 2 — нейтральный провод; 3 — нулевая точка; 4 — нулевой провод

сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.

Нейтраль (нейтральная точка) обмотки источника или потребителя энергии — точка, напряжения которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаковы по абсолютному значению (см. рис. 1.23).

Заземленная нейтральная точка носит название нулевой точки. Проводник, присоединенный к нейтральной точке, называется нейтральным проводником, а к нулевой точке — нулевым проводником.

Схема сети, а следовательно, и режим нейтрали источника тока, питающего сеть, выбираются по технологическим требованиям и по условиям ЭБ.

По технологическим требованиям ПУЭ предписывают эффективное заземление нейтрали для трехфазных сетей напряжением 110 кВ и выше, т. е. заземление через малое сопротивление (путем присоединения нейтрали к заземлителю непосредственно «наглухо» или через реакторы с небольшим индуктивным сопротивлением), при котором в случае замыкания одной или двух фаз на землю напряжения неповрежденных фаз относительно земли в месте замыкания не превышают  $1,4 U_{\phi}$ . Замыкание фазы на землю вызывает быстрое отключение поврежденного участка релейной защитой и не сопровождается возникновением перенапряжений. Таким образом, заземление нейтрали источника — эффективная мера, предупреждающая возникновение опасных для изоляции перенапряжений при дуговых замыканиях на землю.

Для сетей напряжением выше 1 кВ, но до 35 кВ включительно ПУЭ устанавливают режим работы с изолированной нейтралью, т. е. нейтралью, не присоединенной к заземляющему устройству или присоединенной к нему через прибо-

ры сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные им устройства, обладающие большим сопротивлением (см. рис. 1.22).

По условиям безопасности в сетях напряжением выше 1 кВ заземленная нейтраль также предпочтительнее, так как вследствие большой емкости проводов относительно земли защитная роль их изоляции практически полностью утрачивается и для человека становится одинаково опасно прикосновение к токоведущим частям сети как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

К тому же в сетях напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью при дуговых замыканиях на землю вокруг места замыкания могут возникать и длительно существовать высокие потенциалы и разность потенциалов, т. е. большие напряжения прикосновения и шага, опасные для людей.

С другой стороны, в сетях с изолированной нейтралью при замыкании одной из фаз на землю напряжение двух других неповрежденных фаз увеличивается в три раза. Следовательно, фазная изоляция таких сетей должна быть рассчитана на линейное напряжение, так как эти сети могут длительно работать при однофазном замыкании. Это значит, что данные сети должны иметь устройства контроля состояния изоляции, а релейная защита должна настраиваться на сигнал, а не на отключение однофазных замыканий на землю.

Сети с глухозаземленной нейтралью до 1 кВ (трехфазные четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью) в нашей стране по технологическим требованиям получили предпочтение, поскольку они позволяют использовать два рабочих напряжения — фазное  $U_{\phi}$  и линейное  $U_{\text{л}}$  ( $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\phi}$ ).

При этом достигается значительное удешевление ЭУ в целом благодаря применению меньшего числа трансформаторов, проводов с меньшим сечением и т. д.

По условиям ЭБ сети с глухозаземленной нейтралью следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов, когда нельзя быстро отыскать и устранить повреждение изоляции. Возникающие при этом токи короткого замыкания способствуют быстрому отключению поврежденного участка или поврежденной ЭУ с помощью релейной защиты или такой защитной меры, как защитное зануление.

Сети с изолированной нейтралью до 1 кВ (трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью) по условиям ЭБ



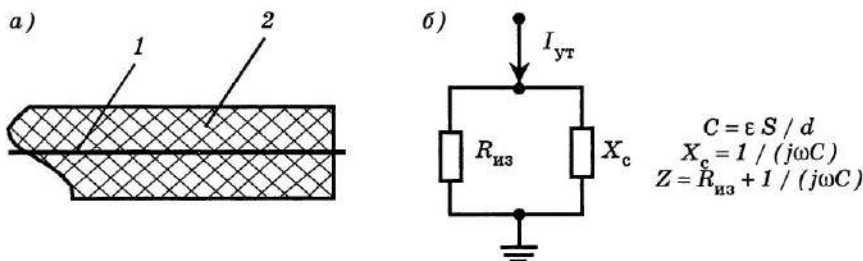


Рис. 1.24. Структура изоляции сети и схема ее замещения: *a* — изолированный проводник; *б* — электрическая схема замещения;

1 — проводник; 2 — изоляция;  $S$  — площадь проводника;  $d$  — расстояние между проводником и землей;  $I_{ут}$  — ток утечки

целесообразно применять на объектах с повышенной опасностью поражения человека электрическим током в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень сопротивления изоляции проводов сети относительно земли и когда емкость проводов относительно земли незначительна. Такими являются сети до 1 кВ небольшой протяженности, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором электротехнического персонала.

При выборе схемы сети по условиям безопасности было показано, что опасность поражения человека током во многом зависит от сопротивления изоляции проводов относительно земли.

Как указывалось выше, активное сопротивление изоляции  $R_{из}$  зависит от наличия в ней «путей утечки тока»  $I_{ут}$ , которые возникают из-за ее старения, ухудшая ее диэлек-

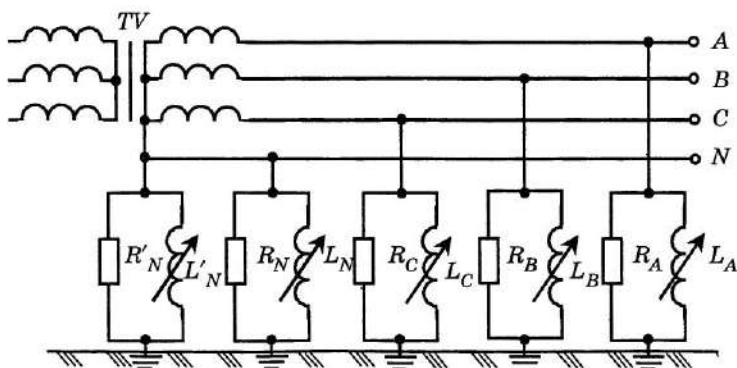


Рис. 1.25. Общий вид схемы замещения сети:

$R, L$  — активное сопротивление и индуктивность проводников сети

Зависимость емкости кабеля от сечения провода

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	10	25	50	95	150	240
Емкость, мкФ/км	0,15	0,19	0,28	0,33	0,37	0,45

трические свойства. Емкостное сопротивление  $X_c$  зависит от емкости провода относительно земли, которая, в свою очередь, определяется геометрическими размерами  $S$ ,  $d$  и диэлектрической постоянной материала изоляции  $\epsilon$ , ее состоянием (рис. 1.24). Поэтому в общем виде схема сети может быть представлена так, как показано на рис. 1.25.

В электрических сетях небольшой протяженности напряжением до 1000 В емкость проводов относительно земли мала:  $C \rightarrow 0$ . В этом случае сопротивление изоляции характеризуется только активной составляющей  $Z = R_{из}$ .

В кабельных линиях и в воздушных ЛЭП напряжением выше 1000 В емкость проводов относительно земли значительна. Например, емкость одной фазы кабеля напряжением 1000 В по отношению к свинцовой оболочке (земле) составляет от 0,15 до 0,4 мкФ на 1 км длины кабеля (табл. 1.11).

Чем больше емкость, тем меньше емкостное сопротивление. При этом даже при очень больших значениях активной составляющей сопротивления изоляции опасность поражения будет определяться величиной емкостной составляющей. Следовательно, в таких сетях сопротивление изоляции проводов относительно земли практически утрачивает свою защитную роль,  $Z = X_c$ .

Рассмотрим более подробно, почему сети с заземленной нейтралью получили большее распространение по сравнению с другими видами сетей.

### Значение заземления нейтрали для обеспечения электробезопасности

При выборе режима нейтрали электрической сети учитывают:

- ЭБ и возможные защитные меры;
- надежность электроснабжения, имея в виду возможность продолжения работы ЭУ при аварийном замыкании на землю;
- экономический фактор, определяемый в значительной мере расходами на изоляцию ЭО.

Стремление снизить опасность замыкания на землю, стабилизировать и уменьшить в этом аварийном режиме напряжение фазных проводов относительно земли привели в ряде стран и частично в России к решению заземлять нулевую точку источника тока.

Основанием к этому послужили следующие рассуждения.

1. При рабочем режиме сети  $Z_A = Z_B = Z_C$  напряжение фазных проводов относительно земли при заземленной нейтрали, так же как и при изолированной, равно фазному напряжению. Данное утверждение вытекает из закона Кирхгофа. В этом случае:

$$\underline{U}_A = \underline{I}_A Z_A;$$

$$\underline{U}_B = \underline{I}_B Z_B;$$

$$\underline{U}_C = \underline{I}_C Z_C,$$

где  $\underline{U}_A$ ;  $\underline{U}_B$ ;  $\underline{U}_C$  — векторы напряжений фазных проводов относительно земли;

$\underline{I}_A$ ;  $\underline{I}_B$ ;  $\underline{I}_C$  — векторы фазных токов утечки;

$Z_A$ ;  $Z_B$ ;  $Z_C$  — полные комплексные сопротивления фаз относительно земли.

Если в сети произошло короткое замыкание на землю фазы С, а человек прикоснулся к фазе В (так как  $R_0$ , как правило, очень мало, то можно принять  $R_0 = 0$ ), тогда из эквивалентной схемы (рис. 1.26) видно, что  $\underline{U}_0 = \underline{I}_3 R_0 = 0$  и, следовательно, напряжение относительно земли в точке замыкания на землю

$$\underline{U}_{\text{зм}} = \underline{U}_C - \underline{U}_0 = \underline{U}_C,$$

а напряжение, приложенное к телу человека,

$$\underline{U}_ч = \underline{U}_B - \underline{U}_0 = \underline{U}_B.$$

Таким образом, в сетях с заземленной нейтралью человек, прикоснувшийся к исправной фазе, оказывается под фазным напряжением, а не под линейным  $U_{л} = \sqrt{3}U_{\phi}$ . В сетях с изолированной нейтралью человек оказался бы под линейным напряжением.

2. Другой причиной распространения сетей с заземленной нейтралью является то, что замыкание на землю переходит в однофазное короткое замыкание и поврежденный участок отключается коммутационными аппаратами. Таким образом, аварийный режим работы сети при замыкании одной из фаз на землю, столь опасный своей длительностью

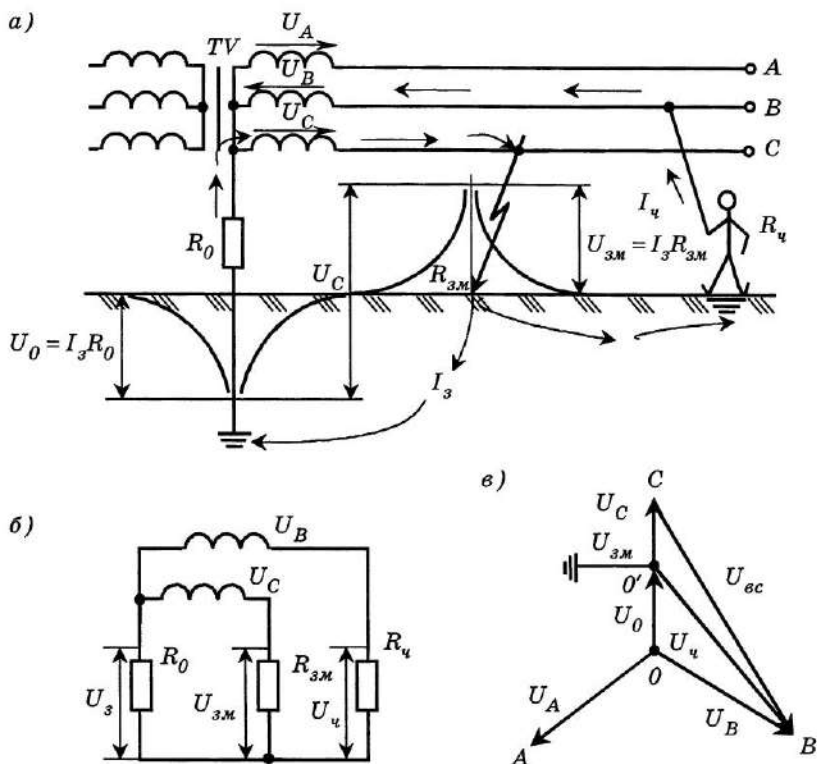


Рис. 1.26. Замыкание на землю в сети с заземленной нейтралью: *а* — схема сети с заземленной нейтралью; *б* — эквивалентная схема замыкания; *в* — векторная диаграмма

при изолированной нейтрали, в случае с заземленной нейтралью имеет место лишь в течение короткого периода времени, необходимого для срабатывания защиты.

3. Важным преимуществом сетей с глухозаземленной нейтралью, послужившим причиной их распространения, является то, что в них напряжение фаз по отношению к земле не превышает фазного напряжения. Изоляция цепей обмоток машин и ТВЧ ЭО рассчитывается лишь на фазное напряжение, тогда как при изолированной нейтрали она рассчитывается на линейное напряжение.

Приведенные доводы в пользу заземления нейтрали реализуются не во всех случаях. Прежде всего, принятое выше условие, что сопротивление рабочего заземления  $R_0 = 0$ , невыполнимо. На практике напряжение замкнувшейся на землю фазы *С* распределяется пропорционально величинам сопротивлений  $R_0$  и  $R_{3M}$ . При этом напряжение относительно

земли в точке замыкания на землю  $U_3 = I_{3\text{зм}} R_{3\text{зм}}$ , а в нулевой точке трансформатора  $U_0 = I_3 R_0$ .

Из векторной диаграммы (см. рис. 1.26) следует, что в действительности напряжение, приложенное к телу человека, несколько больше фазного и равно  $\underline{U}_ч = \underline{U}_В - \underline{U}_0$  или  $\underline{U}_ч = \underline{U}_{Вс} - \underline{U}_{3\text{зм}}$ .

Его абсолютное значение определяется из треугольника  $OO'B$ , откуда

$$U_ч = \sqrt{U_0^2 + U_В^2 - 2U_0U_В \cos 120^\circ},$$

или, поскольку  $\cos 120^\circ = -0,5$ ,

$$U_ч = \sqrt{U_0^2 + U_В^2 + U_0U_В}.$$

Таким образом, в сети с заземленной нейтралью при замыкании на землю напряжение фазных проводов относительно земли не равно фазному напряжению, а несколько выше. Тогда приложенное к человеку напряжение  $U_ч$  больше  $U_\phi$  и определяется соотношением сопротивлений  $R_0$  и  $R_{3\text{зм}}$ .

Однако существуют и отрицательные стороны применения заземленной нейтрали в электрических сетях. Наиболее важный фактор, оказывающий существенное влияние на выбор режима нейтрали, — опасность прикосновения к фазному проводу при нормальном режиме работы сети. В этом случае ток, проходящий через тело человека, будет равен

$$I_ч = \frac{U}{R_ч + R_{\text{II}} + R_0},$$

где  $U$  — напряжение, приложенное к человеку;

$R_ч$  — сопротивление тела человека;

$R_{\text{II}}$  — сопротивление пола по площади ног человека;

$R_0$  — сопротивление заземления нейтрали.

Если человек стоит на токопроводящем полу, то, пренебрегая величинами  $R_{\text{II}}$  и  $R_0$ , малыми по сравнению с  $R_ч$ , имеем

$$I_ч = \frac{U}{R_ч}.$$

Следовательно, при прикосновении к одной из фаз человек попадает практически под полное фазное напряжение, и величина тока будет смертельной.

И если в сетях с изолированной нейтралью сопротивления изоляции ограничивают величину этого тока, то в за-

земленных сетях они никакого влияния не оказывают. Даже при идеальном состоянии изоляции, когда  $R_A = R_B = R_C \rightarrow \infty$ , ток при однофазном прикосновении все же будет обусловлен величиной фазного напряжения и сопротивления тела человека. Предположим, что человек оказался под напряжением, которое меньше  $U_\phi$ .

Если  $U = 120$  В и  $R_\phi = 1$  кОм, то

$$I_\phi = \frac{U}{R_\phi} = 0,12 \text{ А} = 120 \text{ мА},$$

т. е. значение тока, протекающего через тело человека, на 20 мА больше смертельного.

Практика эксплуатации электрических сетей зданий и сооружений показывает, что в них происходит наибольшее число поражений электрическим током. Для повышения безопасности указанных сетей в России введен комплекс государственных стандартов на ЭУ зданий ГОСТ Р 50571, разработанный на основе международных стандартов МЭК-364 «Электрические установки зданий».

В основном комплекс стандартов ориентирован на электрические сети напряжением до 1 кВ переменного тока и 1,5 кВ постоянного тока.

---

### 1.3. СИСТЕМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

---

Системы электроснабжения классифицируются Международной электротехнической комиссией (МЭК) в зависимости от способа заземления распределительной сети и применяемых мер защиты от поражения электрическим током. Распределительные сети подразделяются на сети с заземленной нейтралью и сети с изолированной нейтралью.

Стандарт МЭК-364 подразделяет распределительные сети, питающие здания и сооружения, в зависимости от конфигурации токоведущих проводников, включая нулевой рабочий (нейтральный) проводник, и видов систем заземления. При этом используются следующие обозначения.

Первая буква характеризует связь с землей токоведущих проводников:

— I (*isolate* — изолированный) показывает, что токоведущие проводники изолированы от земли;

— T (*terra* — земля) показывает, что токоведущие проводники хотя бы одной точкой связаны с землей (заземленные сети).

Вторая буква характеризует связь с землей ОПЧ и СПЧ:

— T показывает, что ОПЧ и СПЧ связаны с землей (заземлены);

— N (*neutral* — нейтральный) показывает, что ОПЧ и СПЧ связаны с заземленной точкой сети посредством нулевого рабочего (N) или нулевого защитного (PE) проводников, при этом предполагается, что возможно совмещение в одном проводнике нулевого рабочего и нулевого защитного проводников (PEN).

Последующие буквы (если таковые имеются) характеризуют устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

— S (*selective* — разделенный) — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются отдельными проводниками;

— C (*complete* — общий) — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (PEN-проводник).

Под *сторонними проводящими частями* (СПЧ) будем понимать проводящие части, которые не являются частью ЭУ, но на них может появиться электрический потенциал при определенных условиях.

*Открытые проводящие части* (ОПЧ) — это НТВЧ электроустановки, доступные прикосновению, которые могут оказаться под напряжением при нарушении изоляции ТВЧ.

Расшифруем более подробно указанные обозначения систем заземления электрических сетей.

*Первая буква* (I или T). Первая буква I означает, что все ТВЧ изолированы от земли, либо одна точка сети связана с землей через сопротивление, через разрядник или воздушный промежуток.

Сети с изолированной нейтралью (I) могут быть:

— малыми сетями, такими как сети безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН или SELV) с электрическим отделением с помощью разделительных трансформаторов;

— средними сетями, которые используются для питания отдельных цехов;

— распределительными сетями, используемыми для питания целых районов города, такие как трехфазные сети

напряжением 230 В (система IT). В прошлом в Европе в основном использовалась система IT, но затем она была практически полностью заменена на системы с заземленной нейтралью.

Существует несколько причин для такой замены. Одной из них является защита от перенапряжений. Только в Норвегии система IT все еще широко используется. Система с изолированной нейтралью постепенно заменяется трехфазной системой 230/400 В с заземленной нейтралью. В мире использование системы IT ограничивается специальным применением в тех производствах, где перерыв в работе системы электроснабжения может быть опасен, например, взрывоопасные производства.

Первая буква T указывает на прямую связь, по меньшей мере, одной точки сети с землей (*terra*). Например, питаемая от вторичной обмотки трансформатора, соединенной в звезду, трехфазная распределительная сеть с нулевым проводником напряжением 127/220 В или 220/380 В с нейтралью, соединенной с землей через заземляющее устройство. Специальные требования, предъявляемые к заземляющим устройствам в зависимости от типа сетей, будут рассмотрены в последующих главах.

*Вторая буква (T или N)* означает тип соединения между ОПЧ, защитным заземляющим проводником (заземление оборудования) ЭУ и землей.

Вторая буква T означает прямое соединение между ОПЧ, СПЧ и землей, независимое от системного заземления, которое может содержать или не содержать ТВЧ системы.

Вторая буква N означает прямое соединение ОПЧ и СПЧ с заземленной точкой (точками) сети посредством PEN- или PE-проводника (PE — *protecte eath* — защитная земля). Сетевое заземление (заземление какой-либо точки электрической сети с землей) и защитное заземление как меру защиты от поражения электрическим током необходимо рассматривать независимо друг от друга. Однако в табл. 1.12 они показаны совместно для лучшего понимания.

ТВЧ сети соединяются с землей для ограничения напряжения, которое может появиться на них в результате прямого удара молнии или вторичных проявлений молнии (индуцированные волны перенапряжений), а также в результате непреднамеренного контакта с линиями более высокого напряжения или в результате пробоя изоляции токоведущих частей распределительной сети.

Причины, по которым не соединяют ТВЧ распределительной сети с землей, следующие: во избежание перерыва



Системы заземления электрических сетей и связь сетевого (рабочего) и защитного заземления

Обозначение системы заземления	Сетевое заземление	Защитное заземление проводящих частей (корпусов ЭУ)
IT	Непосредственное соединение с землей отсутствует. Допускается соединение с землей через сопротивление, воздушный промежуток, разрядник и т. д.	Непосредственное соединение с землей, независимое от сетевого заземления
TT	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети за пределами сети потребителя	Непосредственное соединение с землей, независимое от сетевого заземления
TN	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети и в одной или более точках сети потребителя	Соединение с «сетевой землей» с помощью РЕ- или PEN-проводника
TI	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети	Отсутствуют соединения с землей и с сетевым заземлением

питания потребителя при единственном повреждении (пробой изоляции на землю ТВЧ распределительной сети); во избежание искрообразования во взрыво- и пожароопасных зонах при единственном повреждении изоляции ТВЧ сети.

Заземление ЭО, а точнее, заземление ОПЧ, является одной из многочисленных мер, которые могут быть использованы

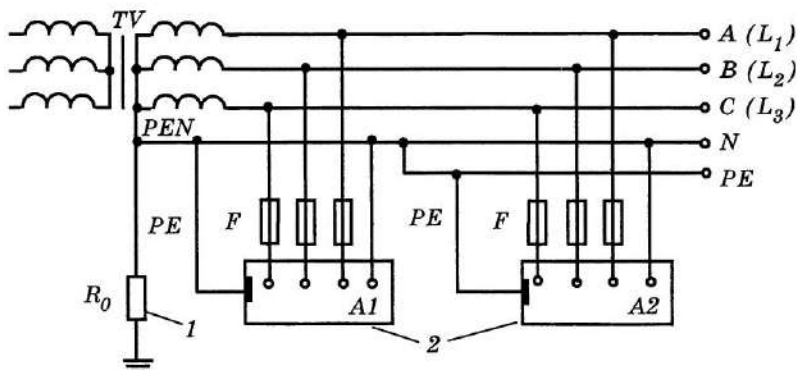


Рис. 1.27. Электрическая сеть с системой заземления TN-C-S (в начале сети нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены):

1 — рабочее заземление источника питания; 2 — открытые проводящие части (корпуса ЭУ); A1, A2 — электроустановки; F — предохранители

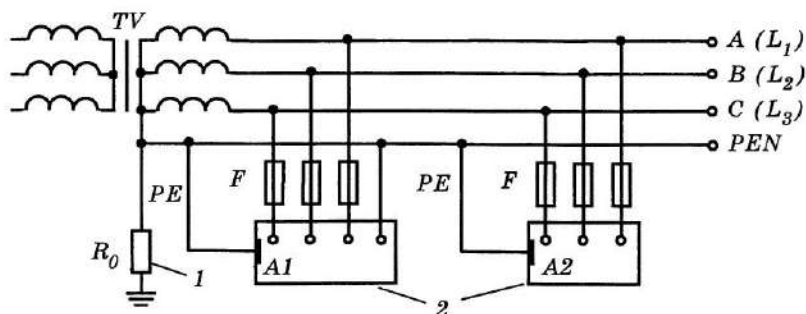


Рис. 1.28. Электрическая сеть с системой заземления TN-C (нулевой защитный и нулевой рабочий проводники объединены по всей длине сети):

1 — рабочее заземление источника питания; 2 — открытые проводящие части (корпуса ЭУ); A1, A2 — электроустановки; F — предохранители

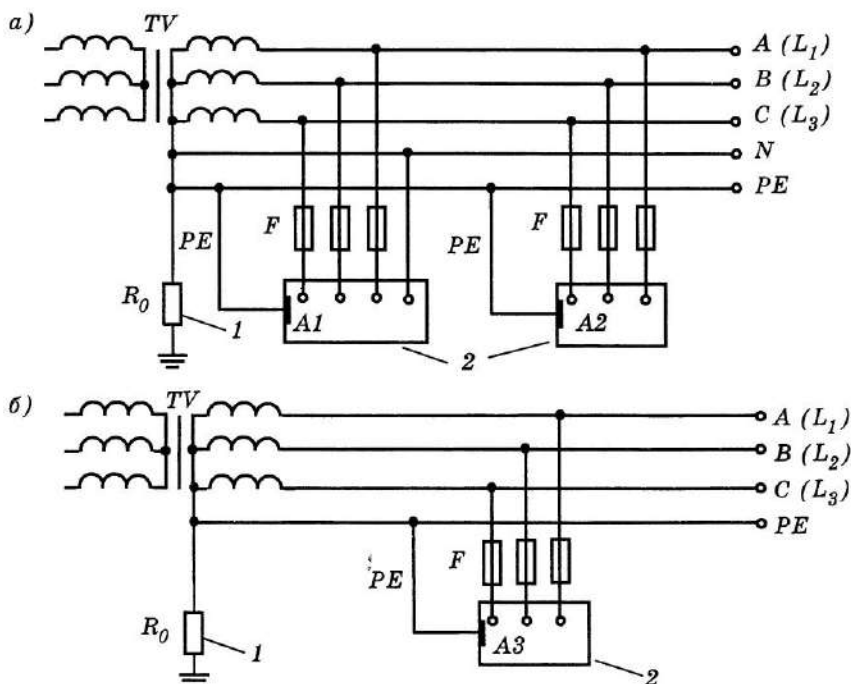


Рис. 1.29. Электрическая сеть с системой заземления TN-S (НРП и НЗП работают раздельно): а — сеть с нулевым рабочим (N) и защитным (PE) проводниками; б — сеть только с нулевым защитным проводником (PE);

1 — рабочее заземление источника питания; 2 — ОПЧ (корпуса ЭУ); A1, A2, A3 — электроустановки

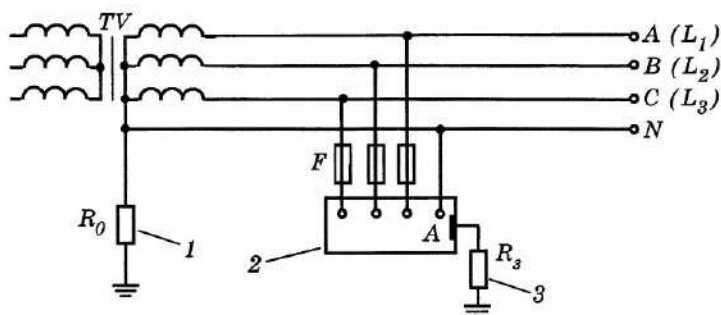


Рис. 1.30. Электрическая сеть с системой заземления ТТ:

1 — рабочее заземление источника питания; 2 — ОПЧ (корпуса ЭУ);  
3 — заземление корпуса электроустановки (защитное заземление)

для защиты от поражения электрическим током. Заземление ОПЧ предполагает создание эквипотенциальной среды, что снижает вероятность появления напряжения на теле человека.

В системе TN заземление ОПЧ обеспечивает создание для тока замыкания цепи с низким сопротивлением. Это облегчает работу устройств защиты от сверхтока.

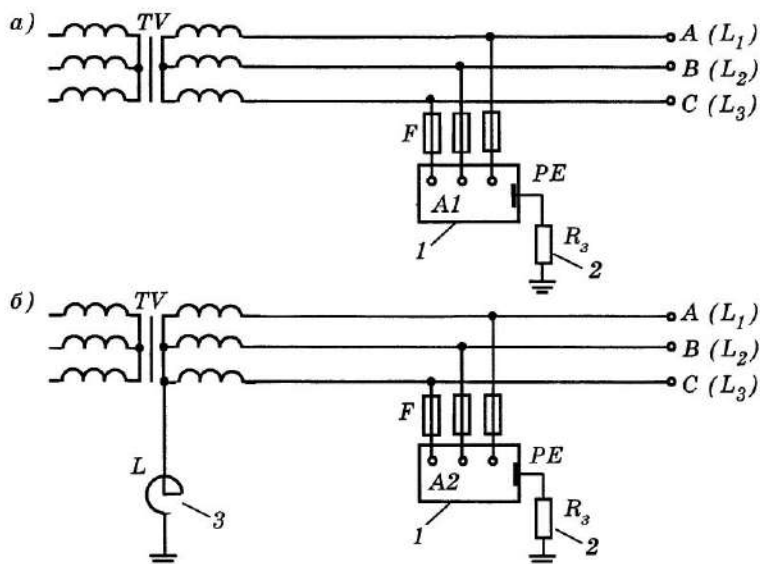


Рис. 1.31. Электрическая сеть с системой заземления IT: а — изолированная от земли; б — с заземлением через большое R заземляющего реактора  $L$ ;

1 — ОПЧ (корпуса ЭУ); 2 — заземление корпусов электроустановки (защитное заземление); 3 — заземляющий реактор  $L$ , изолирующий токоведущие проводники сети от земли

Обозначения TN, TT и IT относятся только к конфигурации распределительных сетей. Эти обозначения имеют ограниченное отношение к различным методам, которые могут быть использованы для обеспечения защиты от поражения электрическим током, включая заземление ОПЧ. Хотя каждая система обеспечивается посредством соединения ОПЧ с землей, эффективный метод, используемый в установке для защиты от поражения электрическим током, может включать другие меры защиты, например, двойную изоляцию. Конфигурация распределительной сети и меры, используемые для защиты от поражения электрическим током, являются, каждое в отдельности, предметом самостоятельного рассмотрения.

На рис. 1.27–1.31 представлены схемы трехфазных сетей различных систем заземления.

### Система TN

Питающие сети системы TN имеют непосредственно присоединенную к земле точку. Открытые проводящие части ЭУ присоединяются к этой точке посредством нулевых защитных проводников.

*Система TN-C-S* — функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников объединены в одном проводнике в части сети (см. рис. 1.27).

В зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников различают несколько типов систем заземления электрических сетей.

*Система TN-C* — функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников объединены в одном проводнике по всей длине (см. рис. 1.28).

*Система TN-S* — нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно по всей длине сети (см. рис. 1.29, а) или нулевой рабочий проводник не предусмотрен, а предусмотрен только нулевой защитный проводник (см. рис. 1.29, б).

### Система TT

Электрическая сеть системы TT имеет точку, непосредственно связанную с землей, а ОПЧ (корпуса ЭУ) заземлены посредством защитного заземления  $R_3$ , электрически не связанного с рабочим заземлением нейтрали  $R_0$  (рис. 1.30).

Электрическая сеть системы IT не имеет непосредственной связи ТВЧ с землей, а открытые проводящие части ЭУ заземлены. Первая буква I означает, что токоведущие проводники (части) сети изолированы от земли, т. е. отделены воздушным промежутком (см. рис. 1.31, а) или устройством с сопротивлением на несколько порядков бóльшим, чем  $R_0$  (см. рис. 1.31, б).

Опасность поражения электрическим током существенно зависит и от типа помещения, в котором эксплуатируется ЭУ, что необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации электрических сетей и ЭУ.

Электрические сети до 1 кВ переменного тока могут выполняться с заземленной нейтралью (системы заземления TN-C, TN-C-S, TN-S) или с изолированной нейтралью (система заземления IT), ЭУ постоянного тока — с заземленной (системы заземления TN-C, TN-C-S, TN-S) или с изолированной (система заземления IT) средней точкой, а ЭУ с однофазными источниками тока — с одним заземленным (системы заземления TN-S, TN-C или TN-C-S) или с обоими изолированными выводами (система заземления IT).

В четырехпроводных сетях трехфазного тока и трехпроводных сетях постоянного тока заземление нейтрали или средней точки источников тока (система заземления TN-C) является обязательным.

---

### 1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ С ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ И ТЕРРИТОРИЙ ПО ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

---

В основу классификации действующих ЭУ по условиям их безопасной эксплуатации положено напряжение ЭУ до 1 кВ включительно и выше 1 кВ.

Это связано с тем, что поражение человека током в ЭУ до 1 кВ возможно при непосредственном контакте с ТВЧ, в то время как в ЭУ выше 1 кВ, в зависимости от величины напряжения, опасно не только прикосновение, но и приближение человека к ТВЧ на расстояния менее указанных в табл. 1.13. При уменьшении этих расстояний до извест-

## Минимальные расстояния до ТВЧ по условиям электробезопасности

ЭУ и напряжение, под которым они находятся	Расстояние до токоведущих частей, м	
	от людей и применяемых инструментов, приспособ- лений и временных ограждений	от грузоподъемных машин и механизмов
РУ до 1 кВ	Не нормируется	1,0
ВЛ до 1 кВ	0,6	1,0
6–35 кВ	0,6	1,0
60–110 кВ	1,0	1,5
150 кВ	1,5	2,0
220 кВ	2,0	2,5

ных величин наступает электрический пробой воздушного промежутка и между человеком и ТВЧ возникает электрическая дуга.

Поскольку ЭУ выше 1 кВ опаснее ЭУ до 1 кВ, то и правила их безопасной эксплуатации имеют свою специфику [17].

При проектировании и эксплуатации ЭУ руководствуются классификацией помещений по характеру окружающей среды [16], которая существенно влияет на опасность поражения током (табл. 1.14).

Помещения в отношении опасности поражения людей электрическим током делятся на три группы [17]: 1) с повышенной опасностью; 2) особо опасные; 3) без повышенной опасности (табл. 1.14), в зависимости от факторов, создающих опасность поражения электрическим током.

Необходимо отметить, что в отношении опасности поражения людей электрическим током безопасных помещений не бывает.

К помещениям без повышенной опасности относятся помещения с нормальными условиями (табл. 1.15): с изолирующими полами, не имеющие заземленных предметов, например, жилые помещения, в которых трубопроводы отопления, водоснабжения, газоснабжения закрыты стационарными изолирующими ограждениями. Отсутствие таких ограждений, дающее возможность одновременного прикосновения к корпусам светильников (торшеров, настольных ламп), к корпусам или ТВЧ бытовых электроприемников с одной стороны и к указанным трубопроводам с другой, создает условия, позволяющие указанные помещения отнести к помещениям с повышенной опасностью.

## Классификация помещений по электробезопасности

№ п/п	Группа помещения	Характеристика помещения
1	Помещения с повышенной опасностью	<p>Помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:</p> <p>а) сырость (см. табл. 1.15);</p> <p>б) токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т. д.);</p> <p>в) высокая температура воздуха (см. табл. 1.15);</p> <p>г) токопроводящая пыль;</p> <p>д) возможность одновременного прикосновения человека к металлическим корпусам ЭО (открытым проводящим частям) и к заземленным металлоконструкциям зданий</p>
2	Помещения особо опасные	<p>Помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:</p> <p>а) особая сырость (см. табл. 1.15);</p> <p>б) химически активная или органическая среда (см. табл. 1.15);</p> <p>в) одновременно два и более условий повышенной опасности</p> <p>Территория открытых ЭУ в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.</p>
3	Помещения без повышенной опасности	<p>Помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность</p>

Примерами особо опасных помещений могут служить котельные, водонасосные станции, цеха баннопрачечных комбинатов и столовых, помещения для умывания, душевые и туалеты, механические мастерские, монтажно-испытательные корпуса, большинство помещений стартовых комплексов и многие другие. К особо опасным помещениям приравниваются также территории размещения наружных или открытых ЭУ, т. е. ЭУ, не защищенных зданием от атмосферных воздействий [16].

В зависимости от группы помещения по ЭБ установлены [17] соответствующие требования к классам передвижных (переносных) электрических машин, величинам напряжений переносных светильников, бытовых электроприемников и светильников местного стационарного освещения и другие требования, обеспечивающие безопасность эксплуатации ЭУ. Так, для питания переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных должно приме-

## Классификация помещений по характеру окружающей среды

№ п/п	Класс помещения	Характеристика (признаки) помещения
1	Нормальное	Сухое помещение, в котором отсутствуют признаки, свойственные жарким, пыльным и с химически активной или органической средой помещениям (см. пп. 6, 7 и 8)
2	Сухое	Относительная влажность воздуха не превышает 60 %
3	Влажное	Относительная влажность воздуха более 60 %, но не превышает 75 %
4	Сырое	Относительная влажность воздуха превышает 75 %
5	Особо сырое	Относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой)
6	Жаркое	Температура постоянно или периодически (более 1 суток) превышает +35 °С
7	Пыльное	Помещение, в котором по условиям производства выделяется токопроводящая или нетокопроводящая пыль, оседающая на токоведущих частях и проникающая внутрь ЭУ
8	С химически активной или органической средой	Помещение, в котором постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные вещества (пары, газы, жидкости), образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и ТВЧ электрооборудования
<p>Примечание. Относительная влажность воздуха <math>\phi</math> — есть отношение (в процентах) массы водяных паров, содержащихся в воздухе интересующего нас пространства, к массе водяных паров, насыщающих это пространство при данной температуре (т. е. когда испарение влаги прекратилось, что соответствует 100%-ной влажности).</p>		

няться напряжение не выше 50 В. При наличии особо неблагоприятных условий и в наружных установках для питания ручных светильников должно применяться напряжение не выше 12 В.

При эксплуатации ЭУ возможно поражение человека непосредственно током, протекающим через его тело, электрической дугой, статическим или атмосферным электричеством, емкостным зарядом; при этом возможны заболевания от неблагоприятного воздействия на организм электростатического и электромагнитного полей.

Поражение человека током происходит в том случае, когда он становится элементом цепи поражающего тока. Рассмотрим включение человека в цепь тока на примере прикосновения его к корпусу заземленной ЭУ в случае замыкания фазы сети на корпус ЭУ (рис. 1.32).



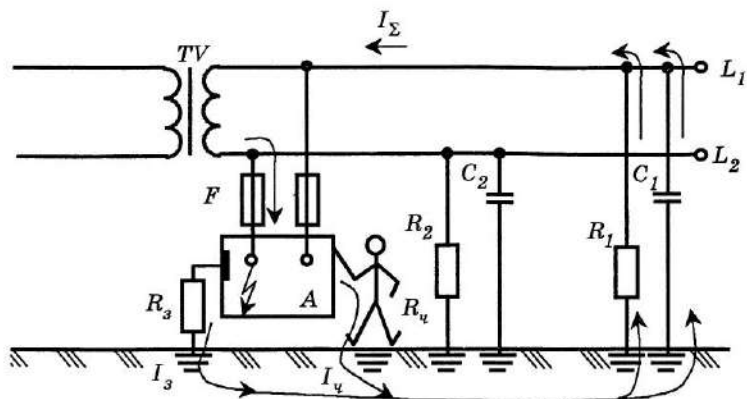


Рис. 1.32. Схема включения человека в цепь поражающего тока:

$R_1, R_2, C_1, C_2$  — сопротивления изоляции и емкости фаз относительно земли;  $I_3$  — ток замыкания на землю;  $I_ч$  — ток проходящий через тело человека;  $I_Σ$  — общий ток в электрической цепи поражающего тока ( $I_Σ = I_3 + I_ч$ );  $R_ч$  — сопротивление тела человека

В данном случае поражающим током является ток, протекающий через тело человека ( $I_ч$ ), а цепь поражающего тока составляют: источник — провод 2 — предохранитель  $F$  — корпус ЭУ — тело человека — обувь человека и, возможно, применяемые им средства защиты — пол — сопротивление изоляции и емкость  $R_1$  и  $C_1$  — провод 1 — источник.

Человек может оказаться под действием поражающего тока в случаях одно- или двухфазного (двухпроводного) прикосновения к неизолированным ТВЧ ЭУ (рис. 1.33), при попадании под напряжение шага в зоне замыкания тока на землю, при приближении к ТВЧ напряжением выше 1 кВ на недо-

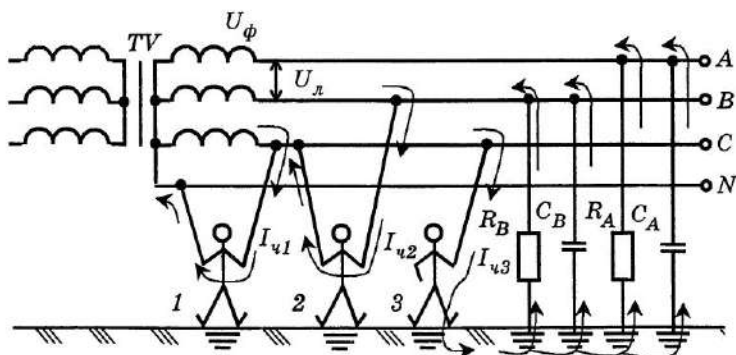


Рис. 1.33. Возможные случаи (1, 2, 3) прикосновения человека к токоведущим частям электрических сетей

пустимо близкое расстояние, что приводит к возникновению электрической дуги между ТВЧ и человеком. При коротком замыкании в ЭУ человек может получить травму от факторов, вызываемых самой дугой, не включаясь в цепь поражающего тока (воздействие ультрафиолетового излучения и частичек расплавленного металла).

Двухфазное (двухпроводное для однофазной сети) прикосновение человека к ТВЧ наиболее опасно, так как в этом случае в цепи поражающего тока (см. случаи 1 и 2 на рис. 1.33), кроме тела человека и обладающих очень малым сопротивлением ТВЧ сети, нет других сопротивлений, а значит, практически все напряжение сети падает на тело человека и тогда:

$$I_{ч1} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч}}; \quad I_{ч2} = \frac{U_{л}}{R_{ч}},$$

где  $U_{\phi}$  — фазное напряжение сети;

$U_{л}$  — линейное напряжение сети ( $U_{л} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}$ );

$R_{ч}$  — сопротивление тела человека.

В случае 3, показанном на рис. 1.33, опасность поражения меньше, чем в двух первых, потому что последовательно с человеком в цепь поражающего тока включены сопротивления обуви, средств защиты, пола и изоляции фаз относительно земли.

Для обеспечения ЭБ при эксплуатации ЭУ необходимо учитывать эти внешние условия при проектировании и монтаже ЭУ.

---

#### 1.5. МАРКИРОВКА И УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ (ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК)

---

В ЭУ должна быть обеспечена возможность легкого распознавания их составных частей и элементов, как для удобства обслуживания, так и для предотвращения электротравматизма обслуживающего персонала. Одним из основных способов легкого распознавания ТВЧ является цветовое обозначение и маркировка.

*Маркировкой* называется система условных обозначений (марок) — буквенных, цифровых и цветовых, применяемых

в схемах электрических соединений ЭО первичных и вторичных цепей, а также на самом оборудовании.

В соответствии с ПУЭ и ГОСТ Р 50462–92 «Идентификация проводников по цветам или цифровым обозначениям» буквенно-цифровое и цветовое обозначения одноименных шин должны быть одинаковыми в каждой ЭУ.

Шины должны быть обозначены:

а) при переменном трехфазном токе: фазы L1 (А) — желтым цветом, фазы L2 (В) — зеленым, фазы L3 (С) — красным, нулевая рабочая N — голубым. При использовании указанной шины в качестве нулевой защитной (PEN) она также обозначается голубым цветом по всей длине и продольными полосами желто-зеленого цвета на концах;

б) при переменном однофазном токе: шина В, присоединенная к концу обмотки источника питания, — красным цветом, шина А, присоединенная к началу обмотки источника питания, — желтым цветом.

Шины однофазного тока, если они являются ответвлением от шин трехфазной системы, обозначаются как соответствующие шины трехфазного тока;

в) при постоянном токе положительная шина (+) — красным, отрицательная (–) — синим и нулевая рабочая М — голубым цветом.

Цветовое обозначение (окраска) должно быть выполнено по всей длине шин, если оно предусмотрено также для более интенсивного охлаждения или для антикоррозионной защиты.

Допускается в местах присоединения шин выполнять цветовое обозначение не по всей длине шин, при этом только цветовое или только буквенно-цифровое обозначение либо цветовое в сочетании с буквенно-цифровым. Если неизолированные шины недоступны для проведения осмотров в период, когда они находятся под напряжением, то допускается их не обозначать. При этом не должен снижаться уровень безопасности и наглядности при обслуживании ЭУ.

Проводники защитного заземления во всех ЭУ, а также нулевые защитные проводники в ЭУ напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, в том числе и шины, должны иметь буквенное обозначение РЕ и цветовое обозначение чередующимися продольными или поперечными полосами одинаковой ширины (для шин от 15 до 100 мм) желтого и зеленого цветов.

Нулевые рабочие (нейтральные) проводники обозначаются буквой N и голубым цветом. Совмещенные нулевые за-

щитные и нулевые рабочие проводники должны иметь буквенное обозначение PEN и цветовое обозначение: голубой цвет по всей длине и полосы желто-зеленого цвета на концах.

Буквенная марка составляется из начальной буквы наименования элементов основного ЭО, аппаратуры, приборов и т. п., а если наименование состоит из нескольких слов — соответственно, из начальных букв этих слов. Однотипные аппараты в схеме различаются порядковым номером после буквенной марки.

Например: В — выключатель; ВВ — воздушный выключатель; КУ1, КУ2 — ключи управления первый, второй.

Преимущество буквенной марки заключается в ее мнемоничности, она легко запоминается и называется «смысловой».

Цифровая марка состоит из цифр десятичной системы, при этом каждому аппарату присваивается марка в виде числа (обычно от 1 до 99). В энергосистемах числовая марка применяется только для маркировки вторичных цепей (жил контрольных кабелей; жил проводов, соединяющих приборы с рядами зажимов; жил проводов, соединяющих приборы непосредственно в пределах данного участка). Поскольку таких цепей большое количество, для их маркировки отводятся группы чисел.

Марки основного ЭО первичных цепей имеют смысловое значение. Например, синхронные компенсаторы 1, 2 — СК1, СК2; трансформаторы (автотрансформаторы) 1, 2 — Т1, Т2; воздушная линия — ВЛ; реакторы 1, 2 — Р1, Р2.

Кабелям, прокладываемым в пределах подстанции, присваиваются марки (свой номер или наименование), которые заносятся в кабельный журнал и на бирки, прикрепляемые к кабелю в установленных ПУЭ местах и к концевым разделкам.

Бирки должны быть стойкими к воздействию окружающей среды и иметь следующие формы: круглая — для кабелей напряжением выше 1 кВ, прямоугольная — для кабелей напряжением до 1 кВ, овальная — для контрольных кабелей. На кабелях, проложенных в кабельных сооружениях, бирки должны располагаться по длине не реже чем через каждые 50 м.

Марка кабеля, отходящего от какого-либо устройства (элемента), составляется из его марки и порядкового числа: для силовых кабелей 01–99; для контрольных 100–999 и более (например, Г1–01, ШУ–103 и т. д.). При наличии нескольких силовых кабелей в одной цепи они маркируются

с дополнением букв «а», «б», «в» и т. д. (например, Г1-01а, Г1-01б и т. д.).

Существует два вида маркировки вторичных цепей: сквозная и встречная. При сквозной маркировке у каждого места подключения проводника (кабеля или провода) проставляется марка цепи в соответствии с полной схемой (например, на рис. 1.34, а).

К марке цепи целесообразно добавить в скобках номер зажима, к которому подключается конец проводника (рис. 1.34, б).

При встречной маркировке марка на одном конце проводника кроме основной функциональной характеристики содержит также характеристику аппарата на противоположном конце проводника — так называемый встречный адрес (рис. 1.34, в).

Маркировка цепей управления, сигнализации, защиты и автоматики выполняется в основном следующим образом: участки цепей, разделенные контактами аппаратов, обмотками реле и машин, резисторами, конденсаторами и т. д., считаются разными участками и должны иметь разные марки. Участки цепей, сходящиеся в одном узле схемы, долж-

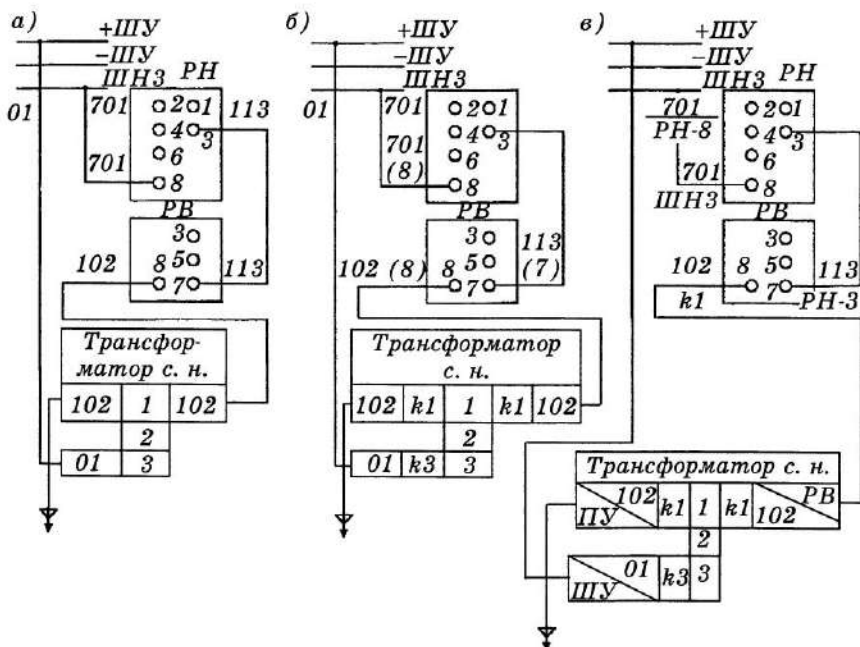


Рис. 1.34. Маркировка приборов, проводов и зажимов на панели: а — сквозная маркировка; б — сквозная маркировка с добавлением номера зажима; в — встречная маркировка

ны иметь одинаковую марку. Марка цепи при переходе через зажим не меняется.

Цепи постоянного тока имеют, как правило, цифровую маркировку с учетом их полярности. Участки цепей положительной полярности маркируются нечетными числами (например, +1), а участки отрицательной полярности — четными (например, -2). Участки цепей, изменяющие свою полярность в процессе работы схемы, а также не имеющие явно выраженной полярности (цепи, соединяющие последовательно включенные обмотки реле, резисторы и т. п.), могут маркироваться любыми числами — четными или нечетными.

Маркировка цепей переменного тока выполняется последовательными числами, без деления на четные и нечетные, с добавлением перед цифровой частью буквы, характеризующей фазу (А, В, С) или нейтраль (0 или PEN, N). Допускается опускать буквенный индекс перед цифровой маркой в случаях, когда не требуется указание фазы (например, перед цепью управления на переменном оперативном токе).

Для сигнально-оперативных шинок, помимо приведенных правил маркировки, принята специальная цветовая раскраска (табл. 1.16).

В СЭС кроме перечисленных примеров маркировки применяются маркировки световой предупредительной сигнализации, органов управления, изоляции электрических проводов (табл. 1.17, 1.18).

Т а б л и ц а 1.16

Маркировка и цвета окраски сигнально-оперативных шинок

Наименование шинок	Условное обозначение	Цвет окраски шинок
Шинки управления 1 системы шин	+1ШУ -1ШУ	Красный с белой манжетой Синий с белой манжетой
Шинки управления 2 системы шин	+2ШУ -2ШУ	Красный с двумя белыми манжетами Синий с двумя белыми манжетами
Шинка мигания	(+) ШМ	Красный с зеленой манжетой
Шинка сигнализации	+ШС -ШС	Красный Синий
Шинка звуковой сигнализации аварийного отключения	ШЗА 1ШЗА	Серый с желтой манжетой Серый с двумя желтыми манжетами
Шинка звуковой предупредительной сигнализации	1ШЗП 2ШЗП	Серый с белой манжетой Серый с двумя белыми манжетами

## Цвета окраски органов управления электротехнических изделий

№ п/п	Назначение органа управления	Цвет органа управления
1	Пуск (включение)	Ахроматический (черный, серый или белый)
2	Останов (отключение)	Красный
3	Попеременно пуск или останов	Только ахроматический (черный, серый или белый)
4	Воздействие, предотвращающее аварию	Желтый
5	Осуществление операций, отличных от указанных в пп. 1-4	Ахроматический или синий

Примечание к п. 1. Для органа управления, осуществляющего пуск (включение), допускается зеленый цвет. Органы управления должны снабжаться надписями или символами, указывающими управляемый объект, к которому они относятся, его назначение и состояние («Включено», «Отключено», «Ход», «Тормоз» и т. п.), соответствующее данному положению органа управления, и (или) дающими другую необходимую для конкретного случая информацию.

Сигнальные лампы и другие светосигнальные аппараты должны иметь знаки или надписи, указывающие значение сигналов (например, «Включено», «Отключено», «Нагрев»).

## Расцветка изоляции электрических проводников в электротехнических изделиях

№ п/п	Цвет изоляции проводников	Область применения проводников
1	Черный	Силовые цепи
2	Красный	Цепи управления, измерения и сигнализации переменного тока
3	Синий	Цепи управления, измерения и сигнализации постоянного тока
4	Зелено-желтый (два цвета)	Цепи заземления
5	Голубой	Цепи (проводники), соединенные с нулевым проводом и не предназначенные для заземления

Примечания: 1. Провода с указанными цветами изоляции должны применяться при изготовлении электротехнических изделий, когда имеется необходимость разделения проводников по функциональному назначению цепей, в которых они используются.

2. Кроме различительной окраски изоляции проводов при изготовлении электротехнических изделий должна быть выполнена маркировка соответствующих элементов изделий. Так, штепсельные разъемы должны иметь маркировку, позволяющую определить те их части, которые подлежат соединению между собой. Ответные части одного и того же разъема должны иметь одинаковую маркировку.

Маркировка должна наноситься на корпуса ответных частей разъемов на видном месте. Допускается не наносить маркировку на штепсельные разъемы, если разъем данного типа в изделии единственный.

Электрические выводы ЭО должны быть снабжены маркировкой или выполнены таким образом, чтобы была возможность нанесения на них маркировки.

Навеска маркировочных бирок не допускается. Маркировка должна выполняться на обоих концах каждого проводника. Допускается на коротких, отчетливо просматриваемых проводниках наносить маркировку с одной стороны. Маркировка проводника должна быть выполнена таким образом, чтобы при отсоединении его от зажима она сохранялась.

Кроме указанной маркировки используется маркировка электротехнических устройств с указанием параметров и характеристик источника питания.

Маркировка параметров и характеристик ЭО наносится на ЭО различными методами, например, на табличку с паспортными данными, бирку или этикетку. Маркировка должна быть четкой, видимой, прочной и сохраняться в течение положенного срока эксплуатации ЭО. Она не должна наноситься на съемные части, кроме части кожуха, которую снимают для установки ЭО с последующим возвращением части кожуха на место. Для некоторого ЭО требуется маркировка входных и выходных параметров и характеристик. В таких случаях в стандартах и технических условиях на ЭО конкретных видов эти требования должны устанавливаться как для выходных, так и для входных параметров и характеристик.

Дополнительные маркировочные данные наносят на упаковку и/или приводят в инструкции по эксплуатации, прилагаемой к ЭО.

Некоторое ЭО может использоваться при нескольких значениях напряжения или частоты источника питания. Может возникнуть необходимость в том, чтобы пользователь внес изменения в ЭО для пользования его источником питания с заданным номинальным напряжением. Существует большой класс ЭО, предназначенного для использования при нескольких номинальных напряжениях или в диапазоне напряжений без внесения каких-либо изменений. Во всех указанных случаях ЭО должно иметь соответствующую маркировку.

Маркировка параметров выполняется с использованием стандартных сокращений, представленных в стандарте



МЭК 445, или стандартных графических символов согласно ГОСТ 25874, ГОСТ 28312, МЭК 617-2 или ИСО 7000.

Физические величины обозначаются с использованием только числовых значений, их десятичных кратных и дольных единиц, с обозначением единиц измерения (МЭК 27, ИСО 31-0, ИСО 1000).

Для малогабаритного ЭО вместо нанесения маркировочных данных на паспортной табличке может быть использована цветовая идентификация или другие средства согласно стандарту на ЭО конкретного вида.

На ЭО должны быть нанесены номинальные значения его характеристик, а также характеристики источника (системы) питания в следующей последовательности:

- род тока системы питания (переменный ток, постоянный ток) по ГОСТ 29322;
- число фазовых проводников (например, 1, 2, 3);
- другие применяемые проводники (например, N, M, PE, см. МЭК 445 [4]);
- напряжение, соответствующее системе питания (см. ГОСТ 29322).

Для обозначения характеристик системы питания должны использоваться прописные буквы без точек.

Буквенно-цифровая система обозначений может быть заменена графическими символами согласно ГОСТ 25874 и ГОСТ 28312. Примеры маркировки приведены в табл. 1.19, 1.20.

При использовании ЭО США и Канады необходимо учитывать, что при маркировке символ PE не используется и не указываются символы единиц измерения. В соответствии с ГОСТ Р 50571 символ PE указывается всегда при наличии защитного проводника. Допускается не указывать символы единиц измерения (ГОСТ Р МЭК 61293-2000), если при этом не возникают разночтения.

На ЭО обязательно должны быть нанесены:

- номинальное напряжение в вольтах (В);
- номинальная частота в герцах (Гц);
- номинальный ток в амперах (А);
- номинальная входная и/или выходная мощность в ваттах (Вт) или в вольт-амперах ( $V \cdot A$ ).

При этом допускается использовать стандартные сокращения кратных величин, как указано в табл. 1.19.

Иногда в стандарте на ЭО конкретного вида устанавливается маркировка для дополнительных характеристик, например, код IP согласно ГОСТ 14254-96, класс ЭО по спосо-

бу защиты от поражения электрическим током согласно ГОСТ Р МЭК 536.

Если необходим заданный последовательный порядок или пространство для маркировки ограничено, например, одной строкой, рекомендуется следующая последовательность:

- характеристики систем питания;
- номинальные величины и обозначения единиц измерения;


Т а б л и ц а 1.19

Примеры маркировки электрооборудования параметрами и характеристиками, связанными с источником питания

Полное название параметра (характеристики)	Обозначение	Сокращение
Постоянный ток 10 А	$\equiv$ 10 А	DC 10 А
Переменный ток 1 кА	$\sim$ 1 кА	AC 1 кА
Постоянное напряжение 230 В	$\equiv$ 230 В	DC 230 В
Переменное напряжение 400 В	$\sim$ 400 В	AC 400 В
Постоянное или переменное напряжение 250 В	$\approx$ 250 В	AC/DC 250 В
Постоянное напряжение от 0 до 440 В	$\equiv$ 0 + 400 В	DC 0...400 В
Однофазная двухпроводная система с двумя фазовыми проводниками 230 В	2 $\sim$ 230 В	2 AC 230 В
Однофазная трехпроводная система с одним фазовым проводником, нулевым рабочим и защитным проводниками 230 В, 50 Гц	1/N/PE $\sim$ 230 В 50 Гц (см. прим. 1)	1/N/PE AC 230 В 50 Гц (см. прим. 1)
Однофазная трехпроводная система с двумя фазовыми проводниками и нулевым рабочим проводником 220/110 В, 60 Гц	2/N $\sim$ 220/110 В 60 Гц	2/N AC 220/110 В 60 Гц
Трехпроводная система постоянного тока 220 В	2/M $\equiv$ 220 В	2/M DC 220 В
Трехфазная трехпроводная система 400 В	3 $\sim$ 400 В	3 AC 400 В
Трехфазная четырехпроводная система с нейтральным проводником 480/277 В	3/N $\sim$ 480/277 В	3/N AC 480/277 В
Трехфазная пятипроводная система с отдельными нулевым рабочим и защитным проводниками 400/230 В	3/N/PE $\sim$ 400/230 В (см. прим. 1)	3/N/PE AC 400/230 В (см. прим. 1)
Малогабаритное вспомогательное ЭО, работающее на переменном напряжении 250 В, 16 А	$\sim$ $\frac{16A}{250V}$ (см. прим. 2) или $\sim$ 250 В 16 А	$\frac{16A}{AC^{250V}}$ (см. прим. 2) или AC 250 В 16 А

Примечания: 1. В США и Канаде при маркировке не используют символ PE. 2. Символы единиц измерения могут не указываться, если при этом не возникает разночтения.

Примеры буквенных обозначений и графических символов

Наименование параметра (характеристики)	Буквенное обозначение	Графический символ*	
		Символ	Номер символа по ГОСТ 25874
Род тока: переменный постоянный постоянный и переменный	AC DC AC/DC		004 003
Вывод для подключения: нулевого рабочего проводника защитного проводника	N** PE**		012
Класс ЭО по ГОСТ Р МЭК 536: II	—		014
III	—		

\*Графические символы — согласно ГОСТ 28312 и ГОСТ 25874.

\*\*Буквенные обозначения — согласно МЭК 445.

— другие характеристики (например, 3/N/PE 400/230 В 50 Гц).

Для параметров, которые расположены вертикально, чтобы избежать разночтения, можно использовать горизонтальную черту (см. табл. 1.19).

Каждое обозначение параметра должно состоять из отдельного числового значения; обозначения единицы измерения (например, 60 кВ).

ЭО, рассчитанное на использование при любой из нескольких установленных номинальных величин и требующее установки вручную этих величин, должно быть промаркировано следующим образом:

- числовые значения величин, отделенные косой чертой (/), в последовательно убывающем порядке;
- обозначение единицы измерения (например, 24/12/6 В).

Переключатели или другие устройства на ЭО, используемые для установки различных величин, должны иметь четкую маркировку для исключения ошибок.

На ЭО, используемое при любом из нескольких значений напряжений или частот, в котором переключение на другие напряжения или частоты происходит автоматически, маркировка должна наноситься прописными буквами АВТО, которые могут быть заменены следующим графическим символом:



Пример: 230/110 В АВТО соответствует 230/110 В ЭО с диапазоном номинальных величин (например, номинальных напряжений), использующееся в пределах указанного диапазона значений без какой-либо регулировки, в маркировке которого приводят наименьшее и наибольшее значения диапазона, должно маркироваться:

— граничными значениями, отделенными тремя точками (...) или тире (—);

— единицами измерения;

— величинами характеристик в возрастающем порядке.

Примеры: 6 В ... 12 В (от 6 до 12 В включительно)

6 В — 12 (от 6 до 12 В включительно)

Кроме указанных характеристик на электротехнических устройствах (ЭО) указываются:

— класс защиты человека от поражения электрическим током (табл. 1.21);

— степень защиты человека от соприкосновения с ТВЧ или движущимися частями внутри оболочки и от попадания твердых тел и воды внутрь оболочки ЭО напряжением до 72,5 кВ (табл. 1.22, 1.23).

Условные обозначения степеней защиты оболочек электрических аппаратов до 1 кВ и электрических машин представлены в табл. 1.24, 1.25.

При использовании данных табл. 1.21 надо иметь в виду следующее.

Т а б л и ц а 1.21

Классы электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения электрическим током

№ п/п	Класс изделия	Характеристика изделия
1	0	Изделия, имеющие, по крайней мере, рабочую изоляцию и не имеющие элементов для заземления, если эти изделия не отнесены к классам II или III
2	0I	Изделия, имеющие, по крайней мере, рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания
3	I	Изделия, имеющие, по крайней мере, рабочую изоляцию и элемент заземления
4	II	Изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию и не имеющие элементов для заземления
5	III	Изделия, не имеющие ни внутренних, ни внешних электрических цепей с напряжением выше 42 В

Характеристика степеней защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки и от попадания твердых тел внутрь оболочки электротехнического изделия напряжением до 72,5 кВ

Обозначение степени защиты	Степень защиты	
	Краткое описание	Характеристика (определение)
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от попадания твердых тел размером более 50 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки большей части человеческого тела, например, руки, и твердых тел размером свыше 50 мм
2	Защита от попадания твердых тел размером более 12 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 80 мм и твердых тел размером свыше 12 мм
3	Защита от попадания твердых тел размером более 2,5 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки инструментов, проволоки и т. п. диаметром или толщиной более 2,5 мм
4	Защита от попадания твердых тел размером более 1 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и твердых тел размером более 1 мм
5	Защита от проникновения пыли	Проникновение внутрь оболочки пыли полностью не предотвращено. Однако количество проникающей пыли таково, что не вызывает нарушения работы изделия
6	Пыленепроницаемость	Проникновение пыли предотвращено полностью

Примечания: 1. Указания таблицы распространяются на электротехнические изделия с номинальным напряжением не более 72,5 кВ.

2. Для обозначения степени защиты применяются буквы IP (*International Protection*) и следующие за ними цифры.

Первая цифра обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями или приближения к ним и от соприкосновения с движущимися частями, расположенными внутри оболочки, а также степень защиты изделия от попадания внутрь твердых тел.

Вторая цифра обозначает степень защиты изделия от попадания воды. Расшифровки второй цифры приведены в табл. 1.23.

Обозначение степени защиты должно наноситься на оболочку изделия или на табличку с маркировочными данными и устанавливаться в стандартах или технических условиях на изделия конкретных серий и типов.

Если для изделия требуется указать степень защиты только одной цифрой, то пропущенная цифра заменяется буквой X, например: IPX5, IP2X.

3. Оболочка изделий со степенью защиты, соответствующей первым цифрам 1–4, не допускает проникновения твердых тел правильной и неправильной формы размером (в трех взаимноперпендикулярных направлениях) более 50, 12, 2,5 и 1 мм.

## Характеристика степеней защиты электротехнического изделия напряжением до 72,5 кВ от попадания воды внутрь оболочки

Обозначение степени защиты	Степень защиты	
	Краткое описание	Характеристика (определение)
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от попадания капель воды	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие
2	Защита от попадания капель воды при наклоне до 15°	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие при наклоне его оболочки на любой угол до 15° относительно нормального положения
3	Защита от попадания дождя	Дождь, падающий на оболочку под углом 60° от вертикали, не должен оказывать вредного воздействия на изделие
4	Защита от попадания брызг	Вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
5	Защита от попадания водяных струй	Струя воды, выбрасываемая в любом направлении на оболочку, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
6	Защита от попадания волн воды	Вода при волнении не должна попадать внутрь оболочки в количестве, достаточном для повреждения изделия
7	Защита при погружении в воду	Вода при определенных давлении и времени не должна проникать в оболочку, погруженную в воду, в количестве, достаточном для повреждения изделия
8	Защита при длительном погружении в воду	Изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем

1. В случае, если изделие класса I имеет провод для присоединения к источнику питания, этот провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом.

2. Изделия, получающие питание от внешнего источника, могут быть отнесены к классу III только в том случае, если они предназначены для присоединения непосредственно к источнику питания напряжением не выше 42 В, у которого при холостом ходе оно не превышает 50 В. При использовании в качестве источника питания трансформатора или преобразователя его входная и выходная обмотки не

Т а б л и ц а 1.24

Условные обозначения степеней защиты оболочек электрических аппаратов напряжением до 1 кВ

Степень защиты от соприкосновения и попадания посторонних тел	Степень защиты от проникновения воды								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00	—	—	—	—	—	—	—	—
1	IP10	IP11	IP12	—	—	—	—	—	—
2	IP20	IP21	IP22	IP23	—	—	—	—	—
3	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34	—	—	—	—
4	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	—	—	—	—
5	IP50	IP51	—	—	IP54	IP55	IP56	—	—
6	IP60	—	—	—	—	IP65	IP66	IP67	IP68

Пр и м е ч а н и я: 1. Указания таблицы распространяются на оболочки, в которые встраиваются электрические аппараты общего назначения на напряжение до 1 кВ. Указания не распространяются на оболочки электрических аппаратов, предназначенных для работы во взрывоопасной среде и особых климатических условиях, а также на оболочки электробытовых приборов.

2. Указанные в таблице степени защиты электрических аппаратов устанавливаются в зависимости от степени защиты персонала от прикосновения к ТВЧ аппаратов, попадания посторонних тел и проникновения воды под оболочку.

3. Характеристики степеней защиты оболочек ЭО приведены в табл. 1.22 и 1.23.

4. На отдельные виды аппаратов, когда высока вероятность поражения персонала электрическим током, рекомендуется устанавливать более высокие степени защиты.

должны быть электрически связаны и между ними должна быть двойная или усиленная изоляция.

3. Изделия, которые создают электромагнитные поля, должны иметь защитные элементы (экраны, поглотители и т. п.) для ограничения воздействия этих полей в рабочей зоне до допустимых уровней.

4. Изделия, являющиеся источником теплового, оптического, рентгеновского излучения, а также ультразвука, должны быть оснащены техническими средствами ограничения интенсивности этих излучений и ультразвука до допустимых значений, установленных нормативно-техническими документами.

5. Требования табл. 1.21 не распространяются на следующие электротехнические изделия: выполненные в виде комплексов; входящие в состав взрывозащищенного ЭО; входящие в состав ЭО морских и речных судов; электровозы; бытовые электроприборы.

Существуют также степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки и от попадания твердых тел внутрь обо-

## Условные обозначения степеней защиты электрических машин

Степень защиты от соприкосновения и попадания посторонних тел	Степень защиты от проникновения воды								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00	IP01	—	—	—	—	—	—	—
1	IP10	IP11	IP12	IP13	—	—	—	—	—
2	IP20	IP21	IP22	IP23	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	IP43	IP44	—	—	—	—
5	—	—	—	—	IP45	IP55	IP56	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Пр и м е ч а н и я: 1. Указания таблицы распространяются на электрические вращающиеся машины и устанавливают степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри машины, а также от попадания посторонних твердых тел внутрь машины и от проникновения внутрь машины воды.

Указания таблицы не распространяются на электрические машины, предназначенные для работы во взрывоопасной среде и в некоторых климатических условиях (например, тропических или при воздействии влажности, инея, химических реагентов, плесневых грибов).

2. Характеристики степеней защиты и их обозначения соответствуют ГОСТ 14254-80 (см. табл. 1.22 и 1.23).

3. Исходя из специфических особенностей отдельных видов электрических машин, допускаются степени защиты IP57 и IP58.

4. Если электрическая машина имеет коробку выводов или коробку контактных колец, то степень защиты указанных коробок должна соответствовать степени защиты электрической машины, но быть не менее IP20 для коробки выводов и IP23 для коробки контактных колец, если степень защиты электрической машины менее IP20.

5. У электрической машины со степенью защиты IP43 и выше, имеющей внешний вентилятор, насаженный на конец вала, степень защиты кожуха вентилятора должна быть не менее IP20.

У электрической машины со степенью защиты IP43 или IP44, имеющей указанный вентилятор и продуваемый воздухом ротор, степень защиты отверстий для прохода воздуха через ротор должна быть не менее IP23.

При этом конструкция электрической машины с продуваемым воздухом ротором должна обеспечивать, соответственно, степень защиты IP43 или IP44 внутренней части машины (зоны расположения обмоток статора и ротора) от тракта, по которому проходит воздух, охлаждающий ротор.

Со стороны выхода воздуха (промежутки между наружными ребрами станины или трубы) должна быть обеспечена защита от соприкосновения пальца с вращающимся вентилятором и от попадания крупных твердых посторонних тел (диаметром более 50 мм).

лочки ЭО напряжением до 72,5 кВ. Характеристики степеней защиты представлены в табл. 1.22.

Возможность применения степеней защиты 3 и 4 по первой цифре обозначения для изделий с отверстиями для слива конденсата и (или) вентиляционными отверстиями



устанавливается в стандартах или технических условиях на изделия конкретных серий и типов.

Примечания 1, 2 и 3, приведенные в табл. 1.22, соответствуют и табл. 1.24, кроме того, при степени защиты 8 для некоторых типов изделий допускается проникновение воды внутрь оболочки, но без нанесения ущерба изделию.

---

#### 1.6. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ ЗАЩИТ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

---

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции должна применяться, по крайней мере, одна из следующих защитных мер: защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение, использование электрического разделения сетей (разделяющих трансформаторов), изолирующих площадок, малого напряжения, двойной изоляции, выравнивания потенциалов, применение электрозащитных средств и др.

Кроме применения указанных выше защитных мер, безопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

- соблюдением соответствующих расстояний до ТВЧ или путем закрытия ограждения ТВЧ;

- применением блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к ТВЧ;

- применением предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;

- применением устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;

- использованием средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в ЭУ, где их напряженность превышает допустимые нормы.

На рис. 1.35 представлена общая классификация технических средств и способов защиты от поражения электрическим током, применяемых в ЭУ напряжением до и выше 1 кВ.



Рис. 1.35. Общая классификация технических средств и способов защиты от поражения электрическим током, применяемых в ЭУ напряжением до и выше 1 кВ

Применение нескольких технических средств и способов защиты, обеспечивающих защиту от поражения электрическим током во всех режимах эксплуатации ЭУ, составляет систему защиты.

Каждая система защиты от поражения электрическим током строится на основе исходных данных, которые включают в себя:

— знания о физиологическом воздействии электрического тока, проходящего через тело человека или животного;

— накопленный опыт на основе отчетов о смертельных поражениях;

— детальные технические знания об устройствах, которые могут быть использованы для защиты от поражения электрическим током, включая рассмотрение надежности, легкости выполнения, экономичности и соответствия действующим Правилам и Нормам.

Решение о том, какая ЭУ должна быть защищена, где защита необходима, как она должна быть выполнена, в большой степени зависит от характеристик окружающей среды. Помещения внутри административных зданий и сооружений имеют, как правило, нормальную среду обитания без условий, создающих особую опасность. Тесные проводящие помещения, такие как подземные туннели, резервуары, требуют специального рассмотрения. При этом должны быть приняты во внимание уровень напряжения, в частности напряжение по отношению к земле, вид системы электрической сети, требование к непрерывности и бесперебойности электроснабжения. Известно, что некоторые промышленные потребители по условиям безопасности не допускают перебоев электроснабжения.

Для распределительных электрических сетей с напряжением по отношению к земле, не превышающим 120 В, необходимость защитных мер менее обусловлена, чем для систем с напряжением по отношению к земле до 240 В. При напряжении, не превышающем 120 В по отношению к земле (эти напряжения до сих пор используются в США и Японии), широко применяются переносные приборы класса 0 (приборы имеют только основную изоляцию и не имеют специальных клемм для подключения зануляющего проводника). В таких сетях могут быть использованы штепсельные розетки без зануляющих контактов тех же типов, какие устанавливались в США до 1962 г. и каких еще много в жилых домах США, Японии, России и некоторых других стран.

Опасные ТВЧ электроустановки не должны быть доступны для непреднамеренного прямого прикосновения к ним, а доступные прикосновению ОПЧ, СПЧ, заземляющие проводники и защитные проводники (РЕ-проводники), а также РЕН-проводники, не должны быть опасными при прикосновении к ним как при нормальных режимах работы ЭУ, так и при повреждении изоляции ТВЧ, находящихся под напряжением.

В настоящее время в России используется большое количество ЭУ, изготовленных зарубежными фирмами для своих сетей. При их изготовлении не учитывались особенности электрических сетей России.

Кроме того, за последнее время появились новые данные о физиологическом воздействии электрического тока на человека. Исходя из этого для обеспечения ЭБ в современных условиях должен использоваться новый подход по применению защиты.

Этот подход должен предусматривать *три уровня защиты*: 1) основную защиту; 2) защиту при повреждении изоляции; 3) дополнительную защиту.

*Основная защита* обеспечивается посредством исключения контакта между человеком и опасными ТВЧ. Некоторые ТВЧ полностью покрыты изоляцией, которая может быть удалена только в результате ее разрушения или разрушения самого защищаемого изделия. В других случаях основная изоляция может быть удалена только с использованием специальных инструментов. Кроме того, от прямого контакта защищают оболочки. Основная защита должна обеспечивать защиту при прямом и косвенном прикосновении.

В качестве основной защиты от *прямого прикосновения* в нормальном режиме работы ЭУ могут быть применены:

- основная изоляция ТВЧ;
- электрическое разделение цепей (защитное разделение);
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- сверхнизкое (малое) напряжение.

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения следует применять устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток.

В качестве основной защиты при *косвенном прикосновении* могут быть применены:

- уравнивание потенциалов, в том числе местное;

- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- использование PEN-проводника;
- защитное зануление (системы TN, в том числе TN-C, TN-C-S, TN-S);
- автоматическое отключение питания, в том числе, с использованием устройств защиты от сверхтоков и устройств защиты, реагирующих на дифференциальный ток (УЗО-Д);
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны и площадки.

Барьеры и размещение ТВЧ вне зоны досягаемости (на недоступной высоте) позволяют обеспечить защиту только от непреднамеренных контактов. Они не исключают возможности преднамеренного контакта с ТВЧ за пределами барьера или преодоления расстояния, предусмотренного пределами досягаемости.

Повреждение основной защиты происходит двумя путями.

1. В результате повреждения оболочки или ее части опасные ТВЧ становятся доступными для прямого прикосновения. Защита от таких видимых повреждений обеспечивается немедленным ремонтом поврежденного ЭО.

2. Повреждение изоляции между опасными ТВЧ и ОПЧ. При повреждении основной изоляции доступные прикосновению ОПЧ приобретают опасный потенциал, что может не сопровождаться появлением каких бы то ни было видимых для потребителя признаков. При повреждении изоляции должна обеспечиваться защита от поражения электрическим током при косвенном прикосновении.

Меры защиты от поражения электрическим током должны быть предусмотрены в ЭУ или ее части либо применены к отдельным ЭП и могут быть реализованы при изготовлении ЭО либо в процессе монтажа ЭУ, либо в обоих случаях.

Применение двух и более мер защиты в ЭУ не должно оказывать взаимного влияния, снижающего эффективность каждой из них.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в ЭУ превышает 50 В переменного тока и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях, например, 25 В переменного и 60 В постоян-

ного тока или 12 В переменного и 30 В постоянного тока при наличии требований соответствующих глав ПУЭ.

Защита от прямого прикосновения не требуется, если ЭО находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного или 15 В постоянного тока — во всех случаях.

*Защита при повреждении изоляции* между ТВЧ, находящимися под напряжением, и доступными прикосновению открытыми проводящими частями ЭО должна быть обеспечена посредством устройства (с надлежащей изоляцией) автоматического отключения или с помощью других мер защиты.

Защита при повреждении изоляции может включать одну защитную меру или более в сочетании с автоматическим отключением, в том числе, с использованием устройств защиты от сверхтоков и устройств защиты, реагирующих на дифференциальный ток (УЗО-Д); защитным занулением (система TN); использованием PEN-проводника; уравниванием потенциалов, в том числе местным; защитным заземлением с использованием ЗУ для отключения сверхтоков (системы TT или IT); выравниванием потенциалов; постоянным и периодическим контролем изоляции; двойной изоляцией; электрическим разделением сетей (разделяющий трансформатор); безопасным сверхнизким напряжением (БСНН); функциональным сверхнизким напряжением (ФСНН).

*Дополнительная защита* посредством использования УЗО-Д применяется в качестве третьей и последней защитной меры для распределительных сетей. УЗО-Д с током уставки не более 30 мА предотвращает возникновение вентрикулярной фибрилляции в результате протекания электрического тока через тело человека.

Дополнительная защита должна применяться для переносных приборов, т. е. для сетей, питающихся от штепсельных розеток, или проложенных в помещениях с повышенной опасностью.

В связи с современным развитием ЭБ, полная система защиты должна быть представлена в виде трехуровневой системы мер, каждая из которых на своем уровне готова действовать для защиты потребителя ЭУ (рис. 1.36) от поражения электрического тока.

Главная задача дополнительной защиты состоит в обеспечении защиты при случайном непреднамеренном прямом



Рис. 1.36. Трехуровневая система защиты от поражения электрическим током

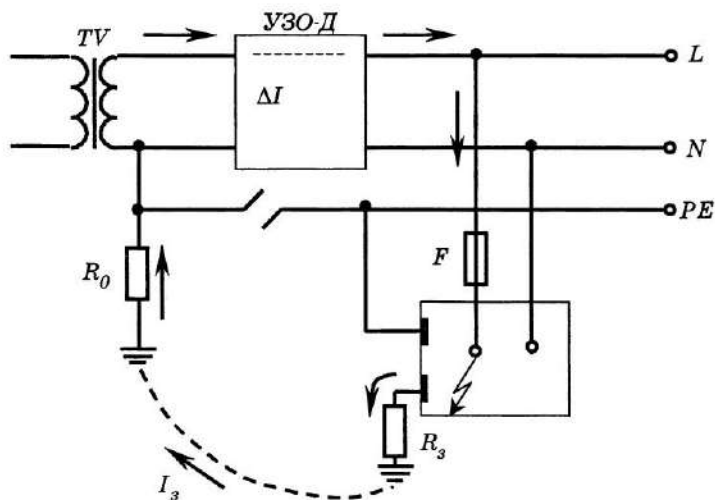


Рис. 1.37. Защита при обрыве защитного проводника (отключение осуществляет УЗО)

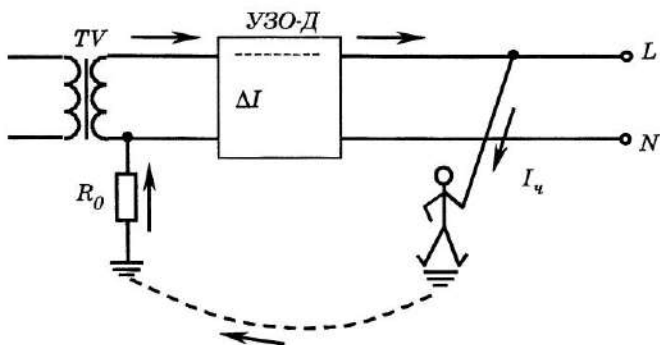


Рис. 1.38. Защита при прямом прикосновении к токоведущим частям и земле (отключение осуществляет УЗО)

прикосновении к ТВЧ. Более того, дополнительная защита должна предотвращать смертельные поражения электрическим током и в том случае, когда защитный проводник оборван или неправильно присоединен, а также — при повреждении двойной изоляции. Защитное действие дополнительной защиты представлено на рис. 1.37–1.41.

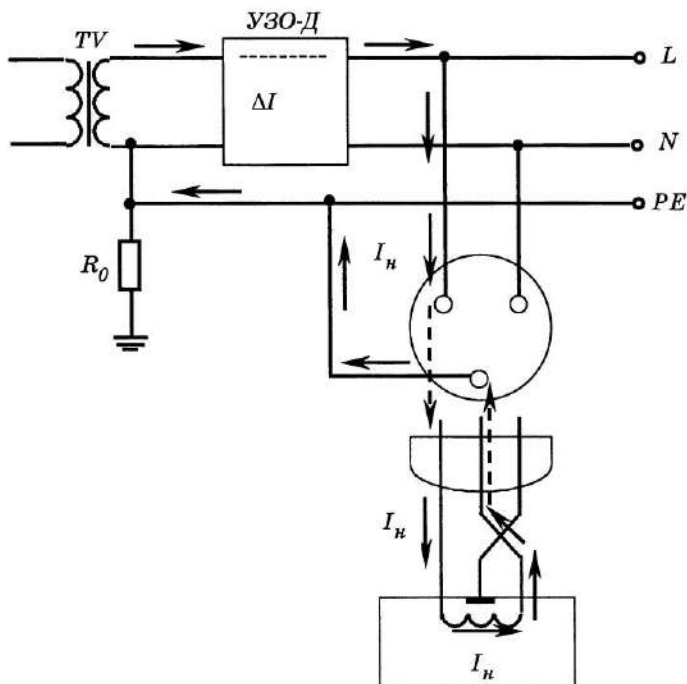


Рис. 1.39. Защита при ошибочном присоединении N- и PE-проводников (отключение осуществляет УЗО)



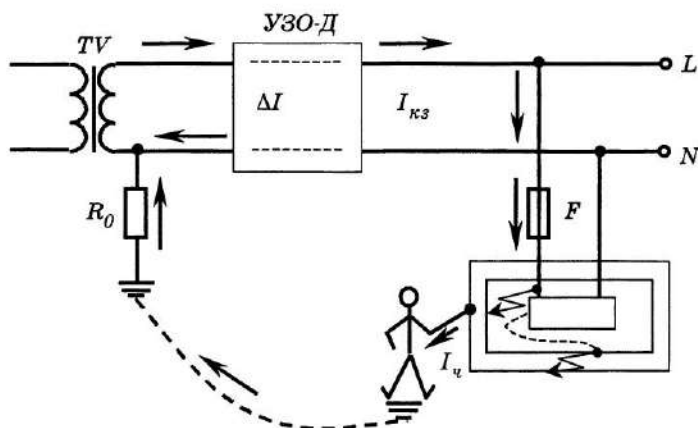


Рис. 1.40. Защита при повреждении изоляции в оборудовании класса II (отключение осуществляет УЗО)

В качестве дополнительной защиты при косвенном прикосновении может применяться дополнительная система уравнивания потенциалов.

В ЭУ напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью или заземленным выводом источника однофазного тока, а также с заземленной средней точкой в трехпроводных сетях постоянного тока, должно быть выполнено защитное зануление (система TN). Применение в таких ЭУ заземления корпусов электроприемников без их защитного зануления (система TT) не допускается.

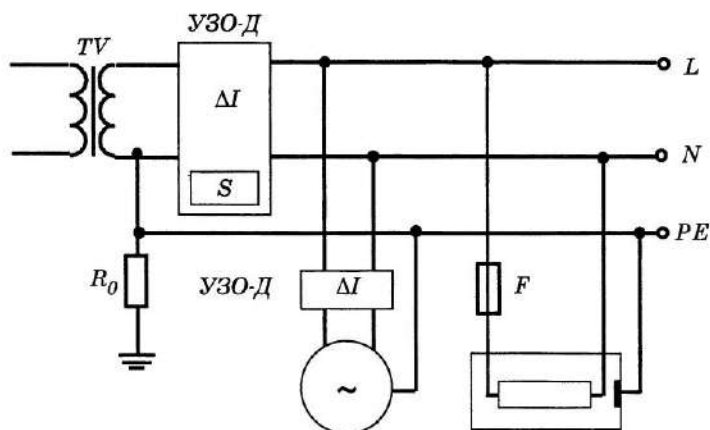


Рис. 1.41. Пример распределительной сети с заземленным выводом источника тока (система TN-S) с основной защитой при повреждении и дополнительной защитой

ЭУ напряжением до 1 кВ переменного тока с изолированной нейтралью или изолированным выводом источника однофазного тока (система IT), а также ЭУ постоянного тока с изолированной средней точкой следует применять при необходимости перерыва питания при первом замыкании на землю (для передвижных установок, торфяных разработок, шахт). Для таких ЭУ в качестве защитной меры должно быть выполнено заземление в сочетании с контролем сопротивления изоляции сети или защитное отключение.

В ЭУ напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью должно быть выполнено защитное заземление. В таких ЭУ должна быть предусмотрена возможность быстрого отыскания замыканий на землю. Защита от замыканий на землю должна устанавливаться с действием на отключение (по всей электрически связанной сети) в тех случаях, когда это необходимо по условиям ЭБ (для линий, питающих передвижные подстанции и механизмы, торфяные разработки и т. п.).

В ЭУ напряжением до 1 кВ устройство защитного отключения с номинальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, рекомендуется применять в качестве дополнительной меры защиты от поражения электрическим током при прямом прикосновении в нормальном режиме работы ЭУ в случае недостаточности одной меры защиты или отказа других. Применение таких устройств не может быть единственной мерой защиты и не исключает необходимость применения одной из мер основной защиты.


Устройства защитного отключения могут применяться только в качестве дополнительной меры защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме.

В электрических сетях систем заземления TN-S и TN-C-S устройство защитного отключения с номинальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, может быть применено в качестве основной защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении.

Трехфазная сеть до 1 кВ с изолированной нейтралью или однофазная сеть до 1 кВ с изолированным выводом (система заземления IT), связанная через трансформатор с сетью выше 1 кВ, должна быть защищена пробивным предохранителем от опасности, возникающей при повреждении изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений трансформатора. Пробивной предохранитель должен быть установлен в нейтрали или фазе на стороне низшего напряжения каждого трансформатора. При этом должен быть предусмотрен контроль за целостью пробивного предохранителя.

В ЭУ до 1 кВ для предотвращения появления опасного напряжения на доступных прикосновению частях ЭО при пробое изоляции может быть применено оборудование класса II или оборудование с равноценной изоляцией.

Защита обеспечивается применением:

— *оборудования указанных ниже типов*, выдержавшего контрольные испытания согласно соответствующим стандартам электрического оборудования с двойной или усиленной изоляцией (оборудование класса II) и блоков ЭО заводского изготовления со сплошной изоляцией; указанное оборудование должно обозначаться знаком ;

— *дополнительной изоляции*, наносимой при монтаже на ЭО, имеющее только основную изоляцию. Дополнительная изоляция должна обеспечивать ЭБ, равноценную безопасности оборудования класса II;

— *усиленной изоляции*, накладываемой на неизолированные ТВЧ во время монтажа ЭУ. Усиленная изоляция должна обеспечивать уровень ЭБ, равноценный уровню безопасности оборудования класса II. Такая изоляция применяется только там, где конструкция оборудования не позволяет применять двойную изоляцию.

ЭО, все проводящие части которого отделены от ТВЧ только основной изоляцией, перед пуском в эксплуатацию должно быть заключено в изолирующую оболочку, обеспечивающую степень защиты не ниже IP2X. Изолирующая оболочка должна быть устойчива к возможным электрическим, термическим и механическим нагрузкам. Лакокрасочные и другие покрытия не соответствуют этим требованиям. Оболочки, имеющие указанные покрытия, применяются, если это допускается соответствующими стандартами и если эти оболочки прошли контрольные испытания. Изолирующая оболочка оборудования не должна пересекаться с проводящими частями, способными выносить потенциал. К тому же, она не должна иметь винтов из изоляционного материала, замена которых на металлические винты могла бы вызвать снижение изоляции, обеспечиваемой этой оболочкой.

Если оболочка имеет дверцы или крышки, которые могут открываться без применения инструмента или ключа, все проводящие части, доступные при открытии дверцы или снятой крышке, должны быть защищены изоляционным ограждением, обеспечивающим степень защиты не ниже IP2X и препятствующим непреднамеренному прикосновению к этим частям. Такое ограждение должно сниматься только с помощью инструмента.

Открытые проводящие части, заключенные в изолирующую оболочку, не должны присоединяться к защитному проводнику. Однако могут быть обеспечены технические средства для присоединения защитных проводников, проходящих через оболочку для обслуживания других частей ЭО, питающая цепь которого также проходит через эту оболочку. Внутри оболочки такие проводники и их зажимы должны иметь изоляцию как у ТВЧ, а зажимы должны иметь соответствующую маркировку.

Открытые проводящие части не должны присоединяться к защитному проводнику, если это не предусмотрено техническими условиями на соответствующее оборудование.

В ЭУ до 1 кВ, где в качестве защитной меры применяется *электрическое разделение цепей (защитное разделение)*, номинальное напряжение электрически отделенной цепи не должно превышать 500 В.

Электрическое разделение цепей предназначено для предотвращения поражения электрическим током при прикосновении к открытым проводящим частям одной цепи, в случае возникновения короткого замыкания в другой цепи.

Защита посредством электрического разделения цепей обеспечивается соблюдением следующих требований.

1. Цепь должна получать питание от отдельного источника: разделяющего трансформатора или источника тока, обеспечивающего степень безопасности, равноценную степени безопасности разделяющего трансформатора.

2. Если источник питает несколько электроприемников, их ОПЧ не должны иметь электрической связи с металлической оболочкой источника питания.

3. ТВЧ электрически отделенной цепи не должны иметь точек присоединения к другой цепи или к земле.

4. Гибкие кабели и шнуры должны быть доступны для осмотра по всей длине на случай механических повреждений.

5. Для разделенных цепей рекомендуется использование отдельных трасс электропроводок. Если это невозможно, необходимо использовать в общей электропроводке для разделенных сетей кабели без металлических покрытий, изолированные проводники, проложенные в изоляционных трубах, коробах или каналах, при условии, что эти кабели и проводники рассчитаны на самое высокое напряжение, присутствующее в сети, и каждая цепь защищена от сверхтоков.

6. Если отдельная цепь питает только один ЭП, ОПЧ цепи не должны быть присоединены ни к защитному проводнику, ни к ОПЧ других цепей.

7. Если приняты меры для защиты отделенной цепи от повреждения и пробоя изоляции, то источник питания может питать несколько ЭП при условии выполнения следующих требований:

— ОПЧ отделенной цепи должны быть соединены между собой изолированным незаземленным проводником системы уравнивания потенциалов. Такие проводники не должны быть соединены ни с защитными проводниками, ни с ОПЧ других цепей, ни с СПЧ;

— все штепсельные розетки должны иметь защитный контакт, который должен быть присоединен к системе уравнивания потенциалов;

— все гибкие кабели, за исключением питающих оборудование класса II, должны иметь защитный проводник, применяемый в качестве проводника системы уравнивания потенциалов;

— при двойном замыкании разных фаз на две ОПЧ устройство защиты должно обеспечивать отключение питания за время, указанное в табл. 3.11.

В ЭУ для защиты от прямого прикосновения может быть применена *система БСНН или ЗСНН* при номинальном напряжении источника питания, не превышающем 50 В переменного тока или 120 В постоянного тока. В качестве источника питания могут быть использованы:

1) безопасный разделяющий трансформатор;

2) источник тока, который обеспечивает степень ЭБ, равноценную степени безопасности, обеспечиваемой безопасным разделяющим трансформатором;

3) электрохимический источник питания (гальванический элемент или аккумулятор) или другой независимый источник (например, «двигатель-генератор»);

4) электронные устройства, в которых предусмотрены меры, обеспечивающие, в случае внутреннего замыкания на корпус, ограничение превышения выходного напряжения выше значений БСНН.

Допускаются более высокие значения выходного напряжения, если в случае прямого или косвенного прикосновения напряжение на выходе уменьшается до безопасных значений.

ТВЧ цепей систем БСНН и ЗСНН должны быть электрически отделены друг от друга и от прочих цепей. Устрой-

ство цепей должно гарантировать электрическое разделение, по меньшей мере, равноценное разделению между цепями первичной и вторичной обмоток разделяющего трансформатора. Это требование не исключает присоединение цепи системы ЗСНН к заземляющему устройству.

Электрическое разделение, по меньшей мере, разделение между первичной и вторичной обмотками разделяющего трансформатора, необходимо между ТВЧ такого ЭО, как реле, контакторы, вспомогательные выключатели, и проводящей частью цепи более высокого напряжения.

Проводники цепей систем БСНН и ЗСНН должны отделяться от проводников любых других цепей. Если это невозможно, должно выполняться одно из следующих требований:

- проводники цепей систем БСНН и ЗСНН должны помещаться в неметаллическую оболочку в дополнение к своей основной изоляции;

- проводники цепей на различные напряжения должны разделяться заземленным металлическим экраном или заземленной металлической оболочкой.

Вилки и розетки для цепей систем БСНН и ЗСНН должны отвечать следующим требованиям:

- вилки одного напряжения не должны входить в штепсельные розетки других напряжений;

- штепсельные розетки не должны иметь защитного контакта.

ТВЧ цепей системы БСНН не должны присоединяться к заземлителю, ТВЧ и защитным проводникам, относящимся к другим цепям.

ОПЧ не должны преднамеренно присоединяться:

- к заземлителю;

- к защитным проводникам или ОПЧ другой цепи;

- к СПЧ, кроме случая, когда необходимо соединение с ЭО, но при этом сами части не могут оказаться под напряжением выше значений БСНН.

Если номинальное напряжение превышает 25 В переменного тока или 60 В выпрямленного тока, защита от прямого прикосновения должна обеспечиваться ограждениями или оболочками, обеспечивающими степень защиты, по меньшей мере, IPXXB, или изоляцией, выдерживающей испытательное напряжение 500 В переменного тока (действующее значение) в течение 1 мин.

Когда цепи системы ЗСНН заземлены и не требуется система БСНН, должны выполняться следующие требования.

1. Защита от прямого прикосновения должна осуществляться либо с помощью ограждений или оболочек, способных обеспечить степень защиты, по крайней мере, IPXXB, либо с помощью изоляции, выдерживающей испытательное напряжение 500 В переменного тока (действующее значение) в течение 1 мин.

2. Защита от прямого прикосновения не требуется, если ЭО находится в зоне действия системы уравнивания потенциалов и номинальное напряжение не превышает:

— 25 В переменного тока или 60 В выпрямленного тока при условии, что оборудование нормально эксплуатируется только в сухих помещениях и вероятность контакта человеческого тела с частями, которые по условиям работы могут оказаться под напряжением, невелика;

— 6 В переменного тока или 15 В выпрямленного тока во всех остальных случаях.

В случаях, когда по условиям эксплуатации (функционирования) для питания ЭУ используется напряжение, не превышающее 50 В переменного тока (действующее значение) или 120 В постоянного (выпрямленного) тока, и при этом требования, касающиеся применения систем БСНН и ЗСНН, не могут быть выполнены, или в их применении нет необходимости, используют дополнительные меры защиты, как от прямого, так и при косвенном прикосновении. Система этих мер определяется как *система ФСНН*.

Такие случаи могут иметь место, когда электрическая сеть содержит оборудование с недостаточной изоляцией относительно сети с более высоким напряжением (реле, дистанционные переключатели, контакторы и т. п.).

Защита от прямого прикосновения должна быть обеспечена ограждениями и оболочками или изоляцией, соответствующей минимальному испытательному напряжению, требуемому для первичной цепи.

Если изоляция не выдерживает указанного напряжения, она должна быть усилена в процессе монтажа ЭО так, чтобы выдерживать испытательное напряжение 1,5 кВ переменного тока (действующее значение) в течение 1 мин.

Защита при косвенном прикосновении должна быть обеспечена:

— соединением ОПЧ оборудования в цепи системы ФСНН с защитным проводником первичной цепи при условии, что последний защищен при помощи автоматического отключения питания;

— соединением ОПЧ оборудования в цепи системы ФСНН с проводником незаземленной системы уравнивания потенциалов первичной цепи, для которой защита осуществляется электрическим разделением.

При невозможности выполнения защитного заземления, защитного зануления и защитного отключения, удовлетворяющих нормативным требованиям, или если это представляет значительные трудности по технологическим причинам, допускается использование ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение ТВЧ вне зоны досягаемости, использование изолирующих (непроводящих) помещений и зон, а также обслуживание ЭО с изолирующих площадок.

*Ограждения и оболочки* предназначены для предотвращения любого прикосновения к токоведущим частям ЭУ.

ТВЧ должны располагаться в оболочках или за ограждениями, предусматривающими степень защиты IP2X, кроме случаев, когда большие зазоры согласно требованиям к оборудованию необходимы для нормальной работы оборудования. Если такие зазоры возникают во время перемещения частей установки (определенного вида электрические патроны, разъемы или плавкие вставки), то в таких случаях должны быть приняты соответствующие меры предосторожности для предотвращения непреднамеренного прикосновения к ТВЧ, и электроустановка должна обслуживаться специально обученным персоналом.

Ограждения и оболочки должны быть надежно закреплены и иметь достаточную прочность и долговечность. Если необходимо снять ограждение или вскрыть оболочку или ее части, это может быть сделано только в следующих случаях:

- с помощью ключа или специального инструмента;
- после обесточивания ТВЧ, защищенных этими ограждениями или оболочками;
- при наличии промежуточных барьеров, обеспечивающих степень защиты, по крайней мере, IP2X, которые могут быть сняты также только при применении специального ключа или инструмента.

*Барьеры* предназначаются для предотвращения случайного прикосновения к ТВЧ, но не исключают прикосновения при обходе барьера.

Барьер должен препятствовать непреднамеренному приближению к ТВЧ или непреднамеренному прикосновению к ТВЧ при эксплуатации ЭО.



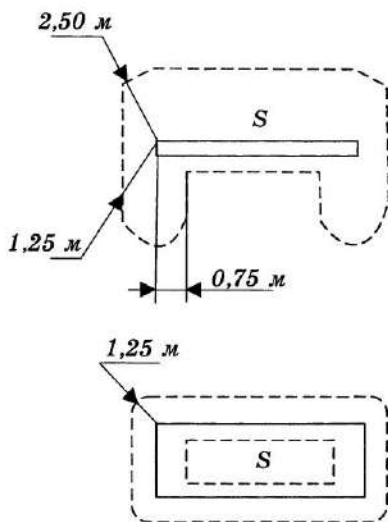


Рис. 1.42. Зона досягаемости:

--- — граница зоны досягаемости;  
*S* — поверхность, на которой находится человек при эксплуатации ЭУ;  
 0,75; 1,25; 2,50 м — расстояния от края поверхности *S* до границы зоны досягаемости ТВЧ, находящихся под напряжением

чено горизонтальным препятствием (например, поручнем, сеткой), обеспечивающим степень защиты не менее IP2X, то зона досягаемости начинается с этого препятствия. По вертикали зона досягаемости составляет 2,5 м от поверхности, на которой находится персонал. Габариты зоны досягаемости предполагают невозможность непосредственного прикосновения голыми руками к ТВЧ без вспомогательных приспособлений (например, инструмента или лестницы). Указанные расстояния должны быть увеличены с учетом габаритов используемых предметов (бóльших размеров или бóльшего объема), которые обычно переносят через эту зону.

Обслуживание ЭО с *изолирующих площадок*, а также использование изолирующих (непроводящих) помещений и зон имеет целью предотвратить одновременное прикосновение к частям, оказавшимся под разными потенциалами в случае повреждения основной изоляции ТВЧ.

Допускается использование оборудования класса 0 при условии соблюдения следующих требований.

Расположение ОПЧ при обычных условиях не должно допускать одновременного касания:

Барьеры могут быть съемными, т. е. снимающимися без применения ключа или инструмента, но они должны быть закреплены таким образом, чтобы их нельзя было снять непреднамеренно.

*Защита путем размещения вне зоны досягаемости на недоступной высоте* предназначена для предотвращения непреднамеренных прикосновений к ТВЧ.

Части ЭУ с разными потенциалами, доступные одновременно прикосновению, не должны находиться внутри зоны досягаемости. Две части считаются доступными одновременно прикосновению, если они находятся на расстоянии не более 2,5 м друг от друга (рис. 1.42).

Если пространство, где обычно находится персонал, ограни-

- двух электрически не связанных ОПЧ;
- ОПЧ и любой СПЧ, если эти части окажутся под разными потенциалами при повреждении основной изоляции ТВЧ.

В *изолирующих помещениях (зонах)* не должен предусматриваться защитный проводник. Требования считаются выполненными, если пол и стены помещения являются изолирующими и выполняется хотя бы одно из условий:

а) ОПЧ и СПЧ, а также ОПЧ одной ЭУ и ОПЧ другой ЭУ друг от друга удалены. Удаление считается достаточным, если расстояние между двумя частями не менее 2 м; за пределами зоны досягаемости это расстояние может быть уменьшено до 1,25 м;

б) установлены эффективные барьеры между ОПЧ и СПЧ. Барьеры считаются эффективными, если они увеличивают расстояния до значений, указанных выше. Барьеры не должны подключаться к земле или к ОПЧ и по возможности должны изготавливаться из изоляционного материала;

г) СПЧ изолированы при помощи изоляции, которая должна обладать достаточной механической прочностью и выдерживать испытательное напряжение не ниже 2000 В переменного тока (действующее значение) в течение 1 мин. В нормальных условиях ток утечки не должен превышать 1 мА.

Сопротивление изолирующего пола и стен, измеренное в каждой точке, должно быть не ниже:

- 50 кОм при номинальном напряжении ЭУ не выше 500 В;
- 100 кОм при номинальном напряжении ЭУ выше 500 В.

Если сопротивление в какой-либо точке меньше указанного значения, то стены и пол должны рассматриваться как СПЧ. Необходимо, чтобы принятые меры были долговременными и обеспечивали защиту во всех случаях, предусматривающих применение передвижного или переносного ЭО.

Следует принять во внимание опасность последующего ввода в изолирующее помещение СПЧ (например, переносного или передвижного оборудования класса I, металлических водопроводных труб и т. п.), способных нарушить созданные условия. Изоляция пола и стен таких помещений не должна подвергаться воздействию влаги, кроме того, должны быть приняты меры, предотвращающие внесение потенциала в изолирующее помещение.

Проводя оптимизацию защиты от поражения электрическим током, предполагаем, что в жилых, общественных и производственных зданиях и сооружениях нормальные условия окружающей среды. Оптимальная защита достигается применением необходимых и достаточных мер защиты с учетом особенностей ЭУ (см. рис. 1.36).

Оптимальная система защиты для сетей с номинальным напряжением 220/400 В достигается при использовании защитного зануления (система заземления TN). Это объясняется следующими обстоятельствами.

1. Потенциал доступных прикосновению проводящих частей (ОПЧ и СПЧ) при повреждении изоляции значительно ниже напряжения сети по отношению к земле вследствие относительно низкого сопротивления цепи обратного тока, роль которой выполняет РЕ- или PEN-проводник.

2. Вероятность отключения ЭУ при повреждении ее изоляции с помощью устройств защиты от сверхтока достаточно высока.

3. Система защиты применима и к сетям с высокими номинальными токами.

4. Система заземления ЭС типа TN обеспечивает удобство питания ЭУ при одновременном обеспечении экономичности.

5. Система заземления ЭС типа TN снижает воздействие перенапряжений, вызываемых переходом напряжения с высокой стороны на низкую, а также снижает до минимума последствия коммутационных и атмосферных перенапряжений.

Если эта система защиты укомплектовывается дополнительной защитой в виде УЗО-Д, то оптимальный уровень безопасности обеспечен (см. рис. 1.37–1.40).

Такая система обеспечивает защиту от поражения электрическим током, перенапряжений и возгораний, вызываемых повреждением изоляции, при возможных нежелательных отключениях.

Уставки УЗО-Д по дифференциальному (разностному) току выбираются на основе предельно допустимых физиологических воздействий и с учетом ожидаемых в защищаемой цепи токов утечки в нормальных режимах.

Устройства с более высоким значением тока уставки могут быть использованы там, где фазное напряжение выше

и где влияние дополнительных сопротивлений, включенных в цепь последовательно с сопротивлением тела человека, как правило, невелико. В большинстве случаев повреждения изоляции дифференциальный ток обеспечивает срабатывание устройств защитного отключения с током уставки не более 30 мА.

Необходимо учитывать, что УЗО-Д независимо от величины уставки не ограничивают значение дифференциального тока, пока их контакты замкнуты. Значение дифференциального тока ограничивается только сопротивлением петли замыкания, основную часть которого составляет сопротивление тела человека.

На рис. 1.41 представлен пример использования основной защиты, защиты при повреждении и дополнительной защиты. Основная защита выполнена в виде двойной изоляции подсоединенного ЭО, которая предотвращает прямое прикосновение к опасным ТВЧ. Защита при повреждении изоляции обеспечивается в виде системы TN-S с устройством защиты от сверхтока (предохранитель  $F$ ).

Дополнительная защита выполняется в виде устройств защитного отключения. Если заземляющие проводники оборваны или повреждены, УЗО защитят персонал от действия электрического тока при повреждении изоляции, а также при прямом контакте с опасными ТВЧ.

Для систем с напряжением по отношению к земле более 150 В защита при повреждении изоляции обязательна. При напряжении прикосновения выше 150 В ток, проходящий через тело человека, определяется сопротивлением внутренних органов человека и практически не зависит от площади контакта.

При напряжении 150 В сопротивление кожи практически не оказывает заметного влияния на общее сопротивление тела человека. В этом случае защитный заземляющий проводник (РЕ-проводник) необходимо применять в элементах ЭС, и должно применяться оборудование только класса I или класса II. В некоторых специальных помещениях с особо опасными условиями эксплуатации может быть использовано оборудование класса III (защита посредством безопасного сверхнизкого напряжения).

Штепсельные розетки без заземляющих контактов широко распространены в старых ЭУ, и новые требования на них не распространяются.

Переносное оборудование может быть класса 0, хотя часто используется и класс II. Оболочка оборудования класса 0

часто выполняется из изоляционного материала, что повышает его ЭБ.

Классы ЭО по электробезопасности:

1) оборудование класса I определяется как ЭО, имеющее основную изоляцию и снабженное контактом для присоединения нулевого защитного РЕ-проводника к ОПЧ;

2) оборудование класса II обеспечивается двойной изоляцией, содержащей основную и дополнительную изоляции, или усиленной изоляцией;

3) оборудование класса III определяется как оборудование, в котором защита от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции обеспечивается питанием от сети БСНН, которая имеет основную изоляцию для защиты ТВЧ;

4) оборудование класса 0 имеет единственную изоляцию, к его ОПЧ (корпусам) не предусмотрено подключение нулевого защитного проводника.

В заключение следует отметить, что ни одна защитная мера не может быть эффективной, если при сооружении ЭУ не выполнены необходимые требования.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗАЩИТНОМУ ЗАЗЕМЛЕНИЮ И ЗАЩИТНОМУ ЗАНУЛЕНИЮ

---

### 2.1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАЩИТНОГО ЗАНУЛЕНИЯ

---

В общем случае заземлением называется преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети ЭУ или оборудования с ЗУ.

*Защитным заземлением* называется заземление, выполненное с целью обеспечения ЭБ (рис. 2.1).

*Рабочим заземлением* называется заземление какой-либо точки или точек токоведущих частей ЭУ, выполняемое для обеспечения работы ЭУ (не в целях ЭБ), например, глухое заземление нейтрали или вывода источника (рис. 2.2). Рабочее заземление должно быть выполнено таким образом, чтобы обеспечивалась нормальная работа ЭУ в режимах, предусмотренных эксплуатационной документацией ЭУ (также см. ГОСТ Р 50571.10–96).

*Защитным занулением в ЭУ напряжением до 1 кВ* называется преднамеренное соединение ОПЧ с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях ЭБ (рис. 2.3).

В ЭУ до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью или глухозаземленным выводом источника однофазного тока для защиты людей от поражения током при замыкании на корпус должно быть выполнено защитное зануление (см. рис. 2.3).

В этом случае при замыкании на металлический корпус ЭУ возникает цепь протекания тока короткого замыкания  $I_{кз}$ , который вызывает срабатывание защиты и отключение аварийной ЭУ от питающей сети. Применение в ЭУ до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью (система TN) или глухозаземленным выводом источника однофазного тока заземления корпусов электроприемников (ЭП) без их защитного зануления не допускается.

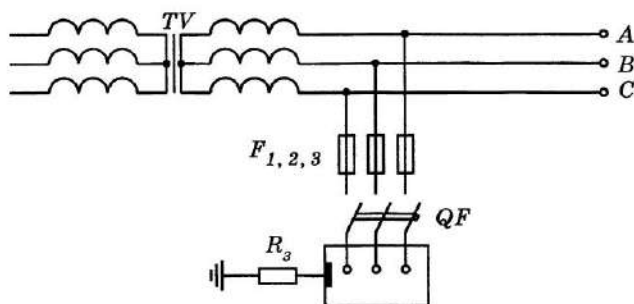


Рис. 2.1. Защитное заземление:  
 $QF$  — автоматический выключатель

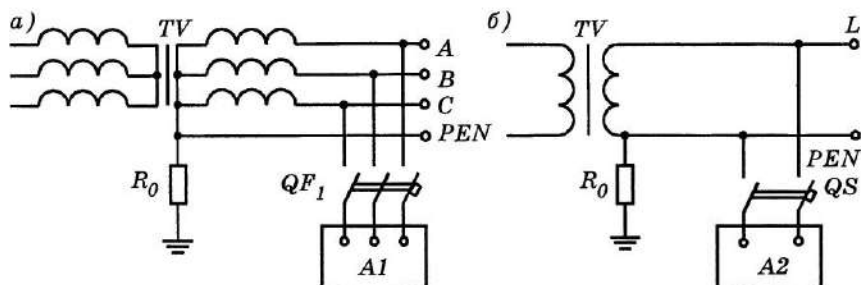


Рис. 2.2. Электроустановки в заземленных электрических сетях:  $a$  — в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью;  $b$  — в однофазной сети с глухозаземленным выводом источника тока (трансформатора):

$QF_1$  — выключатель с автоматическим возвратом контактов (автомат защиты);  
 $QS$  — выключатель без автоматического возврата контактов (разъединитель)

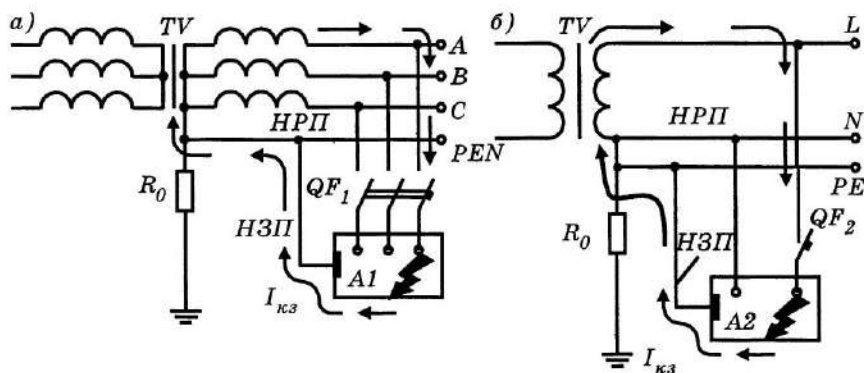


Рис. 2.3. Защитное зануление:  $a$  — в трехфазной электрической сети с глухозаземленной нейтралью;  $b$  — в однофазной электрической сети с глухозаземленным выводом трансформатора:

$НРП$  — нулевой рабочий проводник;  $НЗП$  — нулевой защитный проводник;  $I_{кз}$  — ток короткого замыкания

Действительно, если в этих сетях корпус ЭУ заземлить без его защитного зануления (рис. 2.4), то в аварийной ситуации на заземленном корпусе возникает опасное для человека напряжение относительно земли  $U_3 = I_3 R_3$ . Если принять, что  $R_0 = R_3 = R$ , то  $U_3$  может достигать половины фазного напряжения сети:

$$U_3 = I_3 R_3 = \frac{U_\Phi}{R_3 + R_0} R_3 = \frac{U_\Phi}{R + R} R = \frac{U_\Phi}{2}.$$

Более того, поскольку в заземленных электрических сетях до 1 кВ (система заземления TN) обязательно должно быть выполнено защитное зануление корпусов электроприемников, то заземление корпуса одного из них без защитного зануления может привести к тому, что в аварийном режиме зануленные корпуса остальных ЭУ, питающихся от данного источника, могут оказаться под опасным напряжением  $U_0$  (рис. 2.5). Действительно, на нейтрали источника от тока замыкания  $I_3$  возникает падение напряжения

$$U_0 = I_3 R_0 = \frac{U_\Phi R_0}{(R_3 + R_0)}.$$

Если  $R_0 = R_3 = R$ , то нейтраль источника, а с ней и корпуса всех зануленных ЭУ окажутся под напряжением  $\frac{U_\Phi}{2}$ .

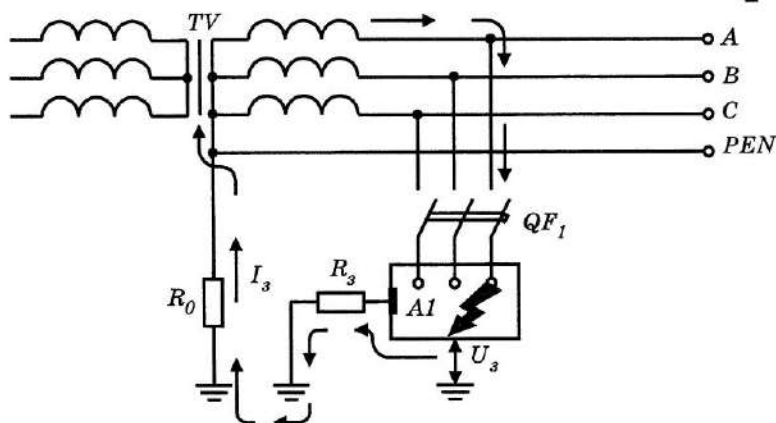


Рис. 2.4. Защитное заземление в заземленных электрических сетях



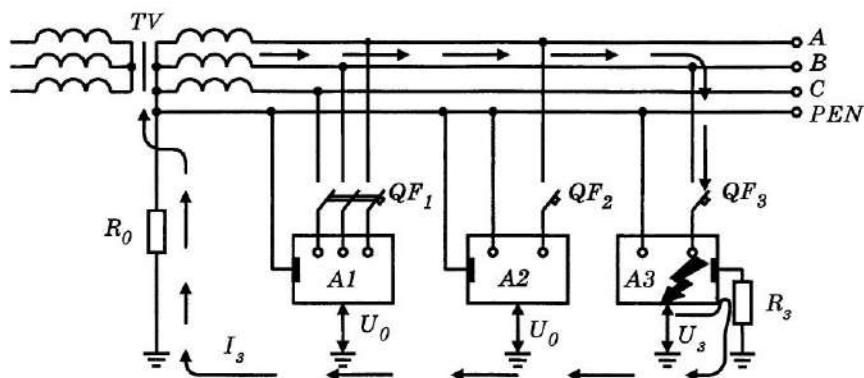


Рис. 2.5. Заземление корпуса (ОПЧ) электроустановки без его защитного зануления в заземленных электрических сетях

Таким образом, в заземленных электрических сетях до 1 кВ (система заземления TN) запрещается применять защитное заземление в качестве единственной меры защиты от замыкания тока на корпус (ОПЧ) ЭУ, но разрешается использовать его в качестве дополнения к защитному занулению (рис. 2.6).

Защитное заземление или защитное зануление ОПЧ электроустановок следует выполнять:

- 1) при номинальном напряжении выше 50 В переменного тока и выше 120 В постоянного тока — во всех ЭУ;
- 2) при номинальных напряжениях выше 25 В, но ниже 50 В переменного тока и выше 60 В, но ниже 120 В постоянного тока — только в помещениях с повышенной опас-

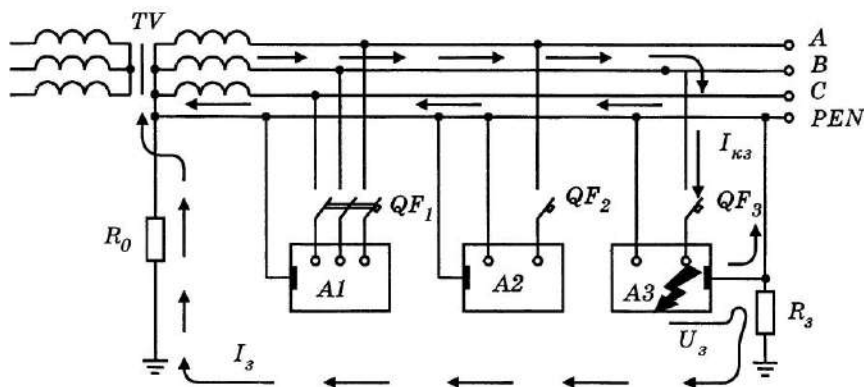


Рис. 2.6. Защитное зануление в сочетании с защитным заземлением в заземленных электрических сетях

ностью, особо опасных помещениях и в наружных установках.

Защитное заземление или защитное зануление ОПЧ электроустановок не требуется при номинальных напряжениях до 25 В переменного тока и до 60 В постоянного тока во всех случаях, за исключением металлических оболочек и брони контрольных и силовых кабелей, а также проводов напряжением до 25 В переменного тока и до 60 В постоянного тока, проложенных на общих металлических конструкциях, в том числе в общих трубах, коробах, лотках и т. п., вместе с кабелями и проводами, металлические оболочки и броня которых заземлены или занулены.

Во взрывоопасных зонах любого класса обязательным является заземление (зануление) корпусов ЭУ при всех напряжениях переменного и постоянного тока, в том числе ЭО, установленного на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, кроме ЭО, установленного внутри заземленных (зануленных) корпусов шкафов и пультов.

В ЭУ до 1 кВ с заземленной нейтралью или заземленным выводом источника однофазного тока, а также с заземленной средней точкой в трехпроводных сетях постоянного тока обязательно должно выполняться защитное зануление (система заземления ЭС типа TN). Применение в таких ЭУ заземления корпусов электроприемников без их защитного зануления (система заземления TT) не допускается.

ЭУ до 1 кВ переменного тока с изолированной нейтралью или изолированным выводом источника однофазного тока (система IT), а также ЭУ постоянного тока с изолированной средней точкой, следует применять при недопустимости перерыва питания при первом замыкании на землю (для передвижных ЭУ, торфяных разработок, шахт и т. д.). Для таких ЭУ в качестве защитной меры должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или защитное отключение.

При невозможности выполнения защитного заземления, защитного зануления и защитного отключения допускается обслуживание ЭУ с изолирующих площадок. Изолирующие площадки должны быть выполнены как эксплуатационные площадки таким образом и таких размеров, чтобы прикосновение к представляющим опасность частям ЭУ возможно было только с площадок.

---

## 2.2. ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ И ИХ ЧАСТИ, ПОДЛЕЖАЩИЕ ЗАЩИТНОМУ ЗАЗЕМЛЕНИЮ И ЗАЩИТНОМУ ЗАНУЛЕНИЮ

---

Доступные прикосновению ОПЧ должны быть заземлены или занулены путем присоединения к защитному проводнику в соответствии с особенностями ЭС и типами их систем заземления (см. п. 1.3).

К частям, подлежащим защитному заземлению или защитному занулению согласно п. 2.1, относятся:

1) корпуса электрических машин, трансформаторов, электрических аппаратов, светильников и других ЭУ;

2) приводы электрических аппаратов;

3) металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей и проводов на напряжения, не превышающие: 50 В переменного и 120 В постоянного тока — во всех случаях; 25 В переменного и 60 В постоянного тока — в помещениях с повышенной опасностью; 12 В переменного и 30 В постоянного тока — в особо опасных помещениях;

4) каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков освещения и силовых шкафов, а также съемные или открывающиеся части, если на последних установлено ЭО напряжением выше 50 В переменного тока или более 120 В постоянного тока, если в помещениях с ЭУ присутствуют условия, создающие повышенную опасность, то выше 25 В переменного и 60 В постоянного тока;

5) металлические конструкции РУ, металлические кабельные конструкции, металлические кабельные соединительные муфты, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, металлические оболочки проводов, металлические рукава и трубы электропроводки, кожухи и опорные конструкции шинопроводов, лотки, короба, струны, тросы и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с заземленной или зануленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается ЭО;

6) металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;

7) ЭО, установленное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

С целью уравнивания потенциалов в тех помещениях и наружных ЭУ, в которых применяется защитное заземление или защитное зануление, строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования, подкрановые и железнодорожные рельсовые пути обязательно должны быть присоединены к магистрали заземления или зануления.

Не требуется преднамеренного защитного заземления или защитного зануления следующего ЭО:

1) корпусов ЭО, электрических аппаратов и электромонтажных конструкций, установленных на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, РУ, на щитах, шкафах, станинах станков, машин и механизмов, при условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными или зануленными основаниями (исключение составляет заземление ЭУ во взрывоопасных зонах);

2) конструкций, перечисленных выше в п. 5, при условии надежного электрического контакта между этими конструкциями и установленными на них заземленными и зануленными ЭУ; при этом указанные конструкции не могут быть использованы для защитного заземления или защитного зануления установленных на них других ЭУ;

3) арматуры изоляторов всех типов, оттяжек, кронштейнов и осветительной арматуры при установке их на деревянных опорах ВЛЭП или на деревянных конструкциях открытых ТП, если это не требуется по условиям защиты от атмосферных перенапряжений. При прокладке по деревянной опоре кабеля с металлической заземленной оболочкой или неизолированного заземляющего проводника перечисленные части, расположенные на опоре, должны быть заземлены или занулены;

4) съемных или открывающихся частей металлических каркасов камер РУ, шкафов, ограждений, если на них не установлено электрооборудование или если напряжение установленного ЭО не превышает 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока (исключение составляет заземление ЭУ во взрывоопасных зонах);

5) корпусов электроприемников с двойной изоляцией;

6) металлических скоб, креплений, отрезков труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия и других подобных деталей (в том числе протяжных и ответвительных коробок размером до 100 см<sup>2</sup>) электропроводок, выполняемых кабелями или изолированными проводами, прокладываемыми по стенам и другим элементам строений.

## Защитное заземление и защитное зануление электроустановок во взрывоопасных зонах

Во взрывоопасных зонах любого класса должны быть заземлены (занулены) ЭУ при всех напряжениях переменного и постоянного тока, в том числе ЭО, установленное на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, кроме ЭО, установленного внутри заземленных (зануленных) корпусов шкафов и пультов. Классификация взрывоопасных зон представлена в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1

Классификация взрывоопасных зон

N п/п	Класс зоны	Характеристика зоны
1	В-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например, при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранения и переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.
2	В-Ia	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а образование таких смесей возможно только в результате аварий или неисправностей.
3	В-Iб	<p>Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а образование таких смесей возможно только в результате аварий или неисправностей. Эти зоны отличаются одной из следующих особенностей:</p> <p>1) горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005-76, например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок;</p> <p>2) производственные помещения, связанные с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения.</p> <p>Взрывоопасная зона условно принимается от отметки, равной 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей).</p>

№ п/п	Класс зоны	Характеристика зоны
3	В-Иб	Это положение не распространяется на электромашинные помещения с турбогенераторами с водородным охлаждением при условии обеспечения электромашинного помещения естественной вытяжной вентиляцией; эти электромашинные помещения имеют нормальную среду.
4	В-Иг	Пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, за исключением наружных аммиачных компрессорных установок, надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.
5	В-И	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы.
6	В-Иа	Зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, свойственные зонам класса В-И, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей

Во взрывоопасных зонах любого класса следует выполнять комплексное защитное устройство с целью заземления, уравнивания потенциалов, защиты от вторичных проявлений молнии, а также от статического электричества. Комплексное защитное устройство должно состоять из двух частей объединенных вместе заземлителей молниезащиты (кроме заземлителей отдельно стоящих молниеотводов для зданий и сооружений) и заземлителей ЭУ, комплексной магистрали и защитных проводников.

Комплексное защитное устройство должно быть выполнено таким образом или при его эксплуатации должны быть приняты такие меры, чтобы при демонтаже любого его участка или защищаемого элемента конструкции, оборудования, трубопровода и т. п. защита остальных элементов здания, помещения, сооружения, установки не нарушалась.

Комплексная магистраль в двух или более различных местах по возможности с противоположных концов помещения или установки должна быть присоединена к заземлителю (заземлителям), а при наличии ЭУ до 1 кВ с заземленной нейтралью (система заземления ТТ и TN), кроме того, еще и занулена. В защищаемом помещении, здании, сооружении, установке металлические конструкции, подкрановые

и рельсовые пути, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические и футерованные корпуса технологического и санитарного оборудования, корпуса ЭО, в том числе зануленного нулевым защитным проводником, должны быть присоединены к комплексной магистрали при помощи защитных проводников.

В ЭУ в сетях с изолированной нейтралью при заземлении корпусов ЭО присоединением к комплексной магистрали допускается прокладывать защитные проводники как в общих оболочках с фазными, так и отдельно от них.

Проходы участков комплексной магистрали и защитных проводников через ограждающие взрывоопасные зоны конструкции (стены, перегородки, перекрытия) следует выполнять в отрезках труб или в проемах. Места проходов должны быть уплотнены материалом из негорючего состава на всю глубину прохода. Проходы заземляющих проводников сквозь фундаменты должны быть выполнены в трубах или иных жестких обрамлениях с уплотнением мест прохода.

Соединенные секции лотков, коробок, профилей, кабельных блоков и прогонов, стальных труб электропроводок, а также струны, тросы, полосы и т. п., служащие для прокладки кабелей и проводов и (или) защиты их от механических повреждений, должны образовывать непрерывную электрическую цепь присоединением к комплексной магистрали неких корпусов электрических плит, кондиционеров, водонагревателей и переносных бытовых электрических приборов, а также металлических труб и коробов электропроводок.

Для защитного зануления корпусов стационарных однофазных электрических плит, кипятильников, бытовых кондиционеров, электрополотенец и т. п., а также переносных бытовых приборов, необходимо проложить от группового этажного или квартирного щитка отдельный проводник сечением, равным сечению фазного проводника. Этот проводник следует присоединить к РЕ-шине питающей сети до счетчика (со стороны ввода) и до отключающего аппарата, если он установлен.

Защитное зануление корпусов трехфазных электрических плит следует осуществлять самостоятельным проводником, начиная от группового щитка (распределительного пункта). Использование PEN-проводника для защитного зануления трехфазной электроплиты запрещается.

В жилых и общественных зданиях в помещениях без повышенной опасности металлические корпуса стационарно

установленного осветительного оборудования занулять не требуется.

В общественных зданиях штепсельные розетки для подключения переносных и передвижных электроприемников должны иметь защитные контакты, подключенные к РЕ-, PEN-проводникам ЭС системы заземления TN. Для защитных контактов, расположенных вблизи одна от другой штепсельных розеток 25 и 10 А, устанавливаемых в кухнях жилых домов, общежитий и т. п., необходимо прокладывать один заземляющий провод от группового квартирного или этажного щитка. Все стационарные и переносные электроприемники, не имеющие двойной изоляции, стальные трубы электропроводок, металлические корпуса щитов, щитков, электрошкафов и т. п. должны иметь защитное зануление (заземление).

В жилых зданиях и помещениях заземлению (занулению) подлежат металлические корпуса ЭО и части электропроводок, проложенных в этих помещениях.

В помещениях с подвесными потолками, имеющими металлические конструкции и детали, следует занулять металлические корпуса светильников, встраиваемых в подвесные потолки или устанавливаемых за потолками.

В ваннных комнатах жилых и общественных зданий, в банях, больницах, лечебных учреждениях и т. п. металлические корпуса ванн, а в душевых — поддоны должны быть соединены металлическими проводниками с трубами водопровода для уравнивания электрических потенциалов.

---

### 2.3. ВИДЫ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

---

В зависимости от требований, предъявляемых к ЭУ, заземляющие устройства могут быть *объединенными (совмещенными)* или *раздельными*.

Допускается совмещать ЗУ рабочего, обеспечивающего нормальную работу ЭУ, и защитного заземлений. В этом случае, когда заземление требуется как для защиты, так и для нормальной работы ЭУ, в первую очередь следует соблюдать требования, предъявляемые к заземлению, обеспечивающему защиту.



В ЭС системы заземления TN для стационарно проложенных кабелей, имеющих площадь поперечного сечения не менее  $10 \text{ мм}^2$  по меди или  $16 \text{ мм}^2$  по алюминию, единственная жила может использоваться в качестве PEN-проводника при условии, что рассматриваемая часть ЭУ не защищена устройствами защитного отключения, реагирующими на дифференциальный ток.

Во избежание блуждающих токов изоляция PEN-проводника должна быть рассчитана на самое высокое напряжение, которое может быть к нему приложено. PEN-проводник не требуется изолировать внутри комплектных устройств управления и распределения электроэнергии.

В случаях, когда, начиная с какой-либо точки ЭУ, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, запрещается объединять эти проводники за этой точкой по ходу энергии.

В месте разделения необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины нулевого рабочего и защитного проводников. PEN-проводник должен подключаться к зажиму, предназначенному для защитного проводника.

Раздельные заземляющие устройства обеспечивают только три функции:

- 1) защиту от поражения электрическим током;
- 2) нормальную работу ЭУ;
- 3) молниезащиту зданий, сооружений, ЭУ и т. п.

Кроме того, по расположению заземлителей относительно заземленных корпусов, заземляющие устройства подразделяют на *выносные* и *контурные*.

*Выносное заземляющее устройство* показано на рис. 2.7. Заземлители располагаются на некотором удалении от заземляемого оборудования. Поэтому заземленные корпуса находятся вне поля растекания тока в земле, и человек, касаясь корпуса, оказывается под полным напряжением относительно земли, если не учитывать коэффициент  $\alpha_2$ ,  $U_{\text{пр}} = U_3$ .

Так как  $\alpha_1 = 1$ , ток, проходящий через человека,

$$I_q = I_3 R_3 / R_q.$$

Выносное заземление выполняет защитную функцию только за счет малого сопротивления заземляющего устройства.

*Заземляющим устройством* называют совокупность заземлителей (электродов) и заземляющих проводников (см. рис. 2.7).

*Заземлителем* называется проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находя-

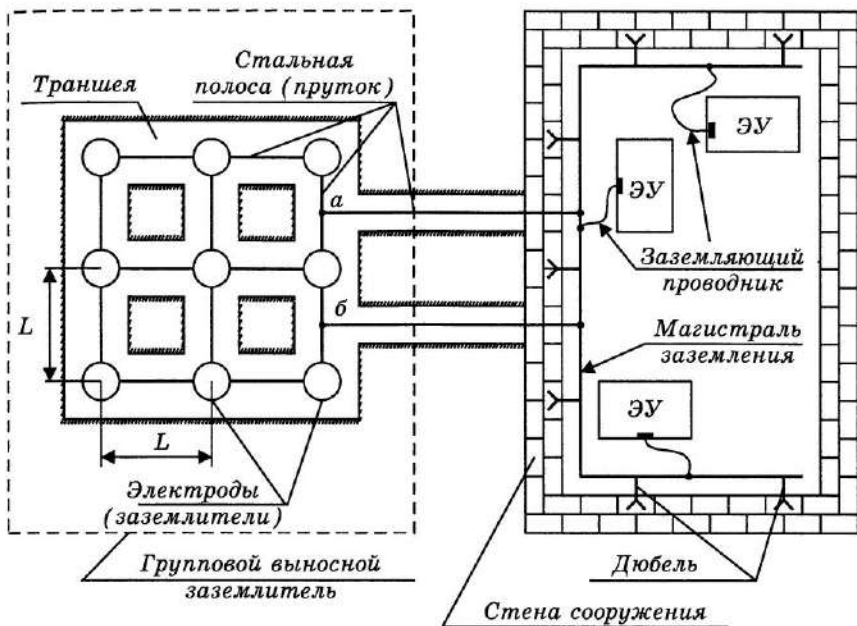


Рис. 2.7. Заземляющее устройство сооружения с групповым выносным заземлителем

щихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду (см. рис. 2.7).

*Заземляющим проводником* называется проводник, соединяющий заземляемую часть ЭУ (точку) с заземлителем (рис. 2.7).

*Магистралью заземления* или *зануления* называется, соответственно, заземляющий (см. рис. 2.7) или нулевой защитный проводник (рис. 2.8) с двумя или более ответвлениями.

*Нулевым рабочим (нейтральным) проводником* (НРП — *N*) называется проводник в ЭУ до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока (см. рис. 2.2), с глухозаземленным выводом источника однофазного тока (см. рис. 2.8), с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

*Нулевым защитным проводником* называется защитный проводник в ЭУ до 1 кВ, предназначенный для присоединения ОПЧ ЭУ к глухозаземленной нейтрали источника питания в сетях трехфазного тока (см. рис. 2.2) или

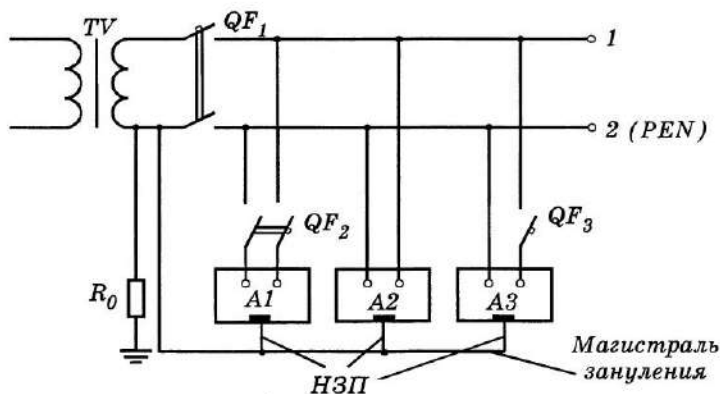


Рис. 2.8. Защитное зануление электроустановок в однофазной электрической сети

к глухозаземленному выводу источника однофазного тока (рис. 2.8).

*Контурное заземляющее устройство* показано на рис. 2.9.

Заземлители располагаются по контуру вокруг заземляемого оборудования на небольшом (несколько метров) расстоянии друг от друга. Поля растекания токов заземлителей частично перекрываются, и любая точка поверхности грунта внутри контура имеет значительный потенциал.

Вследствие этого разность потенциалов между точками, находящимися внутри контура, снижена и коэффициент прикосновения  $\alpha_1$  намного меньше единицы.

Коэффициент напряжения шага также меньше максимально возможного значения. Ток, проходящий через чело-

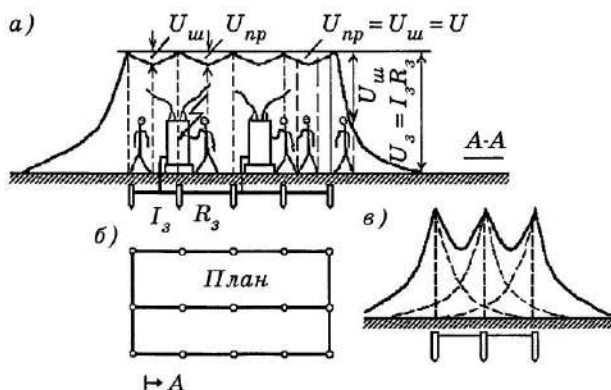


Рис. 2.9. Контурное заземляющее устройство: а — разрез; б — план; в — распределение потенциалов

века, касающегося корпуса, меньше, чем при выносном заземлении.

Иногда при выполнении контурного заземления внутри контура прокладывают горизонтальные полосы, которые дополнительно выравнивают потенциалы (рис. 2.10).

Заземляющие устройства должны быть выбраны и смонтированы таким образом, чтобы удовлетворять следующим требованиям.

1. Значение сопротивления стеканию тока с ЗУ должно соответствовать требованиям защиты и работы установки в течение определенного периода (времени) ее эксплуатации.

2. Протекание токов замыкания на землю и токов утечки не должно создавать опасности в отношении нагрева, термической и динамической стойкости.

3. Применяемые в ЭУ заземляющие устройства по своим нормированным, гарантированным и расчетным характеристикам должны соответствовать условиям работы данной ЭУ.

4. Заземляющее устройство ЭУ и связанные с ним конструкции должны быть стойкими в отношении воздействия окружающей среды или защищены от этого воздействия, а также должны иметь дополнительную механическую защиту по ГОСТ 30331.2, ГОСТ 50571.2-92.

5. Строительная часть ЭУ (конструкций зданий и сооружений и их элементов) должна выполняться в соответствии с действующими Строительными нормами и правилами (СНиП) Госстроя РФ при обязательном выполнении дополнительных требований, которые будут приведены далее.

6. Заземляющее устройство ЭУ должно удовлетворять требованиям действующих директивных документов о запрещении загрязнения окружающей среды вредным или мешающим влиянием электрических полей.

7. Проектирование и выбор схем, компоновок и конструкций заземляющего устройства ЭУ должны производиться на основе технико-экономических сравнений, применения простых и надежных схем, внедрения новейшей техники, с учетом опыта эксплуатации, наименьшего расхода цветного металла и других дефицитных материалов, оборудования и т. п.

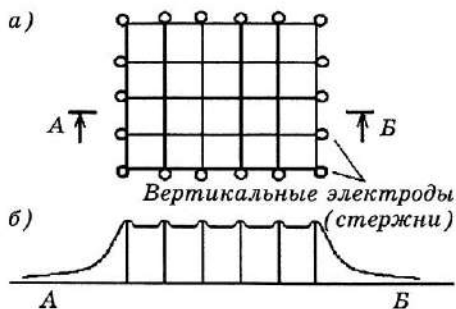


Рис. 2.10. Заземляющее устройство с выравниванием потенциалов внутри контура (сетка): а — план; б — форма потенциальной кривой

8. При опасности возникновения электрокоррозии или почвенной коррозии должны предусматриваться соответствующие мероприятия по защите заземляющего устройства, железобетонных фундаментов производственных зданий и сооружений, оборудования, трубопроводов и других подземных коммуникаций.

9. Буквенно-цифровое и цветовое обозначения одноименных нулевых защитных и нулевых рабочих шин в каждой ЭУ должны быть одинаковы (см. п. 1.6).

10. Кроме того, необходимо, чтобы были выполнены требования ПУЭ по расположению шин.

При расположении шин «плашмя» или «на ребро» в распределительных устройствах кроме комплектных сборных ячеек одностороннего обслуживания (КСО) и комплектных распределительных устройств (КРУ) 6–10 кВ, а также панелей 0,4–0,69 кВ заводского изготовления необходимо соблюдать следующие условия.

1. В распределительных устройствах напряжением 6–220 кВ при переменном трехфазном токе сборные и обходные шины, а также все виды секционных шин должны располагаться:

а) при вертикальном расположении: одна под другой сверху вниз А—В—С; одна за другой, наклонно или треугольником: наиболее удаленная шина А, средняя — В, ближайшая к коридору обслуживания — С;

б) при горизонтальном расположении (в одной плоскости или треугольником): слева направо А—В—С или наиболее удаленная шина А, средняя — В, ближайшая к коридору обслуживания — С;

в) ответвления от сборных шин, если смотреть на шины из коридора обслуживания (при наличии трех коридоров — из центрального): при горизонтальном расположении: слева направо А—В—С; при вертикальном расположении (в одной плоскости или треугольником): сверху вниз А—В—С.

2) В пяти- и четырехпроводных цепях трехфазного переменного тока в ЭУ напряжением до 1 кВ расположение шин должно быть следующим:

а) при горизонтальном расположении: одна под другой: сверху вниз А—В—С—N—PE (PEN); одна за другой: наиболее удаленная шина А, затем фазы В—С—N, ближайшая к коридору обслуживания — PE (PEN);

б) при вертикальном расположении: слева направо А—В—С—N—PE (PEN) или наиболее удаленная шина А, затем фазы В—С—N, ближайшая к коридору обслуживания — PE (PEN);

в) ответвления от сборных шин, если смотреть на шины из коридора обслуживания: при горизонтальном расположении: слева направо А—В—С—N—PE (PEN); при вертикальном расположении: сверху вниз А—В—С—N—PE (PEN).

3) При постоянном токе сборные шины должны располагаться: при вертикальном расположении: верхняя М, средняя (-), нижняя (+); при горизонтальном расположении: наиболее удаленная М, средняя (-) и ближайшая (+), если смотреть на шины из коридора обслуживания. Ответвления от сборных шин: левая шина М, средняя (-), правая (+), если смотреть на шины из коридора обслуживания.

В отдельных случаях допускаются отступления от требований, приведенных выше, если их выполнение связано с существенным усложнением ЭУ (например, вызывает необходимость установки специальных опор вблизи подстанции для транспозиции проводов воздушных линий электропередачи) или если на подстанции применяются две или более ступени трансформации.

Для защиты от электрического влияния заземляющих устройств ЭУ должны предусматриваться меры в соответствии с «Общероссийскими нормами допускаемых промышленных радиопомех» и «Правилами защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередач».

Безопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться путем:

- применения надлежащей изоляции, а в отдельных случаях — усиленной;
- применения двойной изоляции;
- соблюдения соответствующих расстояний до ТВЧ или путем ограждения ТВЧ;
- применения блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к ТВЧ;
- надежного и быстродействующего автоматического отключения частей ЭО, случайно оказавшихся под напряжением, и поврежденных участков сети, в том числе защитного отключения;
- защитного заземления или защитного зануления корпусов ЭО и элементов ЭУ, которые могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции;
- выравнивания потенциалов;
- применения разделяющих трансформаторов;

- применения напряжений 50 В и ниже переменного тока частотой 50 Гц и 120 В и ниже постоянного тока;
- применения предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- применения устройств, снижающих напряженность электрических полей;
- использования средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического поля в ЭУ, в которых его напряженность превышает допустимые нормы.

В электропомещениях с установками напряжением до 1 кВ допускается применение неизолированных и изолированных ТВЧ без защиты от прикосновения, если по местным условиям такая защита не является необходимой для каких-либо иных целей (например, для защиты от механических воздействий). При этом доступные прикосновению ТВЧ должны быть расположены так, чтобы нормальное обслуживание исключало прикосновение к ним, обеспечивая требуемую ЭБ обслуживающего персонала.

В производственных помещениях и электропомещениях устройства, служащие для ограждения и закрытия ТВЧ, допускаются сплошные, сетчатые или дырчатые. Ограждающие и закрывающие устройства должны быть выполнены так, чтобы снимать или открывать их можно было лишь при помощи ключей или инструментов.

Все ограждающие и закрывающие устройства должны обладать достаточной механической прочностью в соответствии с местными условиями. При напряжении выше 1 кВ толщина металлических, ограждающих и закрывающих устройств должна быть не менее 1 мм. В ЭУ напряжением до 1 кВ допускается выполнять ограждения сетчатыми с размером ячейки 10 × 10 мм.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током, от действия электрической дуги все ЭУ должны быть снабжены средствами защиты, а также средствами оказания первой помощи в соответствии с «Инструкцией по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках».

Выполнение указанных выше требований, предъявляемых к ЗУ, обеспечивает эффективность их применения в различных электрических сетях и ЭУ.

**ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ**

---

**3.1. ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК  
НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ В СЕТЯХ  
С ЭФФЕКТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЙ  
НЕЙТРАЛЬЮ**

---

Схема электрической сети выше 1000 В представлена на рис. 1.22, а. Заземляющие устройства ЭУ выше 1 кВ в таких сетях следует выполнять с соблюдением требований либо к их сопротивлению, либо к напряжению прикосновения, а также с соблюдением требований к конструктивному выполнению (табл. 3.1) и к ограничению напряжения на заземляющем устройстве (табл. 3.2).

Указанные требования изложены в ГОСТ 12.1.038–82 «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов». Однако, эти требования не распространяются на заземляющие устройства опор воздушных линий электропередач.

ЗУ в ЭС с эффективно заземленной нейтралью, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом, включая сопротивление естественных заземлителей.

В целях выравнивания электрического потенциала и обеспечения присоединения ЭУ к ЗУ на территории расположения ЭО прокладывают продольные и поперечные горизонтальные заземлители и соединяют их между собой в сетку, которую называют заземляющей.

В том случае, если в ЭУ должно быть рабочее и защитное заземление, их объединяют в единое ЗУ. Дополнительные требования к рабочему и защитному заземлениям указаны в гл. 2.5 и 4.2 ПУЭ.

Напряжение на ЗУ при стекании с него расчетного тока замыкания на землю не должно превышать 10 кВ. Напряжение выше 10 кВ допускается на ЗУ, с которого исключен вынос потенциала за пределы внешнего ограждения ЭУ. При напряжении на ЗУ более 5 кВ должны быть предусмотрены



Т а б л и ц а 3.1

Предельно допустимое сопротивление  $R$  заземляющего устройства электроустановок напряжением выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью

Сопротивление заземляющего устройства $R$ , Ом	Удельное сопротивление земли $\rho$ , Ом · м
0,5	$\rho < 500$
$10^{-3} \rho$	$500 \leq \rho \leq 5000$
5	$\rho < 5000$

меры по защите изоляции отходящих кабелей связи и телемеханики и по предотвращению выноса опасных потенциалов за пределы ЭУ.

Горизонтальные заземлители следует прокладывать по краю территории, занимаемой ЗУ, так, чтобы они в совокупности образовали замкнутый контур. Такое размещение позволит предотвратить вынос электрического потенциала на другие территории, на которых могут размещаться не только ЭУ. Горизонтальные заземлители прокладывают по периметру трансформаторных подстанций, ОРУ и т. д.

Продольные заземлители должны быть проложены вдоль осей ЭО со стороны обслуживания на глубине 0,5–0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8–1,0 м от фундаментов или оснований оборудования. Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены друг к другу, а расстояние между основаниями или фундаментами двух рядов не превышает 3,0 м.

Поперечные заземлители следует прокладывать в удобных местах между оборудованием на глубине 0,5–0,7 м от поверхности земли. Расстояние между ними рекомендуется

Т а б л и ц а 3.2

Предельно допустимое напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него тока замыкания на землю

Нормируемое напряжение $U$ , кВ	Дополнительные защитные меры
До 5 $5 \leq U \leq 10$	Не требуются Должны быть предусмотрены меры по защите изоляции отходящих кабелей связи и телемеханики и по предотвращению выноса опасного потенциала заземляющего устройства за пределы ЭУ
Выше 10	Исключен вынос потенциала заземляющего устройства за пределы зданий и внешних ограждений ЭУ

принимать увеличивающимся от периферии к центру заземляющей сетки. При этом первое и последующие расстояния, начиная от периферии не должны превышать соответственно 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 9,0; 11,0; 13,5; 16,0; 20,0 м. Размеры ячеек заземляющей сетки, примыкающих к местам присоединения нейтралей силовых трансформаторов и короткозамыкателей и заземляющему устройству, не должны превышать 6 × 6 м.

Если контур ЗУ располагается в пределах внешнего ограждения ЭУ, то у входов и въездов на ее территорию следует выравнивать потенциал путем установки двух вертикальных заземлителей, присоединенных к внешнему горизонтальному заземлителю напротив входов и въездов. Вертикальные заземлители должны быть длиной 3–5 м, а расстояние между ними должно быть равно ширине входа или въезда.

ЗУ, выполняемое с соблюдением требований, предъявляемых к напряжению прикосновения, должно обеспечивать в любое время года при стекании с него тока замыкания на землю значение напряжения прикосновения, не превышающее нормированных ГОСТ 12.1.038–82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов». Сопротивление заземляющего устройства при этом определяется по допустимому напряжению на заземляющем устройстве и току замыкания на землю.

При определении значения допустимого напряжения прикосновения в качестве расчетного времени воздействия следует принимать сумму времени действия защиты и полного времени отключения выключателя. При этом для определения допустимого значения напряжения прикосновения у рабочих мест, где при осуществлении персоналом оперативных переключений может возникнуть короткое замыкание, следует принимать время действия резервной защиты, а для остальной территории — основной защиты.

Размещение продольных и поперечных горизонтальных заземлителей должно определяться требованиями ограничения напряжений прикосновения до нормированных значений и удобством присоединения заземляющего оборудования. Расстояние между продольными и поперечными горизонтальными искусственными заземлителями не должно превышать 30 м, а глубина их заложения в грунт должна быть не менее 0,3 м. У рабочих мест допускается прокладка заземлителей на меньшей глубине, если необходимость этого подтверждается расчетом, а само выполнение не снижает

удобства обслуживания ЭУ и срока службы заземлителя. Для снижения напряжения прикосновения у рабочих мест в обоснованных случаях может быть выполнена подсыпка щебня толщиной 0,1–0,2 м.

Кроме указанных требований, при выполнении заземляющих устройств с соблюдением требований к его сопротивлению и к напряжению прикосновения необходимо дополнительно учитывать следующее:

— заземляющие проводники, присоединяющие оборудование или конструкции к заземлителю, необходимо прокладывать в земле на глубине не менее 0,3 м;

— вблизи мест расположения заземляемых нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей, компенсирующих аппаратов и т. п. следует прокладывать продольные и поперечные горизонтальные заземлители, которые должны обеспечивать распределение тока не менее чем в четырех направлениях.

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

Внешнюю ограду ЭУ не рекомендуется присоединять к заземляющему устройству, если оно не выходит за пределы ограды.

Когда ограждение не присоединено к заземляющему устройству, расстояние от элементов ограды до элементов заземляющего устройства должно быть не менее 2 м. Если от ЭУ отходят воздушные линии электропередачи напряжением 110 кВ и выше, то металлическую или железобетонную ограду следует заземлять с помощью вертикальных заземлителей длиной 2–3 м, установленных по периметру ограды через 20–50 м. Установка таких заземлителей не требуется для ограды с металлическими стойками или стойками из железобетона, арматура которых электрически соединена с металлическими частями ограды.

Для исключения электрической связи внешней ограды с ЗУ расстояние от ограды до элементов ЗУ, расположенных вдоль нее с внутренней, внешней или обеих сторон, должно быть не менее 2 м. Выходящие за пределы ограды горизонтальные заземлители, трубы и кабели с металлической оболочкой или броней и другие металлические коммуникации должны быть проложены посередине между стойками ограды на глубине не менее 0,5 м. В местах примыка-

ния внешней ограды к зданиям и сооружениям, а также в местах примыкания к внешней ограде внутренних металлических ограждений должны быть выполнены кирпичные вставки длиной не менее 1 м.

Питание ЭП, установленных на внешней ограде, следует осуществлять от разделительных трансформаторов. Эти трансформаторы не допускается устанавливать на ограде. Линия, соединяющая вторичную обмотку разделительного трансформатора с ЭП, расположенным на ограде, должна быть изолирована от земли на расчетное значение напряжения на ЗУ.

Если выполнение хотя бы одного из указанных мероприятий невозможно, то металлические части ограды следует присоединить к ЗУ и выполнить выравнивание потенциалов так, чтобы напряжение прикосновения с внешней и внутренней сторон ограды не превышало допустимых значений. При выполнении ЗУ по допустимому сопротивлению с этой целью должен быть проложен горизонтальный заземлитель с внешней стороны ограды на расстоянии 1 м от нее и на глубине 1 м. Этот заземлитель следует присоединять к ЗУ не менее чем в четырех точках.

Если ЗУ одной ЭУ соединено с ЗУ другой ЭУ при помощи кабеля с металлической оболочкой или броней или других металлических связей, то для выравнивания потенциалов вокруг указанной другой ЭУ или здания, в котором она размещена, необходимо соблюдение одного из следующих условий:

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

- 2) использование железобетонных фундаментов в качестве заземлителей, если при этом обеспечивается допустимый уровень выравнивания потенциалов. Обеспечение условий выравнивания потенциалов посредством железобетонных фундаментов, используемых в качестве заземлителей, определяется в соответствии с ГОСТ 12.1.030–80 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» и осуществляется после оценки возможности использования железобетонных фундаментов промышленных зданий в качестве заземлителей (см. п. 7.6).

Не требуется выполнение условий, указанных в пп. 1 и 2, если вокруг зданий имеются асфальтовые отмостки,

в том числе у входов и у въездов. Если у какого-либо входа (въезда) отмотка отсутствует, у этого входа (въезда) должно быть выполнено выравнивание потенциалов путем укладки двух проводников, как указано в п. 1, или соблюдено условие п. 2.

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

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

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

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

---

### 3.2. ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

---

В электроустановках напряжением выше 1 кВ сети с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно составлять

$$R \leq 250/I,$$

но не более 10 Ом, где  $I$  — расчетный ток замыкания на землю, А.

Предельно допустимые сопротивления ЗУ в зависимости от удельного сопротивления грунта ( $\rho$ ) представлены в табл. 3.3.

В качестве расчетного тока замыкания на землю принимается:

1) в сетях без компенсации емкостных токов — полный ток замыкания на землю;

2) в сетях с компенсацией емкостных токов:

для заземляющих устройств, к которым присоединены компенсирующие аппараты, — ток, равный 125 % номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов;

для ЗУ, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, — ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов.

Расчетный ток замыкания на землю должен быть определен для той из возможных в эксплуатации схем сети, при которой этот ток имеет наибольшее значение.

При использовании ЗУ одновременно для электроустановок напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью должны быть выполнены условия

$$R \leq U_{\text{пр}}/I_{\text{пз}},$$

где  $R$  — сопротивление ЗУ, Ом;

$U_{\text{пр}}$  — напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В или равным значениям, указанным выше в зависимости от категории помещения по ЭБ;

$I_{\text{пз}}$  — полный ток замыкания на землю, А.

Т а б л и ц а 3.3

Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства

Использование ЗУ	Сопротивление ЗУ $R_3$ , Ом	Удельное сопротивление земли $\rho$ , Ом · м
Для ЭУ напряжением до 1 кВ и выше	$R_3 = 125/I$	$\rho \leq 500$
Для ЭУ напряжением выше 1 кВ	$R_3 = 250/I$ , но не более 10 Ом	$\rho \leq 500$
Для ЭУ напряжением до 1 кВ и выше	$R_3 = 0,25 \rho/I$	$500 < \rho \leq 5000$
Для ЭУ напряжением выше 1 кВ	$R_3 = 0,50 \rho/I$ , но не более 100 Ом	$500 < \rho < 5000$
Для ЭУ напряжением до 1 кВ и выше	$R_3 = 1250/I$	$\rho > 5000$
Для ЭУ напряжением выше 1 кВ	$R_3 = 2500/I$ , но не более 100 Ом	$\rho \geq 5000$

В качестве полного тока замыкания на землю  $I_{пз}$  принимается:

1) в сетях без компенсации емкостных токов — полный ток замыкания на землю;

2) в сетях с компенсацией емкостных токов: для заземляющих устройств, к которым присоединены компенсирующие аппараты, — ток, равный 125 % номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов; для заземляющих устройств, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, — остаточный ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов или наиболее разветвленного участка цепи.

В качестве расчетного тока может быть принят ток плавких вставок предохранителей или ток срабатывания релейной защиты от однофазных замыканий на землю или междофазных замыканий, если в последнем случае защита обеспечивает отключение замыканий на землю, при этом ток замыкания на землю должен быть не менее полуторакратного тока срабатывания релейной защиты или трехкратного номинального тока предохранителей.

При использовании ЗУ одновременно для ЭУ напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью сопротивление ЗУ должно быть не более указанного в табл. 3.4, п. 1, либо к ЗУ должны быть присоединены оболочки и броня не менее двух кабелей на напряжение до или выше 1 кВ или обоих напряжений, при общей протяженности этих кабелей не менее 1 км.

Т а б л и ц а 3.4

Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов или выводы источника однофазного тока

№ п/п	Линейное напряжение источника тока, В		Сопротивление заземляющего устройства $R_z$ , Ом	Удельное сопротивление земли $\rho$ , Ом · м
	трехфазного	однофазного		
1	660	380	2	$\rho \leq 100$
	380	220	4	
	220	127	8	
2	660	380	$0,02 \rho$	$100 < \rho < 1000$
	380	220	$0,04 \rho$	
	220	127	$0,08 \rho$	
3	660	380	20	$\rho \geq 1000$
	380	220	40	
	220	127	80	

Для подстанций напряжением 6–10/0,4 кВ должно быть выполнено одно общее заземляющее устройство, к которому должны быть присоединены:

- 1) нейтраль трансформатора на стороне напряжением до 1 кВ;
- 2) корпус трансформатора;
- 3) металлические оболочки и броня кабелей напряжением до 1 кВ и выше;
- 4) открытая проводящая часть ЭУ напряжением до 1 кВ и выше;
- 5) сторонняя проводящая часть.

Вокруг площади, занимаемой подстанцией, на глубине не менее 0,5 м и на расстоянии не более 1 м от края фундамента здания подстанции или от края фундаментов открыто установленного оборудования должен быть проложен замкнутый горизонтальный заземлитель (контур), присоединенный к заземляющему устройству.

ЗУ сети напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью, объединенное с ЗУ сети напряжением выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью в одно общее ЗУ, должно удовлетворять также требованиям, предъявляемым к ЗУ электроустановок напряжением выше 1 кВ в ЭС с эффективно заземленной нейтралью.

---

### **3.3. ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ В СЕТЯХ С ГЛУХОЗАЗЕМЛЕННОЙ И ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЯМИ**

---

В электроустановках с глухозаземленной нейтралью нейтраль генератора или трансформатора трехфазного переменного тока, средняя точка источника постоянного тока, один из выводов источника однофазного тока должны быть присоединены к заземлителю при помощи заземляющего проводника.

Искусственный заземлитель, предназначенный для заземления нейтрали, как правило, должен быть расположен вблизи генератора или трансформатора. Для внутрицеховых подстанций допускается располагать заземлитель около стены здания.

Если фундамент здания, в котором размещается подстанция, используется в качестве естественных заземлителей, нейтраль трансформатора следует заземлять путем



присоединения не менее чем к двум металлическим колоннам или к закладным деталям, приваренным к арматуре не менее двух железобетонных фундаментов.

При расположении встроенных подстанций на разных этажах многоэтажного здания заземление нейтрали трансформаторов таких подстанций должно быть выполнено при помощи специально проложенного заземляющего проводника. В том случае заземляющий проводник должен быть дополнительно присоединен к колонне здания, ближайшей к трансформатору, а его сопротивление учтено при определении сопротивления растеканию заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль трансформатора.

Во всех случаях должны быть приняты меры по обеспечению непрерывности цепи заземления и защите заземляющего проводника от механических повреждений.

Если в PEN-проводнике, соединяющем нейтраль трансформатора или генератора с шиной PEN распределительного устройства напряжением до 1 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.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений PEN- или PE-проводника ВЛЭП напряжением до 1 кВ при количестве отходящих линий не менее двух. Сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. Однако сопротивление растеканию тока с ЗУ  $R_3$  существенно зависит от удельного сопротивления земли (грунта)  $\rho$ .

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	16	—	—
	для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	100	4
	Угловой	—	100	4
Трубный	32	—	3,5	
Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	12	—	—
	для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	75	3
Трубный	25	—	2	
Медь	Круглый	12	—	—
	Прямоугольный	—	50	2
	Трубный	20	—	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	—

\* Диаметр каждой проволоки.

При удельном сопротивлении земли  $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  допускается увеличивать указанные нормы в  $0,01 \rho$  раз, но не более десятикратного. Зависимости  $R_3$  от напряжения источника тока и  $\rho$  представлены в табл. 3.4.

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 грозовых перенапряжений (согласно гл. 2.4 ПУЭ).

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

Повторные заземления PEN-проводника в сетях постоянного тока должны быть выполнены при помощи отдельных искусственных заземлителей, которые не должны иметь металлических соединений с подземными трубопроводами.

Заземляющие проводники для повторных заземлений PEN-проводника должны иметь размеры не менее приведенных в табл. 3.5.

Таблица 3.6

Предельно допустимое сопротивление повторных заземлителей электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью

Линейное напряжение источника тока, В		Сопротивление заземляющего устройства $R_z$ , Ом	Удельное сопротивление земли $\rho$ , Ом · м
трехфазного	однофазного		
660	380	5/15	$\rho \leq 100$
380	220	10/30	
220	127	20/60	
660	380	0,05 $\rho$ /0,15 $\rho$	$100 < \rho < 1000$
380	220	0,10 $\rho$ /0,30 $\rho$	
220	127	0,20 $\rho$ /0,60 $\rho$	
660	380	50/150	$\rho \geq 1000$
380	220	100/300	
220	127	200/600	

Общее сопротивление растеканию тока с 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 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию тока с 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. Предельно допустимые значения сопротивления растеканию тока с повторных заземлителей ЭУ напряжениям до 1 кВ в ЭС с заземленной нейтралью представлены в табл. 3.6.

Сопротивление ЗУ, используемого для защитного заземления открытых проводящих частей ЭУ в ЭС напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью, должно соответствовать условию:

$$R \leq U_{\text{пр}}/I_{\text{пз}},$$

где  $R$  — сопротивление ЗУ, Ом;

$U_{\text{пр}}$  — напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В (с учетом категорий помещений с ЭУ по опасности поражения электрическим током), В;

$I_{\text{пз}}$  — полный ток замыкания на землю, А.

Как правило, не требуется принимать значение сопротивления заземляющего устройства менее 4 Ом. Допускает-

Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства

Мощность генераторов, трансформаторов $S$ , кВА	Сопротивление заземляющего устройства $R_z$ , Ом	Удельное сопротивление земли $\rho$ , Ом · м
$S > 100$ $S \leq 100$	4 10	$\rho \leq 500$
$S > 100$ $S \leq 100$	$8 \cdot 10^{-3} \rho$ $2 \cdot 10^{-2} \rho$	$500 < \rho < 5000$
$S > 100$ $S \leq 100$	40 100	$\rho \geq 5000$

ся сопротивление заземляющего устройства до 10 Ом, если соблюдено приведенное выше условие, а мощность генераторов или трансформаторов не превышает 100 кВ · А, в том числе суммарная мощность генераторов или трансформаторов, работающих параллельно.

Достаточно часто ЭС с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ применяются для передвижных ЭУ, у которых мощность ограничена. Сопротивления заземляющих устройств для таких ЭУ в зависимости от мощности источника электропитания и удельного сопротивления земли представлены в табл. 3.7.

При этом, если генераторы или трансформаторы работают параллельно, то сопротивление определяется их суммарной мощностью.

Для полноты излагаемого материала следует остановиться на особенностях заземления ЭУ в сетях в зависимости от типа системы заземления в соответствии с ГОСТ Р 50571.

---

#### 3.4. ОСОБЕННОСТИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СИСТЕМЫ TN

---

Система TN используется для заземления оборудования с целью защиты при косвенном прикосновении к ОПЧ при повреждении изоляции. PEN-проводник или PE-проводник присоединяется к заземляющему устройству питающей системы и частям, доступным прикосновению: открытым проводящим частям питаемого электрооборудования и сторонним проводящим частям.

В случае повреждения изоляции ток повреждения вызывает срабатывание устройства защиты от сверхтока, которое отключает ЭС. Кроме того, низкое сопротивление цепи обратного тока на участке от открытых проводящих частей до заземляющего устройства источника питания ограничивает напряжение прикосновения, которое может появиться на поврежденном оборудовании. Следовательно, это позволяет снизить вероятность поражения электрическим током.

Система TN может иметь одну из следующих разновидностей: TN-C, TN-S или TN-C-S, которые выбираются в зависимости от конкретных условий.

### Электрические сети системы TN-C

Электрическая сеть системы TN-C имеет PEN-проводник, который выполняет одновременно функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников на всем протяжении сети (рис. 3.1).

На рис. 3.1 перечеркнуто УЗО-Д, чтобы показать нецелесообразность его использования в сетях системы TN-C. Действительно, УЗО-Д в такой сети не будет работать, так

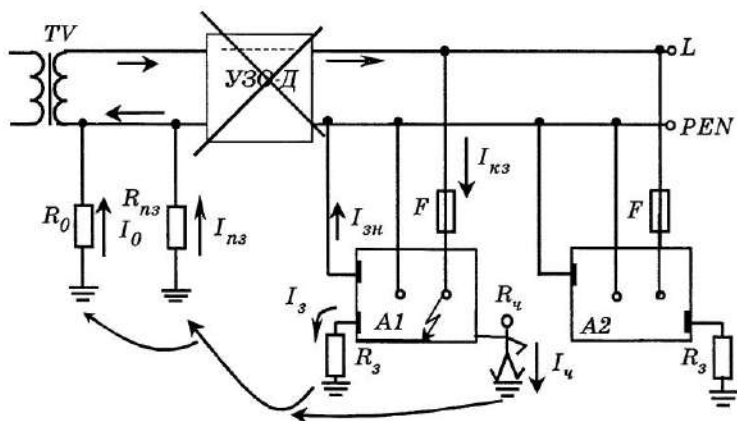


Рис. 3.1. Заземление ЭУ в однофазной электрической сети системы TN-C:

$R_{пз}$  — повторное заземление совмещенного нулевого рабочего и нулевого защитного PEN-проводника;  $R_3$  — сопротивление защитного заземления;  $I_0$ ,  $I_{пз}$ ,  $I_3$ ,  $I_ч$  — токи, протекающие соответственно через  $R_0$ ,  $R_{пз}$ ,  $R_3$ ,  $R_ч$ ;  $I_{кз}$  — ток короткого замыкания;  $I_{чн}$  — ток через защитное зануление

как основные токи, вызванные коротким замыканием, пройдут минуя его, а ток через защитное зануление  $I_{\text{ЗН}}$  препятствует образованию разности токов и срабатыванию УЗО.

Применение УЗО-Д в таких сетях не разрешается по двум причинам.

Во-первых, ток короткого замыкания, который протекает от открытых проводящих частей (корпусов) поврежденной ЭУ через человека, через  $R_0$  и  $R_{\text{цз}}$  в PEN-проводник, не воздействует на устройство защитного отключения как дифференциальный (разностный) ток. Для УЗО-Д ток —  $I_{\text{кз}}$  будет неразличим и только незначительная его часть будет возвращаться к источнику электропитания TV через УЗО-Д.

Ток  $I_{\text{кз}}$  может протекать к TV и через другое ЭО, корпуса которого (ОЧП или СПЧ) имеют случайное или преднамеренное соединение с PEN-проводником. В этом случае УЗО-Д как защита от поражения электрическим током бесполезно.

Во-вторых, если корпуса ЭО заземлены (занулены) посредством PEN-проводника и корпуса имеют контакт с землей, часть тока нагрузки может возвращаться к источнику питания через землю при нормальных условиях эксплуатации. Эта часть тока будет восприниматься защитно-отключающим устройством как дифференциальный (разностный) ток и устройство будет срабатывать, если эта часть тока, проходящая через землю, будет больше тока уставки защитно-отключающего устройства. Величина тока уставки, как правило, не превышает 0,5 А.

## Электрические сети системы TN-S

Если в сети системы TN отдельный нулевой защитный проводник не связан с нулевым рабочим проводником, то такая система обозначается TN-S (рис. 3.2).

В системе TN-S возможно и целесообразно в качестве дополнительной защиты использовать УЗО-Д. В такой сети цепь протекания тока нагрузки отделена от земли и, следовательно, УЗО-Д будет нормально функционировать, обеспечивая защиту от замыкания.

В ряде стран сети системы TN-C и TN-S используются для питания ЭУ производственных и высотных зданий со встроенными понизительными трансформаторными подстанциями.

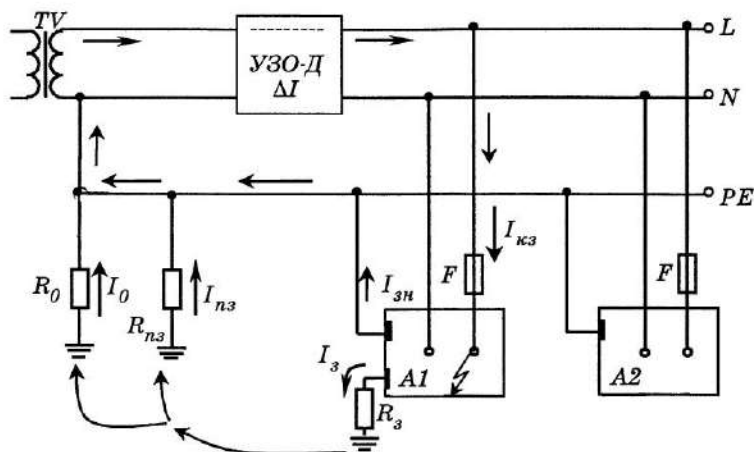


Рис. 3.2. Заземление ЭУ в однофазной электрической сети системы TN-S

В случаях, когда важно обеспечить защиту систем передачи информации и линий связи от помех, как правило, используется система TN-S (отдельный от других ЭУ защитный проводник — PE-проводник).

### Электрические сети системы TN-C-S

Наиболее часто в сетях общего пользования применяется система TN-C-S, которая является комбинацией систем TN-C и TN-S.

PEN-проводник в сети системы TN-C-S в России используется только в сетях общего пользования, а затем разделяется на нулевой рабочий и нулевой защитный проводники в зданиях и сооружениях потребителей (рис. 3.3).

В ЭУ зданий и сооружений США металлические кабелепроводы и распределительные щитки присоединяются к заземленному PEN-проводнику.

В ряде стран Европы PEN-проводник разделяется на нулевой рабочий проводник и PE-проводник при площади поперечного сечения ниже  $10 \text{ мм}^2$  (по меди).

В США PEN-проводник разделяется на отдельные нулевой рабочий и PE-проводники на вводе электрической сети в здание. В США отсутствует критерий разделения PEN-проводника по площади поперечного сечения.

Во всех заземленных распределительных системах (системы TN) заземленный PEN-проводник часто соединяется

с заземлителями в нескольких точках сети. Требования, относящиеся к условиям заземления этого типа систем, рассмотрены далее.

Устройства защитного отключения УЗО-Д (RCD, GFCI) не могут удовлетворительно функционировать в той части сети, где используется PEN-проводник, по тем же причинам, по которым эти устройства не могут удовлетворительно функционировать в системе TN-C.

Однако, на участке, где PEN-проводник разделен на отдельные PE- и N-проводники, применение УЗО не только возможно, но и желательно, также как и в системе TN-S.

В США N-проводник не разрешается присоединять к земле (заземлять) со стороны нагрузки после разделения. Исключением из этого правила являются сети, питающие устройства для приготовления пищи (кухни предприятий питания), оборудование предприятий типа прачечных, химчистки и электрические сети, идущие от одного здания или сооружения к другим зданиям или сооружениям, являющимся частями одного потребителя (например, сети, идущие от здания к гаражу или сараю).

В этом случае питающую линию второго здания или сооружения разрешается рассматривать также как основную. Это означает, что заземленный в начале линии N-проводник повторно заземляется, превращаясь в PEN-проводник.

При этом пропадает потребность в PE-проводнике в сетях между зданиями или конструкциями. В каждом кон-

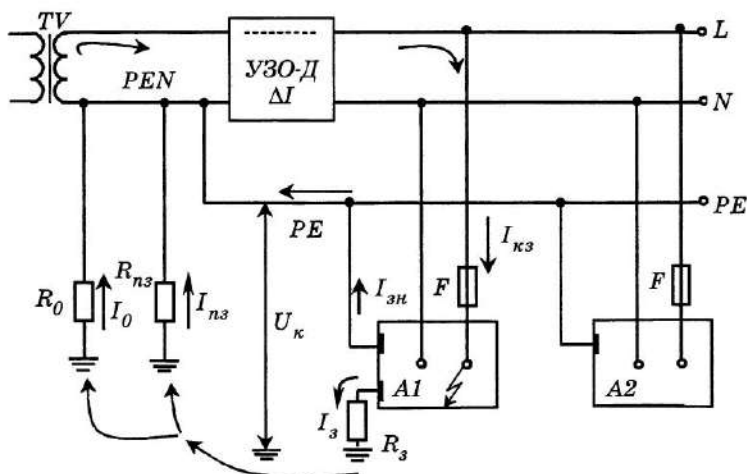


Рис. 3.3. Заземление ЭУ в однофазной электрической сети системы TN-C-S



кретном случае имеется возможность выбора между системами TN-C, TN-S или TN-C-S, или, другими словами, — возможность решения вопроса о необходимости изоляции от земли N-проводника со стороны нагрузки после разделения PEN-проводника. Использование PEN-проводника в питающей сети и недопущение дополнительных соединений с землей N-проводника во всех точках сети со стороны нагрузки в здании рекомендуется во всех случаях. Систему TN-S необходимо использовать там, где в сетях потребителя требуется УЗО-Д (GFCI в США). В США защита с помощью УЗО-Д применяется для штепсельных розеток в подвальных помещениях домов, гаражах, кухнях, ванных комнатах, наружных установках.

Практика использования заземленного нейтрального проводника питающей сети для заземления металлических корпусов кухонного оборудования (электрических плит) предприятий по приготовлению пищи и корпусов ЭО для сушки одежды берет свое начало со времен Второй мировой войны как следствие экономии меди за счет отказа от PE-проводника. За время эксплуатации системы TN-C на этих предприятиях было зарегистрировано сравнительно небольшое число случаев поражения электрическим током.

Можно считать, что в этих производствах, характеризующихся наличием симметричной трехфазной нагрузки, система TN-C выдержала испытание временем и потому ее применение разрешено.

На рис. 3.3 символом  $U_k$  обозначено напряжение PEN-проводника, обусловленное падением напряжения в PEN-проводнике при протекании тока короткого замыкания. Во всех случаях сеть системы TN обеспечивает определенную степень защиты от поражения электрическим током, вызванным пробоем изоляции фазных проводников на заземленные ОПЧ, ограничением  $U_k$ , а также отключением поврежденной ЭУ защитой от сверхтока.

Время—токовые характеристики устройства защиты от сверхтоков выбираются с учетом опасности перегрева проводников сети, вызываемого большими токами нагрузки в переходных режимах, а также с учетом пусковых токов двигателей.

Время—токовые характеристики устройства защиты от сверхтоков, как правило, выбираются без учета условий ЭБ, но, практика эксплуатации ЭУ показывает, что заземление оборудования в сочетании с устройством защиты от сверхтока может обеспечить необходимый уровень защиты от пора-

жения электрическим током при аварийных режимах работы ЭУ.

Рассмотрим требования, предъявляемые к исполнению заземления в электрических сетях системы TN, которые соответствуют системам TN-C, TN-S и TN-C-S.

Нейтраль генератора, трансформатора на стороне до 1 кВ должна быть присоединена к заземляющему устройству при помощи специального искусственного заземляющего проводника (РЕ-проводника).

Сечение заземляющего проводника должно быть не менее указанного в табл. 3.8.

Использование нулевого рабочего проводника (N-проводника), идущего от нейтрали генератора или трансформатора на щит распределительного устройства, в качестве заземляющего проводника не допускается.

Таблица 3.8

Наименьшие размеры заземляющих и нулевых защитных проводников

Характеристики заземляющих и нулевых защитных проводников	Медь	Алюминий	Сталь		
			в зданиях	в наружных установках	в земле
Неизолированный проводник:					
сечение, мм <sup>2</sup>	4	6	—	—	—
диаметр, мм	—	—	5	6	10
Сечение изолированного проводника, мм <sup>2</sup>	1,5*	2,5	—	—	—
Сечение заземляющей и нулевой жил кабелей и многожильного провода в общей защитной оболочке с фазными жилами, мм <sup>2</sup>	1,5*	2,5	—	—	—
Толщина полки из угловой стали, мм	—	—	2	2,5	40,1
Полосовая сталь:					
сечение, мм <sup>2</sup>	—	—	24	48	48
толщина, мм	—	—	3	4	4
Толщина стенки водопроводной трубы (стальной), мм	—	—	2,5	2,5	3,5
Толщина стенки тонкостенной трубы (стальной), мм	—	—	1,5	2,5	Не допускается

\* При прокладке проводов в трубах сечение нулевых защитных проводников допускается применять равным 1 мм<sup>2</sup>, если фазные проводники имеют то же сечение.

В качестве заземляющего устройства рекомендуется в первую очередь использовать железобетонные фундаменты производственных зданий и сооружений в соответствии с п. 4.1, если при этом обеспечиваются требования ЭБ, определяемые ГОСТ Р 50571.3–94 и ГОСТ Р 50571.10–96. В этом случае нейтраль трансформатора следует заземлять путем присоединения к металлической или железобетонной колонне здания или сооружения.

При отсутствии возможности использовать железобетонные фундаменты производственных зданий и сооружений должно быть выполнено искусственное заземляющее устройство в непосредственной близости от генератора или трансформатора. В отдельных случаях, например, для внутрицеховых подстанций, допускается сооружать заземляющее устройство около стены здания.

Все доступные прикосновению открытые проводящие части ЭУ должны быть присоединены к заземленной нейтральной точке источника питания посредством защитных проводников. Если нейтральной точки нет или она недоступна, должен быть заземлен фазный проводник, который запрещается использовать в качестве PEN-проводника.

Кроме указанных требований, необходимо учитывать следующее.

1. Если существуют другие точки связи с землей, рекомендуется защитные проводники также присоединять к этим точкам (повторное заземление).

2. В высотных зданиях повторное заземление защитных проводников практически невозможно. В этом случае аналогичную функцию выполняет система уравнивания потенциалов.

3. По той же причине рекомендуется заземлять защитные проводники на вводе в здания и помещения.

В стационарных ЭУ функции защитного и нулевого рабочего проводов можно совместить в одном проводнике (PEN) при условии выполнения следующих требований:

- его сечение не менее  $10 \text{ мм}^2$  по меди или  $16 \text{ мм}^2$  по алюминию, и рассматриваемая часть ЭУ не защищена устройствами защитного отключения, реагирующими на дифференциальные токи;

- нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, начиная с какой-либо точки сети, при этом запрещается их объединять за этой точкой. В точке разделения необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. PEN-про-

водник, совмещающий функции рабочего и защитного, должен подключаться к зажиму, предназначенному для защитного проводника.

СПЧ не могут быть использованы в качестве единственного PEN-проводника. В цепи PEN-проводника допускается устанавливать выключатели, которые одновременно с отключением PEN-проводника отключают все находящиеся под напряжением проводники.

Кроме того, допускается использование PEN-проводников осветительных линий для защитного зануления ЭО, питающегося по другим линиям, если все указанные линии питаются от одного трансформатора, их проводимость удовлетворяет требованиям данной главы и исключена возможность отсоединения PEN-проводников во время работы других линий. В таких случаях не должны применяться выключатели, отключающие PEN-проводники вместе с фазными.

В местах, где неизолированные PE- и PEN-проводники могут образовывать электрические пары или возможно повреждение изоляции фазных проводников в результате искрения между неизолированным PE- или PEN-проводником и ОПЧ или СПЧ, например, при прокладке проводов в трубах, коробах, лотках, PE- и PEN-проводники должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников.

Не допускается использование PEN-проводников для питания ЭП однофазного тока. В этом случае в качестве нулевого рабочего проводника (N-проводника) должен быть использован отдельный третий проводник, присоединенный к PEN-проводнику в ответвительной коробке, низковольтном комплектном устройстве.

В сетях системы TN-S могут использоваться устройства защиты от сверхтока и устройства, реагирующие на дифференциальный ток. В сетях системы TN-C, как уже было рассмотрено, устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток, применяться не должны.

При применении устройств защиты, реагирующих на дифференциальный ток, в сетях системы TN-C-S запрещается использовать PEN-проводник на стороне нагрузки.

Присоединение защитного проводника к PEN-проводнику должно осуществляться на стороне источника питания по отношению к устройству защиты, реагирующему на дифференциальный ток.

Когда устройство защиты, реагирующее на дифференциальный ток, используют для автоматического отключения

цепи вне зоны действия основной системы уравнивания потенциалов, ОПЧ не должны быть связаны с сетью системы TN, но защитные проводники должны присоединяться к заземлителю, имеющему сопротивление, обеспечивающее срабатывание этого устройства.

Вне зоны действия основной системы уравнивания потенциалов могут использоваться и такие защитные меры как питание через разделяющий трансформатор и применение дополнительной изоляции.

Характеристики устройств защиты и полное сопротивление цепи «фаза—нуль» (в случае, когда сопротивлением в месте замыкания можно пренебречь) должны обеспечивать при замыкании на ОПЧ автоматическое отключение питания в пределах нормированного времени.

Это требование выполняется при соблюдении следующего условия:

$$Z_s I_A > U_0,$$

где  $Z_s$  — полное сопротивление цепи «фаза—нуль»;

$I_A$  — ток, меньший тока замыкания, вызывающий срабатывание устройства защиты за время, являющееся функцией номинального напряжения  $U_0$  (табл. 3.9);

$U_0$  — номинальное напряжение (действующее значение) между фазой и землей.

В том случае, если  $U_0$  принимает промежуточное значение, берется следующее, более высокое значение номинального напряжения.

Предельно допустимые времена отключения, приведенные в табл. 3.9, обеспечивают ЭБ сетей, питающих передвижные или переносные ЭП класса I, как посредством штепсельных розеток, так и без них. Для рассматриваемых распределительных сетей время отключения ЭУ устройствами защиты не должно превышать 5 с.

Превышение значений времени отключений ЭУ более указанных в табл. 3.9, но не более 5 с допускается только для распределительной сети, питающей стационарные ЭУ, и только при условии выполнения одного из следующих требований:

— полное сопротивление защитного проводника между рас-

Т а б л и ц а 3.9  
Предельно допустимые времена отключения для системы TN

$U_0$ , В	Время отключения $t$ , с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

пределительным щитом и точкой присоединения защитного проводника к основной системе уравнивания потенциалов не превышает

$$50 Z_s / U_0, \text{ Ом};$$

— наличие уравнивающей связи распределительного щита с основной системой уравнивания потенциалов.

В качестве PEN-проводника между нейтралью и щитом распределительного устройства следует использовать: при выводе фаз шинами — шину на изоляторах, при выводе фаз кабелем (проводом) — жилу кабеля.

Допускается использование в качестве PEN-проводника алюминиевой оболочки кабеля при выводе фаз кабелем с алюминиевой оболочкой и кожуха шинопровода при выводе фаз комплектным шинопроводом.

Проводимость PEN-проводника, идущего от нейтрали генератора или трансформатора, должна быть не менее 50 % проводимости вывода фаз.

Изоляция PEN-проводников должна быть равноценна изоляции фаз, за исключением тех случаев, когда в качестве PEN-проводников используются алюминиевые оболочки кабелей, оболочки и опорные конструкции шинопроводов, а также ОПЧ и СПЧ.

Если при использовании устройств защиты от сверхтока сформулированные условия (см. табл. 3.9) не выполняются, должно применяться дополнительное уравнивание потенциалов. В качестве альтернативы уравниванию потенциалов для защиты может использоваться устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток.

В случаях замыкания фазного проводника на землю, например, в воздушных линиях электропередач, для того, чтобы потенциал защитного проводника и связанных с ним ОПЧ не превышал установленного значения 50 В, должно выполняться следующее соотношение:

$$R_3 / R_{3c} \leq 50 / (U_0 - 50),$$

где  $R_3$  — суммарное сопротивление всех заземлителей, соединенных параллельно;

$R_{3c}$  — минимальное сопротивление заземлителя СПЧ, не присоединенных к защитному проводнику и оказавшихся в цепи замыкания фазы на землю;

$U_0$  — номинальное действующее значение фазного напряжения.

При этом сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений PEN-проводника ВЛЭП до 1000 В при количестве отходящих линий не менее двух. При этом сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом. При линейных напряжениях соответственно 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

При удельном сопротивлении горной породы  $\rho$  более 100 Ом · м допускается увеличивать допустимые нормы в 0,01  $\rho$  раз, но не более чем в десять раз.

На ВЛЭП защитное зануление должно быть осуществлено PEN-проводником, проложенным на тех же опорах, что и фазные провода. На концах ВЛЭП (или ответвлений от них) длиной более 200 м, а также на вводах от ВЛЭП к электроустановкам, которые подлежат защитному занулению, должны быть выполнены повторные заземления PEN-проводника. При этом, в первую очередь, следует использовать естественный заземлитель, например, подземные части опор, а также заземляющие устройства, выполненные для защиты от грозовых перенапряжений.

Повторные заземления PEN-проводника в сетях постоянного тока должны быть осуществлены при помощи отдельных искусственных заземлителей, которые не должны иметь металлических соединений с подземными трубопроводами.

Общее сопротивление растеканию тока с заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений PEN-проводника каждой ВЛЭП в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию тока с заземлителя каждого из повтор-

ных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

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

---

### 3.5. ОСОБЕННОСТИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СИСТЕМЫ ТТ

---

Электрическая сеть системы ТТ заземляется у источника питания. Для защиты от повреждения могут быть использованы устройства защиты от сверхтока или УЗО, несмотря на то, что у них различны чувствительность к ненормальным режимам и принцип работы.

Устройство защиты от сверхтока должно быть способно длительно пропускать номинальный ток. В случае повреждения оно должно отключать цепь за время, не превышающее нескольких секунд. Для этого значение тока повреждения должно значительно превосходить значение номинального тока.

Защитно-отключающие устройства чувствительны к весьма небольшим разностям токов в проводниках, питающих нагрузку. Разность токов в фазном и нулевом проводниках возникает при повреждении, когда имеются утечки тока на землю.

При нормальном режиме работы и при отсутствии утечек тока разность токов может быть равна нулю. Однако на практике установившийся разностный ток в обычной электрической сети, не имеющей повреждения, может достигать нескольких миллиампер. Требования, предъявляемые к устройствам защитного отключения, предусматривают чувствительность к малым разностным токам, отсутствие ложных срабатываний и надежность.

На рис. 3.4 изображена электрическая сеть системы ТТ с устройством защиты от сверхтока. В результате короткого замыкания ТВЧ электроустановки А1 электрически связаны с доступными прикосновению ОПЧ. Ток замыкания стекает в землю через  $R_3$  и возвращается к источнику питания через ЗУ с сопротивлениями  $R_{ПЗ}$  и  $R_0$ .



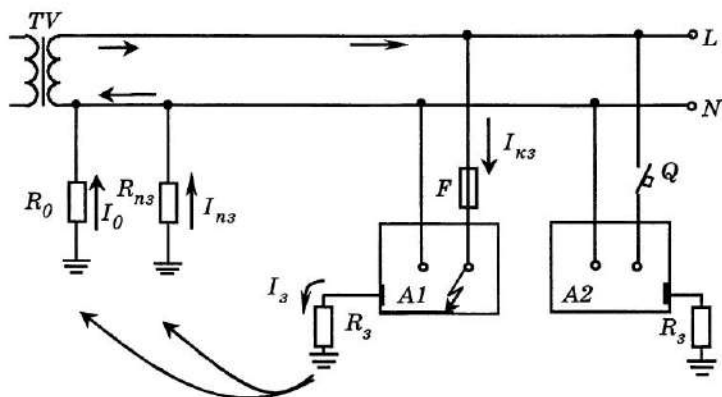


Рис. 3.4. Однофазная электрическая сеть системы ТТ с защитным заземлением и защитой от сверхтока

Для срабатывания устройства защиты от сверхтока при замыкании на корпус ЭУ необходимо, чтобы сопротивление цепи обратного тока (ЦОТ) от корпуса к земле и далее к источнику питания, было меньше или равно

$$R_{\text{ЦОТ}} \leq \frac{U_{\text{пр д}}}{I_{\text{кз}}},$$

где  $U_{\text{пр д}}$  — предельно допустимое напряжение на ОПЧ;  
 $R_{\text{ЦОТ}}$  — сопротивление цепи обратного тока;  
 $I_{\text{кз}}$  — ток короткого замыкания.

Приведенное выше выражение определения  $R_{\text{ЦОТ}}$  должно выполняться для времени большего, чем время срабатывания устройств защиты от сверхтока. В противном случае может оказаться, что прикосновение к ОПЧ в период короткого замыкания будет опасным.

Для устойчивого срабатывания устройства защиты от сверхтока и для того чтобы иметь время срабатывания в пределах нескольких секунд, ток замыкания должен в несколько раз превышать значение уставки устройства.

Достаточно эффективно применение УЗО в рассматриваемых электрических сетях. Устройства защитного отключения УЗО-Д имеют дифференциальный ток уставки не более 0,5 А, что позволяет быстро отключать поврежденную ЭУ, несмотря на большое сопротивление ЦОТ, и следовательно, малый ток  $I_{\text{кз}}$ .

На рис. 3.5 изображена электрическая сеть системы ТТ и показана связь защитного заземления с УЗО-Д при корот-

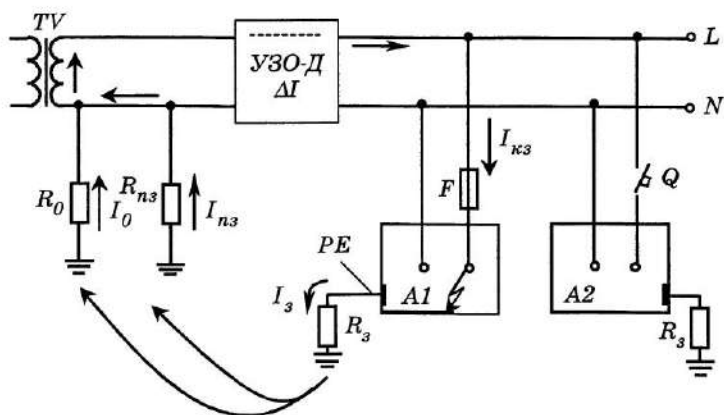


Рис. 3.5. Совместная работа защитного заземления и УЗО в однофазной сети системы ТТ

ком замыкании фазного провода на корпус (ОПЧ) электроустановки А1. Ток замыкания  $I_з$  протекает через защитный, повторный и рабочий заземлители и возвращается к источнику питания. В рассматриваемом случае ток замыкания протекает через УЗО-Д, которое срабатывает, если  $\Delta I$  превышает его уставку.

Для снижения опасности поражения электрическим током необходимо, чтобы сопротивление цепи протекания тока (ЦПТ) замыкания было как можно меньше или равно

$$R_{\text{ЦПТ}} \leq \frac{U_{\text{пр д}}}{\Delta I_{\text{УЗО}}},$$

где  $R_{\text{ЦПТ}}$  — сопротивление цепи протекания тока замыкания;

$U_{\text{пр д}}$  — предельно допустимое напряжение на ОПЧ;

$\Delta I_{\text{УЗО}}$  — ток уставки УЗО-Д.

Как и в предыдущем случае, при рассмотрении срабатывания защиты от сверхтока,  $I_з$  в рассматриваемом случае равен

$$I_з = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{зп}} + R_з + R_э}; R_э = \frac{R_0 R_{\text{пз}}}{R_0 + R_{\text{пз}}},$$

где  $R_{\text{зп}}$  — сопротивление защитного проводника (РЕ);

$R_э$  — эквивалентное сопротивление рабочего и повторного заземлений НРП.

Необходимо отметить, что  $R_{\text{ЦПТ}}$  бывает значительно меньше критического значения, необходимого для срабатывания УЗО-Д.

В электрической сети системы ТТ нулевой рабочий проводник должен быть заземлен в нескольких точках между источником питания (трансформатором) и ЭУ потребителя. Поэтому сопротивление растеканию тока с заземлителей, связанных с НРП, мало. Напряжение на нулевом рабочем проводнике при протекании тока нагрузки от фазного проводника по N-проводнику остается низким (приблизительно 20 В) по отношению к условной земле. Однако напряжение на РЕ-проводнике (и на всех частях, связанных с ним) по отношению к условной земле может быть высоким (приблизительно 200 В), когда ток замыкания протекает через заземляющие проводники, связывающие РЕ-проводник и заземляющее устройство ЭУ потребителя (см. п. 3.4).

На рис. 3.6 представлены возможные случаи замыкания питающих проводов на ОПЧ (корпус) ЭУ потребителя с заземлителем для УЗО-Д. Как правило, сопротивление указанного заземлителя  $R_3$  больше, чем сопротивление других элементов, входящих в цепь протекания тока замыкания  $I_3$ , которое вызывает напряжение на ОПЧ относительно земли, приблизительно равное фазному напряжению сети.

Более низким напряжение будет в следующих случаях:

— если фазное напряжение распределяется пропорционально сопротивлению обмотки (внутреннему сопротивлению) ЭУ

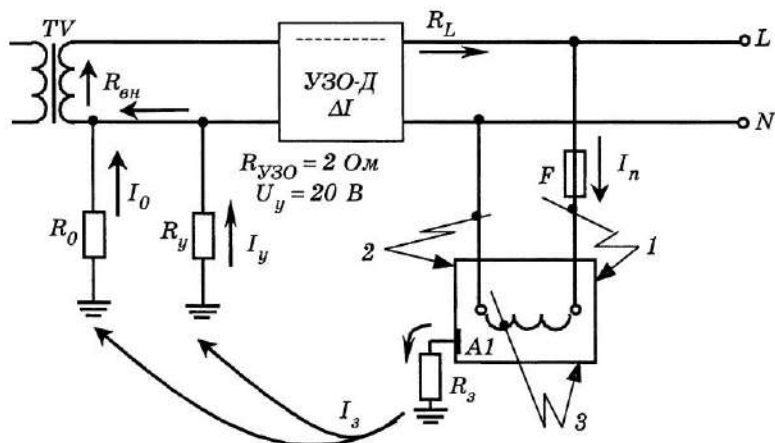


Рис. 3.6. Возможные случаи коротких замыканий электроустановки А, питающейся от однофазной электрической сети системы ТТ:

1 — повреждение изоляции между фазным проводником и РЕ-проводником; 2 — повреждение изоляции между НРП и РЕ-проводником; 3 — повреждение изоляции внутри ЭУ потребителя;  $R_y$  — сопротивление заземлителя для УЗО-Д;  $R_3$  — сопротивление защитного заземления;  $R_L$  — сопротивление фазного проводника;  $R_{вн}$  — внутреннее сопротивление обмотки ЭУ

потребителя и сопротивлению растекания тока с  $3U - R_3$  этой ЭУ (рис. 3.6, 3);

— если повреждение изоляции развивается медленно, вызывая медленное увеличение тока замыкания. Однако практика показывает, что подобные случаи маловероятны.

Рассмотрим, какой будет величина напряжения повреждения при замыканиях, представленных на рис. 3.6:

1) при повреждении изоляции между фазным проводником и РЕ-проводником, напряжение повреждения  $U_{\text{п}}$  достигает 200 В;

2) при повреждении изоляции между НРП и РЕ-проводником, напряжение повреждения  $U_{\text{п}}$  не будет превышать 20 В;

3) при повреждении изоляции внутри ЭУ потребителя (нагревательные элементы, обмотки двигателей и т. д.) величина напряжения повреждения  $U_{\text{п}}$  определяется местом повреждения и может изменяться от 0 до 200 В при  $U_{\text{ф}} = 220$  В.

Появление тока повреждения может проходить по трем возможным направлениям:

1) повреждение изоляции — металлический контакт между ТВЧ и РЕ-проводником или проводящими частями, связанными с РЕ-проводником;

2) перенапряжение в сети — дуговое перекрытие ТВЧ с проводящими частями;

3) снижение сопротивления изоляции — утечки токов, развивающиеся по поверхности изоляции.

В первом и втором случаях ток повреждения возрастает мгновенно. В третьем случае ток утечки остается очень малым (значительно ниже одного ампера) до тех пор, пока не произойдет пробоя.

---

### 3.6. ОСОБЕННОСТИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СИСТЕМЫ ИТ

---

В ЭС системы ИТ источник питания изолирован от земли или соединен с землей через большое сопротивление или воздушный промежуток. ОПЧ электроприемника связаны с землей посредством заземляющего устройства. Не существует электрических сетей, расположенных вблизи от земли, которые можно было бы считать абсолютно изолированными

от нее. В действительности, между землей и различными ТВЧ, включая провода, кабельные линии электропередачи и связанное с ними ЭО, имеются утечки токов через активную и емкостную составляющие сопротивления изоляции фаз относительно земли.

Если сопротивления между каждым из фазных проводников и землей равны между собой, то напряжения между каждым проводником и землей также будут равны между собой. Например, напряжение между каждым фазным проводником и землей в трехфазной электрической сети системы IT, симметрично нагруженной с линейным напряжением 230 В, измеренное вольтметром с большим внутренним сопротивлением, будет находиться в пределах от 110 до 160 В.

Как правило, в ЭС системы IT сравнительно небольшой протяженности сопротивление между фазным проводником и землей составляет несколько сотен кОм за счет емкости сети. Если между одним из фазных проводников электрической сети системы IT и землей в результате повреждения изоляции возникает глухое замыкание на землю, напряжение между этим проводником и землей практически падает до нуля.

В то же время напряжение двух других фазных проводников в ЭС системы IT возрастает практически до величины линейного напряжения.

На рис. 3.7 представлена ЭС системы IT при нормальном режиме работы и при аварийном режиме, когда одна из фаз ( $L_3$ ) замкнута на землю через  $L_{зм} = 0$ . На векторных диаграммах рис. 3.7, б и в изображены векторы напряжения фаз относительно земли при нормальном режиме работы сети и при однофазном замыкании на землю.

При нормальном режиме работы сети напряжения фазных проводников относительно земли по модулю практически равны. В идеальном случае, когда сеть нагружена симметрично, напряжение между каждой фазой и землей будет равно

$$U_{фз} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}}.$$

В случае однофазного глухого замыкания фаза  $C$  приобретает потенциал земли, а напряжение двух других фаз становится равным линейному напряжению.

При возникновении однофазного замыкания под действием линейных напряжений, приложенных к двум другим фазным проводникам, через замкнутые контуры, образованные емкостной проводимостью между фазными проводни-

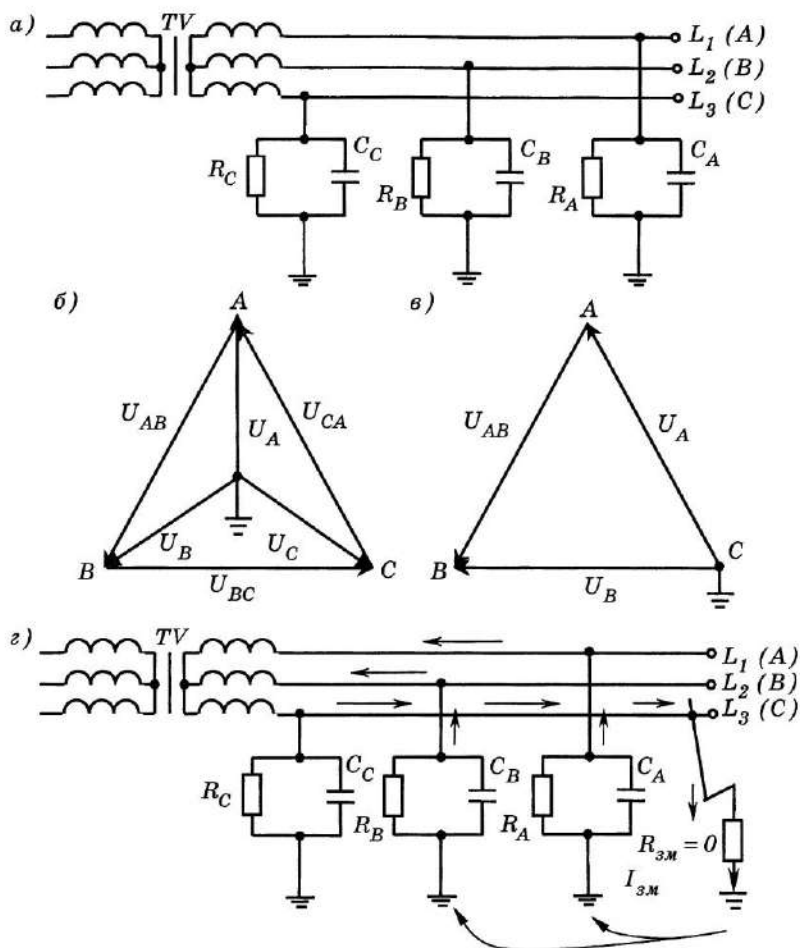


Рис. 3.7. Трехфазная трехпроводная ЭС системы IT: а — электрическая схема сети IT при нормальном режиме работы; б — векторная диаграмма напряжений при нормальном режиме работы сети; в — векторная диаграмма напряжений при аварийном режиме работы сети; г — электрическая схема работы сети IT при аварийном режиме работы сети — замыкание фазы  $L_3$  на землю через малое сопротивление  $R_{зм} = 0$

ками и землей, будет протекать ток, значение которого для относительно коротких линий составляет несколько миллиампер, а для протяженных линий — несколько ампер.

Необходимо иметь в виду, что однофазные замыкания в ЭС системы IT возникают часто и могут оставаться незамеченными достаточно долго, поскольку ток замыкания не достигает значения тока уставки устройства защиты от сверхтока.

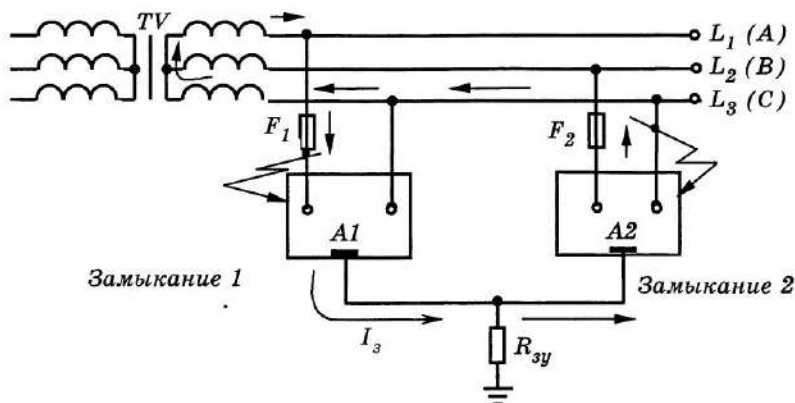


Рис. 3.8. Двойное замыкание в трехфазной трехпроводной электрической сети системы IT (корпуса ЭУ соединены между собой РЕ-проводником и заземлены на общее ЗУ с сопротивлением  $R_{з\text{у}}$ )

Если все доступные проводящие части заземлены, опасности нет. Проводник поврежденной фазы и все доступные проводящие части имеют потенциал земли.

При длительном протекании тока замыкания возможны замыкания и другого фазного проводника на землю, однако на практике такие случаи достаточно редки. Чаще всего от перенапряжений возможно замыкание и другого фазного проводника на корпус и через защитное заземление на землю, тогда ток замыкания будет протекать через оба повреждения последовательно. Если оба повреждения произошли в пределах одной эквипотенциальной системы, ток замыкания будет протекать по защитным проводникам оборудования. В этом случае ток замыкания будет достаточным для срабатывания устройства защиты от сверхтока.

На рис. 3.8 представлен аналогичный случай, когда оборудование связано защитным проводником и ток замыкания не протекает на землю через заземляющее устройство с сопротивлением  $R_{з\text{у}}$ .

Другая ситуация возникает, когда каждая ЭУ имеет свое ЗУ с сопротивлением  $R_{з1}$  и  $R_{з2}$  и отсутствует заземляющий проводник, связывающий корпуса поврежденных ЭУ (рис. 3.9).

В этом случае ток замыкания протекает через заземляющие проводники и заземлители в землю. Эти заземляющие устройства могут иметь сопротивление не менее нескольких десятков Ом каждое.

Напряжение между двумя частями поврежденного оборудования и между каждой частью оборудования и землей

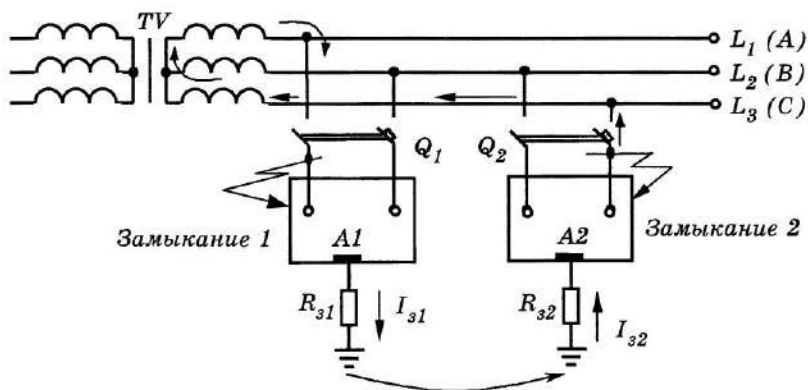


Рис. 3.9. Двойное замыкание в трехфазной трехпроводной электрической сети системы IT (корпуса ЭУ заземлены на индивидуальные ЗУ с сопротивлениями  $R_{z1}$  и  $R_{z2}$ )

может значительно превышать предельно допустимые значения с учетом времени срабатывания защиты. Напряжение между двумя частями поврежденного оборудования равно линейному напряжению.

Если, например, линейное напряжение равно 230 В и сопротивление заземляющих устройств  $R_{z1} = 12$  Ом и  $R_{z2} = 8$  Ом, общий ток замыкания в цепи повреждения

$$I_{z\Sigma} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{z1} + R_{z2}} = 230 / 20 = 11,5 \text{ А.}$$

Напряжение на ОПЧ электроустановок А1 и А2 составляет 138 В и 92 В, соответственно. В случае прикосновения человека к корпусам ЭУ А1 или А2 ток, проходящий через его тело, может быть смертельно опасным.

Электрические сети системы IT большой протяженности более опасны в эксплуатации, так как в них большое значение имеет емкость фаз относительно земли, а значит и полное сопротивление  $Z_{\text{ф}}$  будет недостаточным, чтобы уменьшить ток, проходящий через тело человека, до безопасных значений.

Даже при нормальном режиме работы электрической сети имеются утечки тока через активную и емкостную проводимости фаз относительно земли. Если все фазные проводники имеют равную активную и емкостную проводимости относительно земли, то токи утечки на землю всех фазных проводников имеют равную величину.

Поскольку активная составляющая тока утечки намного меньше емкостной, то активной составляющей можно



пренебречь и результирующий ток утечки  $I_{ут}$  может быть рассчитан по формуле

$$I_{ут} = U_{\phi} \omega C$$

или

$$I_{ут} = \frac{1}{\sqrt{3}} U \omega C,$$

так как

$$R_{\phi} \gg \frac{1}{\omega C},$$

где  $\omega = 2\pi f$  — угловая частота;

$U$  — линейное напряжение сети;

$U_{\phi}$  — фазное напряжение сети;

$C$  — емкость фазных проводников относительно земли;

$R_{\phi}$  — сопротивление фазных проводников.

Когда в симметрично нагруженной ЭС системы ИТ возникает повреждение изоляции одного из фазных проводников, то напряжение на нем становится близким к нулю.

Напряжение двух других проводников относительно земли возрастает в  $\sqrt{3}$  раз и становится равным линейному напряжению. Однако, одного повреждения недостаточно, для того чтобы ток замыкания  $I_{зм}$  достиг величины тока уставки защиты от сверхтока, так как цепь протекания  $I_{зм}$  имеет большое сопротивление.

Полный ток замыкания на землю равен векторной суммой токов утечки неповрежденных фаз и может быть определен по формуле

$$I_{зм} = \sqrt{3} U \omega C,$$

где  $C$  — емкость относительно земли проводников и ЭО, подключенного к ним (табл. 3.10).

Современные установки с электрическим обогревом пола часто имеют несколько сотен метров нагревательных элементов. Емкость на землю этих элементов составляет 0,3 мкФ/км. Сегодня в современном коттедже емкость фазы на землю составляет несколько десятков микрофард.

Например, в ЭС системы ИТ с линейным напряжением 230 В, имеющей емкость «фаза—земля» 0,3 мкФ, произошло замыкание одного из фазных проводников на землю. В этом случае ток замыкания на землю будет равен

$$I = \sqrt{3} \cdot 230 \omega C;$$

$$I = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,3 \cdot 10^{-6};$$

$$I = 37,5 \text{ мА.}$$

В рассматриваемом случае замыкание одной из фаз линии, питающей потребитель, будет вызывать срабатывание УЗО-Д с током уставки 30 мА, при этом ток протекает по цепи от питающего трансформатора через УЗО-Д — неповрежденные фазные проводники — емкостную проводимость этих проводников относительно земли на землю и далее, минуя УЗО-Д, через поврежденную изоляцию фазного проводника к питающему трансформатору.

Отключение источника питания, вызванное этим повреждением, нежелательно для сети потребителя, поскольку замыкание на землю одной из фаз питающей сети позволяет продолжать электропитание потребителей, так как от таких сетей питаются, как правило, потребители, не допускающие перерыва в электропитании и требующие высокой защищенности от поражения электрическим током.

Опыт эксплуатации ЭС системы ИТ в Норвегии подтверждает изложенное выше. В частности, после установки УЗО-Д частота нежелательных отключений при однофазных замыканиях резко возросла (рис. 3.10). Более того, перенапряжения, вызываемые молнией и коммутацией, могут вызывать протекание емкостных токов, амплитуды которых в несколько раз превышают токи, обусловленные рабочим напряжением системы.

В рассматриваемых сетях достаточно часто для защиты при повреждении используется защитное отделение (ЗОТ) (электрическое разделение сетей). Защитное отделение — способ защиты, при котором оборудование питается от вторичной обмотки разделяющего трансформатора, полностью изолированной от питающей первичной цепи, и проводники вторичной цепи не заземлены.

Т а б л и ц а 3.10

Емкость по отношению к земле электрооборудования

Оборудование	Емкость на землю $C$ , нФ
Персональный компьютер	23,3
Принтер	11,0
Стиральная машина	5,4
Посудомоечная машина	11,5
Микроволновая печь	17,0
Холодильник	1,6
Кухонный комбайн	10,7



мые измерения тока прикосновения между изолированной цепью и заземленными проводящими частями. Если доступные прикосновению ОПЧ отсутствуют, может быть использована расположенная на полу металлическая пластина размером  $25 \times 25 \text{ см}^2$ . Сеть может считаться безопасной, если ток прикосновения, измеренный низкоомным амперметром, не превышает 30 мА.

На рис. 3.11 схематично показано защитное отделение и измерение тока прикосновения. Для защиты амперметра используется резистор, имеющий диапазон сопротивления от 5 до 100 кОм.

При определенных условиях нежелательно, а в ряде случаев опасно отключать питание потребителя. Например, внезапное отключение насоса на химическом предприятии может привести к производственной аварии.

В тех случаях, когда необходимо поддерживать постоянное питание ЭП, может быть использован непрерывный контроль изоляции установки (защитный мониторинг изоляции). Если при этом произойдет замыкание одной из фаз на землю, защита сработает на сигнал. Насосы будут продолжать работать до тех пор, пока это необходимо по условиям безопасности.

В протяженных промышленных сетях, питающихся от одного трансформатора, токи прикосновения, даже при нормальных условиях, могут достигать опасных значений из-за возможных случайных активных и емкостных утечек. Поэтому для сетей большой протяженности не следует применять систему IT.

Одинокое повреждение изоляции однофазного проводника не вызывает срабатывания устройства защиты от сверхтока

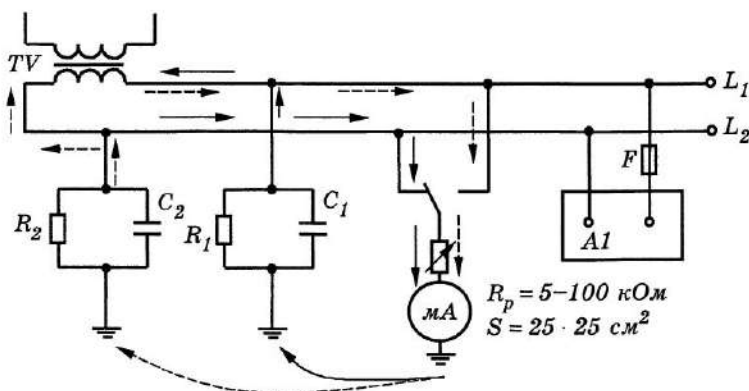


Рис. 3.11. Однофазная электрическая сеть системы IT с защитным отделением и контролем изоляции фаз относительно земли

и питание потребителя не прерывается. Если нагрузка не допускает внезапного отключения питания, первое повреждение должно быть обнаружено как можно за более короткое время. С этой целью часто используются различные устройства непрерывного контроля изоляции между фазными проводниками и землей, срабатывающие на сигнал, если сопротивление изоляции опускается ниже предельно допустимого уровня.

На рис. 3.12 представлена принципиальная схема непрерывного контроля изоляции при питании ЭС системы ИТ от трехфазного трансформатора.

Для предотвращения возникновения опасного напряжения прикосновения при первом повреждении изоляции сопротивление растеканию тока с заземляющего устройства ЭУ (т. е. сопротивление между защитным РЕ-проводником и землей) должно быть меньше предельно допустимого напряжения при повреждении изоляции, деленного на ток замыкания на землю (ток повреждения):

$$R_3 = \frac{U_{\text{пр д}}}{I_{\text{ЗМ}}}.$$

Этот ток определяется активными и емкостными токами утечек между двумя другими (неповрежденными) фазами и землей, и регистрируемым устройством контроля сопротивления изоляции.

Как уже отмечалось, ток повреждения для системы ИТ зависит от размеров ЭУ и может достигать нескольких ам-

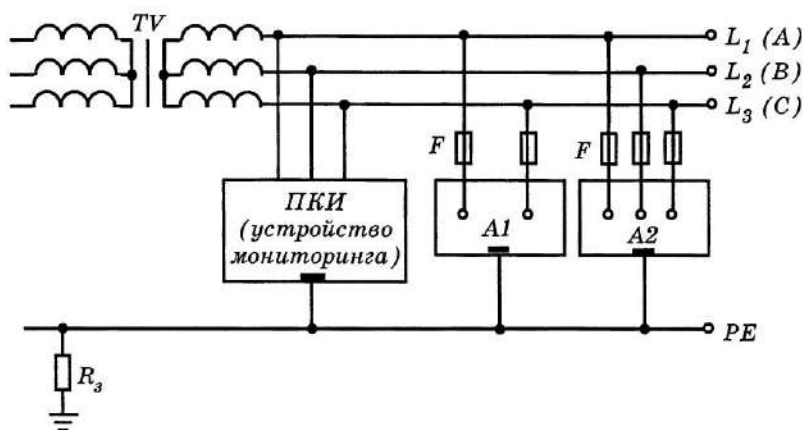


Рис. 3.12. Принципиальная схема контроля изоляции в трехфазной четырехпроводной ЭС системы ИТ

пер для крупных промышленных ЭУ. Напряжение прикосновения может быть снижено повсеместным применением ЭО класса 1, связанного посредством РЕ-проводника с системой заземления ЭУ. Этот проводник выполняет функцию главной эквипотенциальной шины.

Системы непрерывного контроля изоляции необходимы для многих типов ЭУ, в которых перерыв питания при одиночном повреждении изоляции нежелателен или недопустим. Примером таких установок являются операционные и палаты интенсивной терапии в больницах; производства с непрерывными технологическими процессами, чувствительными к перерыву электроснабжения, такие как химические предприятия, шахты, корабли; ЭУ, содержащие оборудование обработки информации.

В ЭС системы ИТ двойное замыкание отключается устройством защиты от сверхтока. В большинстве случаев устройства защитного отключения непригодны для этих систем, поскольку токи повреждения не отличаются от нагрузочных токов, и УЗО-Д не будут работать (рис. 3.13).

В случае, представленном на рис. 3.13, УЗО-Д не срабатывает, так как нет «разностного тока»  $\Delta I$ , на который он должен реагировать, а  $I_{кз}$ , протекающие через него, практически равны между собой.

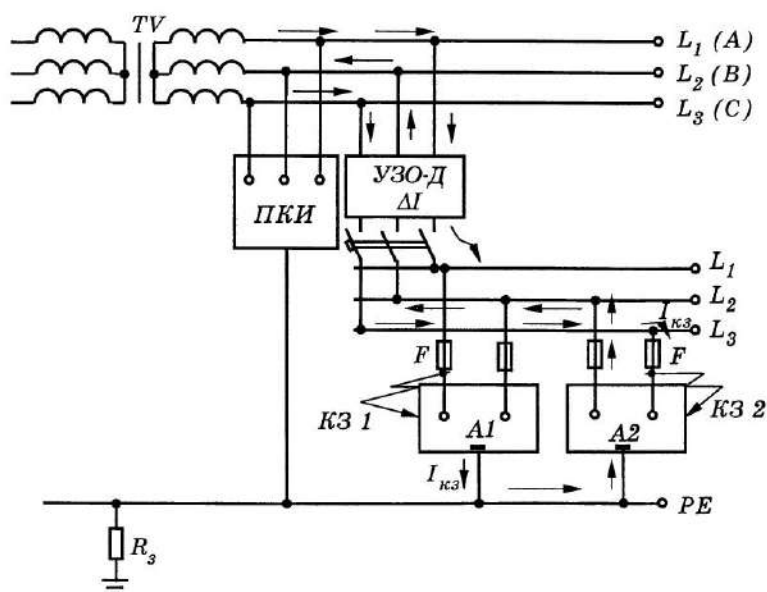


Рис. 3.13. Трехфазная электрическая сеть системы ИТ с УЗО-Д

Существует множество взглядов на применение УЗО-Д в ЭС системы ИТ, некоторые из них диаметрально противоположны. Для исключения нежелательных отключений уставка УЗО-Д должна быть в два раза выше тока замыкания при единственном повреждении изоляции на линейной стороне УЗО. Распределение тока повреждения в этом случае представлено на рис. 3.14.

Часть тока утечки (при единственном повреждении изоляции на линейной стороне УЗО-Д), которая может вызвать отключение УЗО-Д, является векторной суммой токов, называемой «разностным током».

Для того чтобы избежать нежелательных отключений, вызванных грозовыми и коммутационными перенапряжениями, должны использоваться УЗО-Д с выдержкой времени. Для исключения нежелательных отключений при единственном повреждении фазной изоляции линии их токовая уставка должна быть равной 300 мА. Это означает, что для предельно допустимого напряжения при повреждении изоляции (50 В) наибольшее значение сопротивления растеканию заземляющего устройства должно быть

$$R = \frac{50}{0,300} = 167 \text{ Ом.}$$

Единственное повреждение изоляции между фазным проводником установки и землей, как правило, будет вызывать срабатывание УЗО-Д.

В случае, когда ток единственного повреждения недостаточен для срабатывания УЗО-Д, опасность поражения меньше, так как ток, протекающий через тело человека, в этом

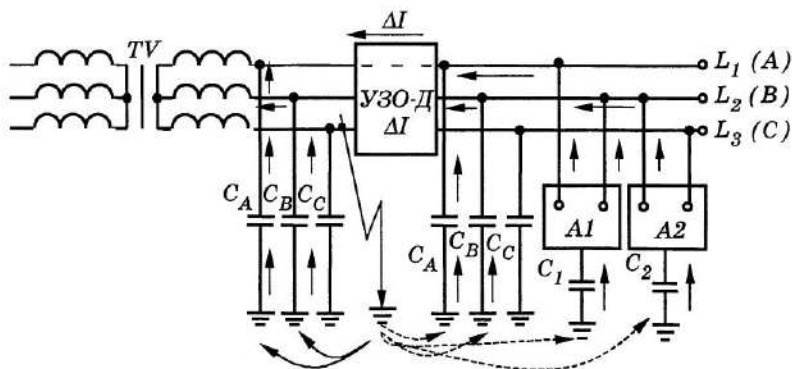


Рис. 3.14. Распределение тока замыкания в ЭС системы ИТ при повреждении изоляции питающей линии

случае будет меньше. При двойном повреждении изоляции защита от аварийного режима будет обеспечиваться устройством защиты от сверхтока. Для уменьшения потенциала ОПЧ и СПЧ при повреждении изоляции все защитные проводники должны быть присоединены к главной шине уравнивания потенциалов (главной заземляющей шине).

В ЭС системы IT защита от повреждения изоляции может обеспечиваться применением УЗО-Д при выполнении следующих условий:

а) уставка УЗО-Д должна быть порядка 300 мА с выдержкой времени для защиты всей ЭУ;

б) защитные проводники должны быть присоединены к главной заземляющей шине (главной эквипотенциальной шине);

в) в пределах одной ЭУ не должны использоваться отдельные (автономные) заземляющие устройства, не связанные между собой.

Дополнительные меры могут быть предусмотрены и для защиты от прямого контакта с ТВЧ. При этом в ЭС системы IT практически невозможно обеспечить дополнительную защиту с помощью УЗО-Д с током уставки 30 мА и менее.

На рис. 3.15 приведен случай прикосновения человека к фазному проводу сети и показан путь протекания через него тока  $I_{\text{ч}}$ . Из рисунка видно, что ток протекает через землю, емкости фаз и емкости ЭУ относительно земли и далее по всей ЭС. Только часть тока, протекающего через человека, проявляется в качестве разностного тока, воздействующего на УЗО-Д — это та часть, которая возвращается к источнику через емкость проводников питающей линии.

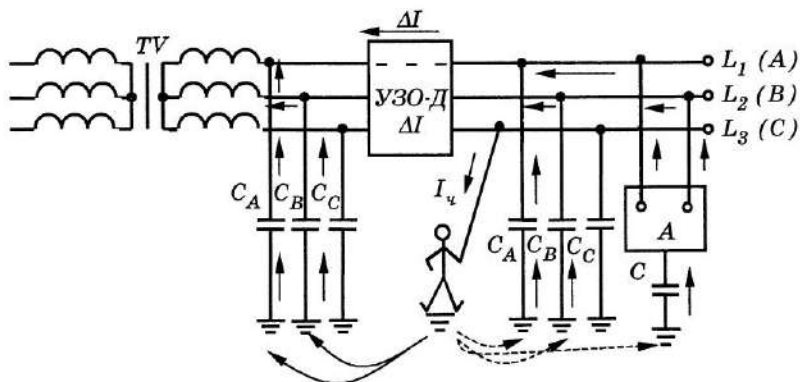


Рис. 3.15. Однофазное прикосновение человека к фазному проводу в ЭС системы IT



Другая часть тока, возвращающаяся к источнику через емкостную проводимость электроустановки А и проводников ее питания, не оказывает влияния на УЗО-Д.

В ЭС системы IT ток через человека, прикоснувшегося к ТВЧ, всегда больше разности тока, улавливаемого УЗО-Д, и потому защитно-отключающее устройство дифференциального типа может не сработать даже тогда, когда ток через тело человека смертельно опасен (такой случай представлен на рис. 3.15).

Защита от поражения электрическим током при прямом контакте становится эффективной, если проводимость между проводниками и землей с линейной стороны УЗО-Д значительно больше соответствующей проводимости со стороны нагрузки.

В ЭС системы IT электроустановка должна быть изолирована от земли или связана с ней через достаточно большое сопротивление.

В случае первого замыкания на ОПЧ ток замыкания недостаточен для срабатывания защитного устройства.

Во избежание вредных физиологических воздействий на человека при прикосновении одновременно к двум открытым проводящим частям должны быть приняты меры защиты на случай возникновения замыкания второй фазы. ОПЧ должны быть заземлены отдельно, группами или все вместе.

В высотных зданиях заземление доступных прикосновению СПЧ может быть достигнуто их соединением с защитными проводниками, ОПЧ и СПЧ.

Сопротивление  $R_3$  ЗУ, используемого для заземления ОПЧ электрооборудования, должно удовлетворять неравенству

$$R_3 \leq \frac{50}{I_{зк}}, \text{ но не более } 4 \text{ Ом,}$$

где  $I_{зк}$  — ток замыкания фазы на ОПЧ. Значение  $I_{зк}$  включает в себя значения всех токов нулевой последовательности.

Если для обнаружения первого замыкания на ОПЧ или на землю предусмотрено устройство контроля изоляции, то это устройство должно подавать световой и/или звуковой сигнал.

Рекомендуется устранять первое замыкание в кратчайший срок. После появления первого замыкания условия отключения питания при втором замыкании зависят от того как соединены ОПЧ с заземлителем.

Т а б л и ц а 3.11

Наибольшее время отключения для сетей системы IT  
(двойное замыкание)

Номинальное напряжение установки $U_0$ , В	Время отключения $t$ , с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
660	0,1

При индивидуальном или групповом заземлении все ОПЧ, защищенные одним защитным устройством, должны присоединяться защитным проводником к одному ЗУ при выполнении условия:

$$R_{\text{зз}} I_{\text{узо}} \leq 50 \text{ В,}$$

где  $R_{\text{зз}}$  — суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника;

$I_{\text{узо}}$  — ток срабатывания защитного устройства.

Если защитное устройство является устройством защитного отключения и реагирует на дифференциальный ток, то под  $I_{\text{узо}}$  подразумевается уставка защитного устройства по дифференциальному току  $\Delta I$ .

Если защитное устройство — устройство защиты от сверхтока, то оно должно быть либо устройством с обратной токо-временной характеристикой, когда  $I_{\text{узо}}$  — значение тока, обеспечивающее время срабатывания устройства не более 5 с; либо устройством с отсечкой тока, когда  $I_{\text{узо}}$  — уставка по току отсечки.

Если связь с землей ОПЧ осуществляется соединением с защитным проводником, то для обеспечения защиты должно быть выполнено условие:

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3} U_0}{2 I_{\text{узо}}},$$

где  $U_0$  — значение фазного напряжения;

$Z_s$  — полное сопротивление цепи замыкания;

$I_{\text{узо}}$  — ток срабатывания защитного устройства за время отключения  $t$ , указанное в табл. 3.11.

В сетях системы IT могут применяться: устройства контроля изоляции; устройства защиты от сверхтоков; устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток.

## УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И УСТАНОВКАХ

### 4.1. ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВУ И ПРИМЕНЕНИЮ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

*Заземлителем* называется проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземлители должны быть связаны с магистралями заземлений не менее чем двумя проводниками, присоединенными к заземлителю в разных местах. Это требование не распространяется на опоры ВЛЭП, повторное заземление нулевого провода и металлические оболочки кабелей.

В качестве заземлителей могут быть использованы находящиеся в соприкосновении с землей металлические стержни или трубы; металлические полосы или проволока; металлические плиты, пластины или листы; железобетонные фундаменты; стальная арматура железобетона; стальные трубы водопровода в земле; другие подземные сооружения.

Если фундаменты зданий и сооружений железобетонные, то возможность использования в качестве заземлителей предварительно напряженной арматуры в железобетоне должна быть обоснована расчетными данными.

Сопротивление растеканию тока с ЗУ  $R_3$  (Ом) рассчитывается по формуле

$$R_3 = 0,5 \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}},$$

где  $S$  — площадь, ограниченная периметром здания,  $\text{м}^2$ ;

$\rho_3$  — удельное электрическое сопротивление земли,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ .

Для расчета  $\rho_3$  необходимо использовать следующее выражение:

$$\rho_3 = \rho_1 \left( 1 - e^{-\frac{\alpha h_1}{\sqrt{S}}} \right) + \rho_2 \left( 1 - e^{-\frac{\beta \sqrt{S}}{h_1}} \right),$$

где  $\rho_1$  — удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом · м;

$\rho_2$  — удельное электрическое сопротивление нижнего слоя земли, Ом · м;

$\alpha, \beta$  — безразмерные коэффициенты, зависящие от соотношения удельных электрических сопротивлений слоев земли.

Если  $\rho_1 > \rho_2$ ,  $\alpha = 3,6$ ,  $\beta = 0,1$ ; если  $\rho_1 < \rho_2$ ,  $\alpha = 110$ ,  $\beta = 0,003$ .

Под верхним слоем следует понимать слой земли, удельное сопротивление которого  $\rho_1$  более чем в два раза отличается от удельного сопротивления нижнего слоя  $\rho_2$ .

В ЭУ напряжением от 110 до 750 кВ не требуется прокладка выравнивающих проводников, в том числе у входов и въездов, кроме мест расположения заземления нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей, вентилярных разрядников и молниеотводов, если выполняется условие

$$I_{\text{кз}} \leq \left( 5,4 + 7 \cdot 10^{-3} \rho_1 \right) \frac{\sqrt{S}}{\rho_3},$$

где  $I_{\text{кз}}$  — расчетная сила тока однофазного замыкания, стекающего в землю с фундамента здания, кА.

Если заземляющее устройство состоит из естественного заземлителя в виде фундамента и сетки искусственного заземлителя, то необходимо при расчете общего сопротивления заземляющего устройства учитывать взаимное влияние естественного и искусственного заземлителей.

Если в качестве заземлителей используются стальные трубы водопровода, проложенные в земле, то при этом необходимо учитывать, что они могут использоваться в качестве естественных заземляющих устройств при условии получения разрешения от водоснабжающей организации, а также при условии, что приняты надлежащие меры по извещению эксплуатирующего персонала ЭУ о намечаемых изменениях в водопроводной системе. При этом необходимо предусматривать такое конструктивное исполнение водопроводной системы, чтобы надежность ЗУ не зависела от других систем.

Не допускается использовать в качестве заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей, а также трубопроводы канализации и центрального отопления. Указанные ограничения не исключают необходимости присоединения таких трубопроводов к ЗУ с целью уравнивания потенциалов.

Не следует использовать в качестве заземлителей железобетонные конструкции зданий и сооружений с предварительно напряженной арматурой, однако это ограничение не распространяется на опоры ВЛ и опорные конструкции ОРУ.

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

На эффективность работы заземлителей влияют конкретные грунтовые условия, и поэтому в зависимости от этих условий и требуемого значения сопротивления растеканию должны быть выбраны их количество и конструкция (см. гл. 5).

Тип заземлителей и глубина их заложения должны быть такими, чтобы высыхание и промерзание грунта не вызывали превышения значения сопротивления растеканию тока с заземлителя свыше требуемого значения.

Материал и конструкция заземлителей должны быть устойчивыми к коррозии. Свинцовые и другие металлические оболочки кабелей, не подверженные разрушению коррозией, могут использоваться в качестве заземлителей при наличии разрешения владельца кабеля и при условии, что будут приняты надлежащие меры по извещению эксплуатационного персонала ЭУ о всяких изменениях и ремонтах кабелей, которые могут изменить характеристики их как заземлителей. При устройстве заземления используют естественные и искусственные заземлители.

*Естественными заземлителями* называются находящиеся в соприкосновении с землей электропроводящие части коммуникаций, зданий и сооружений производственного или иного назначения, используемые в целях заземления.

Для заземления ЭУ, в первую очередь, должны быть использованы естественные заземлители. Если при этом сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеет допустимые значения, а также обеспечиваются нормативные значения напряжения на заземляющем устройстве, то искусственные заземлители должны применяться лишь при необходимости снижения плотности токов, протекающих по естественным заземлителям или стекающих с них.

В качестве естественных заземлителей рекомендуется использовать:

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

2) металлические трубы водопровода, проложенные в земле;

3) обсадные трубы буровых скважин;

4) металлические шпунты гидротехнических сооружений, водоводы, закладные части затворов и т. п.;

5) рельсовые пути магистральных неэлектрифицированных железных дорог и подъездные пути при наличии преднамеренного устройства перемычек между рельсами;

6) другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения;

7) металлические оболочки бронированных кабелей, проложенных в земле, которые могут служить единственными заземлителями при количестве кабелей не менее двух. Алюминиевые оболочки кабелей использовать в качестве заземлителей не допускается (ПУЭ 1.7.109).

При использовании железобетонных фундаментов промышленных зданий и сооружений в качестве заземлителей и обеспечении допустимых напряжений прикосновения не требуется сооружение искусственных заземлителей, прокладка выравнивающих полос снаружи зданий и выполнение магистральных проводников заземления внутри здания.

Металлические и железобетонные конструкции, используемые в качестве заземляющих устройств, должны образовывать непрерывную электрическую цепь по металлу, а в железобетонных конструкциях должны предусматриваться закладные детали для присоединения электрического и технологического оборудования (рис. 4.1, 4.2).

*Искусственными заземлителями* называются заземлители, специально выполняемые в целях заземления.

При невозможности использования естественных заземлителей, а также в случаях, когда токовые нагрузки на естественные заземлители превышают допустимые или естественные заземлители не обеспечивают безопасных значений напряжения прикосновения по ГОСТ 12.1.038-82,

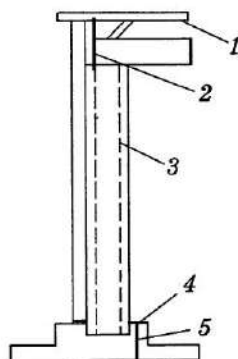


Рис. 4.1. Соединение арматуры железобетонных конструкций:

1 — молниеприемная сетка; 2 — токоотвод; 3 — арматура колонны; 4 — заземляющая перемычка; 5 — арматура фундамента

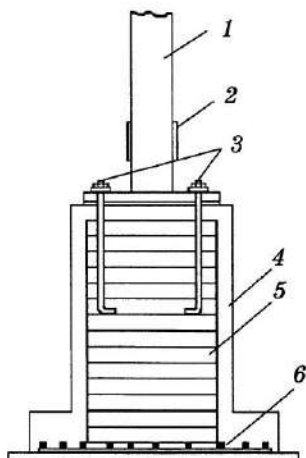


Рис. 4.2. Соединение металлической колонны с арматурой железобетонного фундамента:

1 — пластины для приварки проводника заземления; 2 — стальная колонна; 3 — фундаментные болты (не менее двух), соединенные с арматурой фундамента; 4 — фунда-мент; 5 — арматура фундамента; 6 — арматура подошвы

Кроме указанных мероприятий в зонах с большим удельным сопротивлением земли могут применяться заземлители специальных конструкций.

В США используют заземлители в виде металлической цилиндрической емкости (трубы) с отверстиями в верхней и нижней частях емкости. Емкость заполняется солью и влагопоглощающими химическими веществами, закрывается с двух сторон крышками и погружается в землю до уровня отверстий в верхней части. Через эти отверстия химическое вещество забирает из воздуха влагу, которая растворяет соль. Солевой раствор, выливаясь через отверстия нижнего ряда, увлажняет грунт и создает благоприятные условия для работы заземлителя.

В РФ предложен заземлитель для засушливых районов, конструкция которого изображена на рис. 4.3. Заземлитель содержит железобетонную цилиндрическую емкость 1 со съемной крышкой 2, выполненной из того же материала. Емкость армирована стальными стержнями 3, которые скреплены поперечными проводниками 4. Заземлитель снабжен

в дополнение к естественным заземлителям необходимо сооружать искусственные стальные вертикальные и горизонтальные заземлители.

Искусственные заземлители могут быть выполнены из черной или оцинкованной стали или из меди. Окраска и смазка искусственных заземлителей не допускается.

Материал и наименьшие размеры заземлителей должны соответствовать приведенным в табл. 4.1.

Особо следует отметить особенности устройства заземлителей в районах с большим удельным сопротивлением земли — более  $500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  (к ним относятся засушливые районы с песчаными грунтами, а также районы с грунтами в виде скальных горных пород).

Для снижения удельного электрического сопротивления земли в зоне расположения заземлителя необходимо выполнение мероприятий, представленных в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.1

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый: — для вертикальных заземлителей	16	—	—
	— для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	100	4
	Угловой	—	100	4
	Трубный	32	—	3,5
Сталь оцинкованная	Круглый: — для вертикальных заземлителей	12	—	—
	— для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	75	3
	Трубный	25	—	2
Медь	Круглый	12	—	—
	Прямоугольный	—	50	2
	Трубный	20	—	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	—

\* Диаметр каждой проволоки.

водораспределительной системой, которая выполнена в виде горизонтально расположенных отрезков металлических труб 5, одни концы которых имеют заглушки 6, а другие жестко соединены элементом 7 с емкостью 1 в нижней ее части равномерно по периметру.

Трубы водораспределительной системы покрыты слоем влагопоглощающего материала 8, например, бетоном или цементом, толщина которого составляет 3–5 см. Целесообразно использовать бетоны нормальной плотности, а также цементные растворы. В стенках труб водораспределительной системы по длине и равномерно по периметру выполнены отверстия 9 для стока воды. Диаметр этих отверстий 8–10 мм. Возможен вариант, при котором емкость и отрезки труб 5 выполнены из железобетона. Торцы труб 5 замоноличиваются бетоном.

Число труб водораспределительной системы для обоих вариантов должно быть не менее двух и определено в зависимости от удельного электрического сопротивления грунтов. Отношение диаметра труб водораспределительной системы



Мероприятия, рекомендуемые при сооружении искусственных заземлителей в районах с большим удельным сопротивлением земли

Характеристика земли	Рекомендуемые мероприятия
$\rho > 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Устройство вертикальных заземлителей увеличенной длины, если с глубиной удельное сопротивление земли снижается, а естественные углубленные заземлители, например, скважины с металлическими обсадными трубами, отсутствуют.</li> <li>2. Устройство выносных заземлителей, если вблизи (до 2 км) от ЭУ есть места с меньшим удельным сопротивлением земли.</li> <li>3. Укладка в траншеи вокруг горизонтальных заземлителей в скальных структурах влажного глинистого грунта с последующей трамбовкой и засыпкой щебнем до верха траншеи.</li> <li>4. Применение искусственной обработки грунта в целях снижения его удельного сопротивления, если другие способы не могут быть применены или не дают необходимого уменьшения <math>\rho</math></li> </ol>
Многолетняя мерзлота	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Помещение заземлителей в непромерзающие воды и талые зоны.</li> <li>2. Использование обсадных труб скважин.</li> <li>3. Применение в дополнение к углубленным заземлителям протяженных заземлителей на глубине около 0,5 м, предназначенных для работы в летнее время при оттаивании поверхностного слоя земли.</li> <li>4. Создание искусственных талых зон путем покрытия грунта над заземлителем слоем торфа или другого теплоизоляционного материала на зимний период и раскрытия их на летний период</li> </ol>

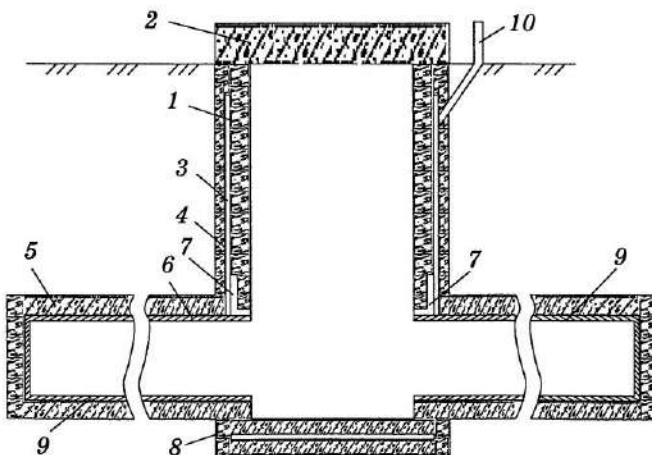


Рис. 4.3. Заземлитель для засушливых районов

к высоте емкости составляет 1:3. Длина труб определяется также с учетом удельного сопротивления. Арматурные стержни 3 емкости соединяются жестко, например, сваркой, с арматурными стержнями водораспределительной системы.

После наполнения емкости и водораспределительной системы водой проводят измерения сопротивления растеканию — заземлитель готов к работе. К выводу 10 присоединяется вывод нейтрали трансформатора или заземляющий проводник. Конструкция заземлителя предусматривает регулирование скорости фильтрации влаги подбором марки бетона при его сооружении. Заземлитель может находиться в эксплуатации в течение нескольких лет.

Предлагаемый заземлитель позволяет уменьшить трудозатраты на эксплуатацию за счет сокращения операций, связанных с ежедневным увлажнением. Пополнение влаги при его использовании производится 1 раз в 6 месяцев.

В горных районах при наличии агрессивных подземных вод глубинного происхождения, насыщенных газами, которые могут разрушить искусственное заземляющее устройство, применяется специальная конструкция заземляющего электрода. Электрод выполняется в виде цилиндра из кровельной стали высотой 2 м, диаметром 150–180 мм, заполненного электродной массой, плотно охватывающей токоведущий стержень из круглой стали. Электродная масса обычного состава, применяемого для электродов дуговых печей, является хорошим проводником электрического тока и одновременно изолирующим от влаги материалом, стойким к агрессивным водам углекислого и щелочного характера.

Заземляющие устройства ЭУ напряжением выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью в районах с большим удельным сопротивлением земли, в том числе в районах многолетней мерзлоты, рекомендуется выполнять с соблюдением требований, предъявляемых к напряжению прикосновения.

Заземляющие устройства ЭУ в районах с удельным сопротивлением горных пород более 500 Ом · м рекомендуется выполнять с соблюдением требований, обеспечивающих безопасные значения тока и напряжения прикосновения при повреждении изоляции (см. гл. 3).

В скальных горных породах допускается прокладывать горизонтальные заземлители на меньшей глубине, чем указано в п. 3.1, но не менее чем 0,15 м.

Сооружение искусственных заземлителей допускается только в тех случаях, когда расчетные значения тока и напряжения прикосновения при использовании естественных заземлителей превышают соответствующие предельно допустимые значения или не обеспечиваются нормированные значения напряжения на ЗУ в целом.

При сооружении искусственных заземлителей, в дополнение к рекомендациям п. 3.1 и п. 3.2, рекомендуется устройство вертикальных заземлителей увеличенной длины, если с глубиной удельное сопротивление горных пород снижается, а естественные протяженные заземлители (например, обсадные трубы буровых скважин) отсутствуют.

В районах многолетней мерзлоты кроме уже указанных рекомендаций следует использовать естественные вертикальные (обсадные трубы буровых скважин) и горизонтальные (трубопроводы, технологические эстакады) протяженные заземлители.

Заземляющие устройства ЭУ напряжением выше 1 кВ, а также ЭУ напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью (система IT) допускается выполнять с соблюдением требований к их сопротивлению и конструктивному выполнению (п. 3.1 и п. 3.2).

В этом случае допускается повысить требуемые настоящей главой значения норм сопротивлений заземляющих устройств в  $0,002 \rho$  раз, где  $\rho$  — эквивалентное удельное сопротивление горной породы, Ом · м.

При этом увеличение требуемых настоящей главой норм сопротивлений заземляющих устройств должно быть не более десятикратного.

---

#### **4.2. ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВУ И ПРИМЕНЕНИЮ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ И ЗАЩИТНЫХ ПРОВОДНИКОВ**

---

В каждой ЭУ должен быть предусмотрен главный заземляющий зажим или шина и к нему (или к ней) должны быть присоединены:

- заземляющие проводники;
- защитные проводники;
- проводники основной системы уравнивания потенциалов (ГОСТ 50571.10-96);

— PEN-проводники.

*Заземляющим проводником* (ЗПр) называется проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

*Защитным проводником* называется проводник в ЭУ до 1 кВ, соединяющий заземляемые части (ОПЧ) с главным заземляющим зажимом или шиной.

*Главная заземляющая шина (главный заземляющий зажим)* — это шина или зажим, являющиеся частью ЭУ электроустановки напряжением до 1 кВ и предназначенные для электрического присоединения нескольких проводников с целью заземления.

Главная заземляющая шина может быть выполнена внутри вводного устройства ЭУ напряжением до 1 кВ или отдельно от него.

В качестве главной заземляющей шины внутри вводного устройства следует использовать шину — РЕ. При отдельной установке главная заземляющая шина должна быть расположена в доступном, удобном для обслуживания месте вблизи вводного устройства. При этом сечение отдельно установленной главной заземляющей шины должно быть не менее сечения РЕ (PEN)-проводника питающей линии.

Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Выполнять главную заземляющую шину из алюминия не допускается.

В конструкции шины должна быть предусмотрена возможность индивидуального отсоединения присоединенных к ней проводников. Отсоединение должно быть возможно только с использованием инструмента.

В местах, доступных только квалифицированному персоналу (например, щитовых помещениях жилых домов), главную заземляющую шину следует устанавливать открыто.

В местах, доступных посторонним лицам (например, подъезды или подвалы 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 ⊕.

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. Шины вводных устройств и трансформаторных подстанций должны соединяться проводником уравнивания потенциалов, сечение которого

должно быть не менее половины сечения РЕ (PEN)-проводника той линии среди отходящих от щитов низкого напряжения подстанций, которая имеет наибольшее сечение. Для соединения нескольких главных заземляющих шин могут использоваться СПЧ, если они соответствуют требованиям к непрерывности и проводимости электрической цепи.

*Проводник основной системы уравнивания потенциалов* — это проводник, электрически соединяющий проводящие части друг с другом для достижения на них равных потенциалов.

*PEN-проводник* — это проводник в ЭС системы заземления TN, который одновременно выполняет функции нулевого защитного (РЕ) и нулевого рабочего (N) проводников.

Защитные проводники могут быть *естественными* и *искусственными*, *изолированными* и *неизолированными*. Для защитных проводников применяют сталь, алюминий или медь.

Защитные проводники должны представлять собой непрерывную электрическую цепь на всем протяжении длины их использования. В цепи защитных проводников не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей, кроме особых случаев, когда по условиям электро- и пожаробезопасности необходимо отключение не только токопроводящего, но и защитного проводников. В цепи PEN-проводников допускается устанавливать выключатели, которые одновременно с PEN-проводниками отключают все проводники, находящиеся под напряжением.

*Неизолированные* защитные проводники должны быть защищены от коррозии и химических воздействий. Если они проложены непосредственно в земле, их размеры, материал и условия защиты от коррозии должны отвечать требованиям, предъявляемым к заземлителям.

В качестве *естественных* заземляющих и защитных РЕ-проводников рекомендуется применять проводники, конструкции и другие элементы, проводящие электрический ток (см. в табл. 4.3).

Кроме того, в качестве РЕ-проводников в ЭУ напряжением до 1 кВ могут использоваться специально предусмотренные проводники:

- жилы многожильных кабелей;
- изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами;
- стационарно проложенные изолированные или неизолированные проводники.

**Элементы и конструкции, рекомендуемые для использования в качестве естественных заземляющих и защитных проводников**

№ п/п	Естественные заземляющие и нулевые защитные проводники	Требования к использованию
1	Стальные каркасы производственных зданий и сооружений (фермы, колонны и т. п.).	<p>Для создания непрерывной цепи могут быть использованы сварные, болтовые и заклепочные соединения, обеспечивающие кроме того строительные требования к жесткости конструкции.</p> <p>В тех местах, где такие соединения отсутствуют, должны быть предусмотрены стальные перемычки сечением не менее <math>100 \text{ мм}^2</math>, привариваемые к соединяемым конструкциям швом, общее сечение которого должно быть не менее <math>100 \text{ мм}^2</math>.</p> <p>Соединение металлических колонн с арматурой фундамента показано на рис. 4.1.</p>
2	Железобетонные каркасы производственных зданий и сооружений (арматура колонн, ригелей, плит и перекрытий и т. п.).	<p>Непрерывная электрическая цепь создается сваркой непосредственно закладных изделий, примыкающих друг к другу железобетонных элементов либо при помощи перемычек сечением не менее <math>100 \text{ мм}^2</math>, которые привариваются к закладным изделиям соединяемых железобетонных элементов.</p> <p>Закладные изделия должны быть приварены к арматуре так, чтобы общее сечение сварного шва было не менее <math>100 \text{ мм}^2</math>.</p> <p>Соединение арматуры колонн с арматурой фундаментов должно выполняться перемычкой диаметром не менее 12 мм.</p> <p>Не допускается использование железобетонных конструкций с предварительно напряженной проволочной и прядевой (канатной) арматурой.</p> <p>Также не допускается использование железобетонных конструкций с предварительно напряженной стержневой арматурой диаметром менее 12 мм.</p>
3	Металлические конструкции производственного назначения (подкрановые пути, каркасы железобетонных распределительных устройств, галереи, площадки, шахты: лифтов, подъемников, элеваторов; конструкции оформления каналов и т. п.).	Каркасы комплектных устройств можно использовать в качестве защитных проводников для ЭП, которые получают питание от этих устройств.

№ п/п	Естественные заземляющие и нулевые защитные проводники	Требования к использованию
4	Стальные трубы электропроводок.	В случае алюминиевых проводников и относительно небольших расстояний от подстанций до электроприемников могут быть использованы трубы всех диаметров. В случае медных проводников, проложенных в трубах, могут быть использованы водогазопроводные трубы диаметром не менее 51 мм, электрогазосварные трубы диаметром не менее 47 мм.
5	Алюминиевые оболочки кабелей (только для тех электроприемников, которые получают питание по этим кабелям).	Разрешается использовать металлическую оболочку кабеля для заземления или зануления струн, тросов и полос, по которым проложен этот кабель. Запрещается использовать для заземления или зануления кабельных конструкций, по которым проложены эти кабели.
6	Металлические кожухи и опорные конструкции шинпроводов, металлические короба и лотки электропроводок.	При условии, что это предусмотрено заводом-изготовителем и указано в документации. Их расположение исключает возможность механического повреждения.
7	Металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы всех назначений.	Кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, если они отделены от заземляемого оборудования.

Указанные в табл. 4.3 проводники, конструкции и элементы по проводимости должны удовлетворять требованиям гл. 5. Исключение составляют проводники, конструкции и элементы, расположенные во взрывоопасных установках.

Использование ОПЧ и СПЧ в качестве РЕ-проводников допускается, если они отвечают требованиям гл. 1.7 ПУЭ к проводимости и непрерывности электрической цепи. СПЧ могут быть использованы в качестве РЕ-проводников, если они, кроме того, одновременно отвечают следующим требованиям:

1) непрерывность электрической цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищенными от механических, химических и других повреждений;

2) их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости.

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.

Нулевые защитные проводники цепей не допускается использовать в качестве нулевых защитных проводников ЭО, питающегося по другим цепям. Также не допускается использовать открытые проводящие части ЭО в качестве нулевых защитных проводников для другого ЭО. Исключения составляют оболочки и опорные конструкции шинопроводов и комплектных устройств заводского изготовления, обеспечивающие возможность подключения к ним защитных проводников в нужном месте.

Использование специально предусмотренных защитных проводников для иных целей (молниезащиты, сигнализации и т. п.) не допускается.

В помещениях и наружных установках, в которых требуется применение заземления или зануления, эти элементы должны быть заземлены или занулены и иметь надежные соединения на всем своем протяжении. Металлические соединительные муфты и коробки должны быть присоединены к броне и к металлическим оболочкам пайкой или болтовым соединением.

Магистраль заземления или зануления и ответвления от них в закрытых помещениях и в наружных установках должны быть доступны для осмотра и иметь сечения не менее приведенных в гл. 5.

Требование о доступности для осмотра не распространяется на нулевые жилы и оболочки кабелей, на арматуру железобетонных конструкций, заземляющие и нулевые защитные проводники, проложенные в трубах и коробах, а также непосредственно в теле строительных конструкций (замоноличенные). Ответвления от магистралей к ЭП напряжением до 1 кВ допускается прокладывать только скрыто (непосредственно в стене, под чистым полом и т. п.) с их защитой от воздействия агрессивных сред. Такие ответвления не должны иметь соединений.



В наружных установках заземляющие и нулевые защитные проводники допускается прокладывать в земле, в полу или по краю площадок, фундаментов технологических установок и т. п.

Использование неизолированных алюминиевых проводников для прокладки в земле в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников не допускается.

Приведенные в табл. 4.3 проводники, конструкции и другие элементы могут служить единственными заземляющими или нулевыми защитными проводниками, если они удовлетворяют требованиям по проводимости и если обеспечена непрерывность электрической цепи на всей ее длине. Заземляющие и нулевые проводники должны быть защищены от коррозии. Каждая часть ЭУ, подлежащая заземлению или занулению, должна быть присоединена к сети заземления или зануления при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в заземляющий или нулевой защитный проводник заземляемых или зануляемых частей ЭУ не допускается (рис. 4.4).

В качестве заземляющих или нулевых защитных проводников должны быть использованы в первую очередь нулевые рабочие проводники, а затем специально предусмотренные для этой цели проводники (стальная полоса, круглая сталь), а также естественные проводники (трубы, оболочки кабелей и т. д.). Выбор вида заземляющих и нулевых защитных проводников при обеспечении равных условий безопасности обслуживания ЭУ и технического оборудования следует производить по минимуму затрат с учетом требований технической эстетики, а также с учетом требований к конструктивному исполнению, термической стойкости и сопротивлению петли «фаза—нуль» (см. гл. 5).

Заземляющий проводник должен быть надежно присоединен к заземлителю и иметь с ним удовлетворяющий требованиям ГОСТ 10434–82 электрический контакт. При использовании зажимов они не должны повреждать ни заземлитель (например, трубы), ни заземляющие проводники (ГОСТ Р 50571.10–96). В доступном месте следует предусматривать возможность разъема (отсоединения) заземляющих проводников для измерения сопротивления растеканию тока с заземляющего устройства (рис. 4.5).

Эта возможность может быть обеспечена при помощи главного заземляющего зажима или шины. Конструкция зажима должна позволять его отсоединение только при помощи инструмента, быть механически прочной и обеспечивать непрерывность электрической цепи (ГОСТ Р 50571.10–96).

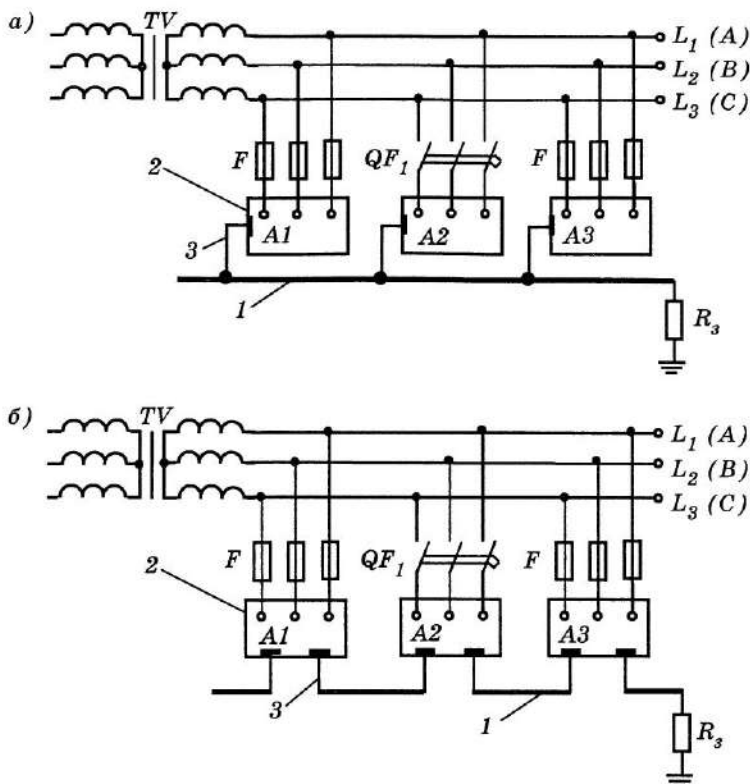


Рис. 4.4. Присоединение ОПЧ ЭУ к сети заземления (зануления): *а* — правильное присоединение; *б* — неправильное присоединение:

*1* — магистраль заземления; *2* — заземляемые части ЭУ (ОПЧ); *3* — ответвления к магистрали заземления (зануления) — защитные проводники

Специально проложенные заземляющие и нулевые защитные проводники должны иметь отличительную окраску: на зеленом фоне желтые полосы шириной 15 мм на расстоянии 150 мм одна от другой. На перемычках между конструкциями, а также в местах присоединения к ним проводников должно быть нанесено не менее двух полос желтого цвета по зеленому фону. Цветное обозначение защитных проводников в местах подключения или ответвления допускается только в тех случаях, когда обозначение по всей длине невозможно по техническим причинам или не требуется по условиям ЭБ (Инструкция по устройству сетей заземления и молниезащите).

Наименьшие площади поперечного сечения защитных проводников должны соответствовать данным, приведенным

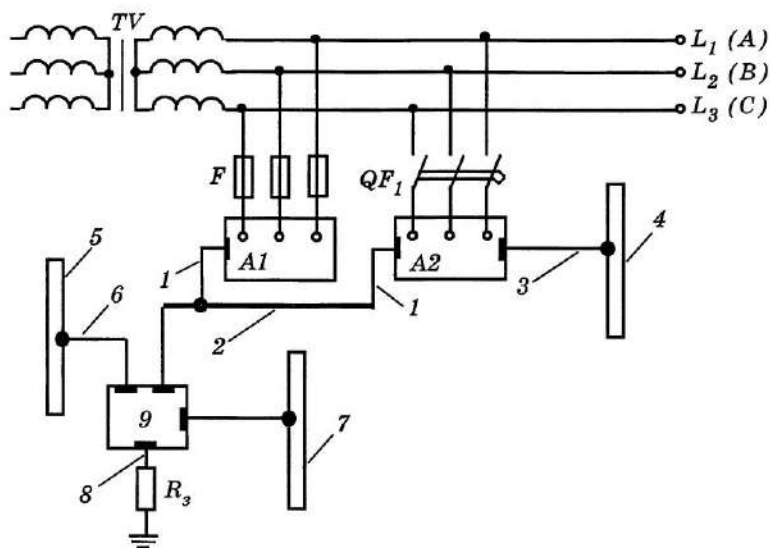


Рис. 4.5. Заземление ОПЧ электростанций:

1 — защитные проводники; 2 — магистраль заземления; 3 — дополнительный проводник системы уравнивания потенциалов; 4, 5 — металлоконструкция здания (СПЧ); 6 — главный проводник системы уравнивания потенциалов; 7 — металлический стояк (труба) водопровода; 8 — заземляющий проводник; 9 — главный зажим заземления

в табл. 4.4. Площади сечений приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Сечения защитных проводников из других материалов должны быть эквивалентны по проводимости указанным в табл. 4.4.

Заземляющий зажим оборудования установки должен допускать возможность подключения защитных проводников (ГОСТ Р 50571.10-96).

Площадь поперечного сечения защитного проводника  $S$ , мм<sup>2</sup>, допускается применять не менее значения, определяемого следующей формулой (применяется только для времени отключения не более 5 с):

Т а б л и ц а 4.4  
Наименьшие сечения защитных проводников

Сечение фазных проводников, мм	Наименьшее сечение защитных проводников, мм <sup>2</sup>
$S \leq 16$	$S$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

$$S \geq \frac{I\sqrt{t}}{k},$$

- где  $I$  — действующее значение тока короткого замыкания, протекающего через устройство защиты при пренебрежительно малом переходном сопротивлении, А;
- $t$  — выдержка времени отключающего устройства, с. Следует учитывать ограничения тока сопротивлением цепи и ограничивающую способность (интеграл Джоуля) устройства защиты;
- $k$  — коэффициент, значение которого зависит от материала защитного проводника, его изоляции, начальной и конечной температур. (Формула для расчета  $k$  приведена на с. 197.) Значения  $k$  для защитных проводников в различных условиях указаны в табл. 4.5–4.8.

Т а б л и ц а 4.5  
Значения коэффициента  $k$  для изолированных защитных проводников, не входящих в кабель, и для неизолированных проводников, касающихся оболочки кабелей

Параметр	Тип изоляции защитных проводников или кабелей		
	Поливинилхлорид (ПВХ)	Шитый полиэтилен, этиленпропиленовая резина	Бутиловая резина
Конечная температура, °С	160	250	220
Коэффициент $k$ для проводника:			
— медного	143	176	166
— алюминиевого	95	116	110
— стального	52	64	60

П р и м е ч а н и е. Начальная температура проводника принята равной 30 °С.

Т а б л и ц а 4.6  
Значения коэффициента  $k$  для защитного проводника, входящего в многожильный кабель

Параметр	Материал изоляции		
	Поливинилхлорид (ПВХ)	Шитый полиэтилен, этиленпропиленовая резина	Бутиловая резина
Начальная температура, °С	70	90	85
Конечная температура, °С	160	250	220
Коэффициент $k$ для проводника:			
— медного	115	143	134
— алюминиевого	76	94	89

Таблица 4.7

Значения коэффициента  $k$  при использовании в качестве защитного проводника оболочки или брони кабеля

Параметр	Материал изоляции		
	Поливинилхлорид (ПВХ)	Шитый полиэтилен, этиленпропиленовая резина	Бутиловая резина
Начальная температура, °C	60	80	75
Конечная температура, °C	160	250	220
Коэффициент $k^*$ для проводника:			
— алюминиевого	81	98	93
— свинцового	22	27	26
— стального	44	54	51

\* Значения  $k$  для проводников, изготовленных из алюминия, свинца или стали, которые в МЭК 364-5-54-80 не указаны.

Таблица 4.8

Значения коэффициента  $k$  для неизолированных проводников для условий, когда указанные температуры не создают опасности повреждения близлежащих материалов

Материал проводника	Условия	Проводники		
		проложенные открыто и в специально отведенных местах	эксплуатируемые в среде	
			нормальной	пожароопасной
Медь	Максимальная температура, °C	500*	200	150
	$k$	228	159	138
Алюминий	Максимальная температура, °C	300*	200	150
	$k$	125	105	91
Сталь	Максимальная температура, °C	500*	200	150
	$k$	82	58	50

\* Указанные температуры допускаются только при условии, что они не ухудшают качество соединений.

Примечание. Начальная температура проводника принята равной 30 °C (ГОСТ Р 50571.10-96).

Если в результате расчета по формуле получается нестандартное сечение, следует использовать проводники ближайшего большего стандартного сечения.

При этом учитывают следующие условия:

1. Необходимо, чтобы сечение, рассчитанное таким образом, соответствовало условиям, определяемым сопротивлением цепи «фаза—нуль».

2. Значение максимальной температуры для ЭУ во взрывоопасных зонах устанавливают по ГОСТ 22782.0–96.

3. Следует учитывать максимально допустимые температуры зажимов.

Коэффициент  $k$  определяют по формуле, используя значения параметров из табл. 4.9:

$$k = \sqrt{\frac{Q_C (B + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \left( 1 + \frac{\Theta_j + \Theta_i}{B + \Theta_j} \right)},$$

где  $Q_C$  — объемная теплоемкость материала проводника, Дж/(°С · мм<sup>3</sup>);

$B$  — величина, обратная температурному коэффициенту сопротивления при 0 °С для проводника;

$\rho_{20}$  — удельное электрическое сопротивление материала проводника при 20 °С, Ом · мм;

$\Theta_i$  — начальная температура проводника, °С;

$\Theta_j$  — конечная температура проводника, °С.

*Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники (PEN-проводники).* В многофазных цепях в системе TN для стационарно проложенных кабелей, жилы которых имеют площадь поперечного сечения не менее 10 мм<sup>2</sup> по меди или 16 мм<sup>2</sup> по алюминию, функции нулевого защитного (PE) и нулевого рабочего (N) проводников могут быть совмещены в одном проводнике (PEN-проводник).

Не допускается совмещение функций нулевого защитного и нулевого рабочего проводников в цепях однофазного

Таблица 4.9  
Значения параметров для определения коэффициента  $k$

Материал	$B, ^\circ\text{C}$	$Q_C, \text{ Дж}/(^\circ\text{C} \cdot \text{мм}^3)$	$\rho_{20}, \text{ Ом} \cdot \text{мм}$	$\sqrt{\frac{Q_C(B+20)}{\rho_{20}}}$
Медь	234,5	$3,45 \times 10^{-3}$	$17,241 \times 10^{-6}$	226
Алюминий	228	$2,5 \times 10^{-3}$	$28,264 \times 10^{-6}$	148
Свинец	230	$1,45 \times 10^{-3}$	$214 \times 10^{-6}$	42
Сталь	202	$3,8 \times 10^{-3}$	$138 \times 10^{-6}$	78

и постоянного тока. В качестве нулевого защитного проводника в таких цепях должен быть предусмотрен отдельный третий проводник. Это требование не распространяется на ответвления от ВЛЭП напряжением до 1 кВ к однофазным потребителям электроэнергии.

Не допускается использование СПЧ в качестве единственного PEN-проводника.

Это требование не исключает использования ОПЧ и СПЧ в качестве дополнительного PEN-проводника при присоединении их к системе уравнивания потенциалов.

Специально предусмотренные PEN-проводники должны соответствовать требованиям табл. 4.4 к сечению защитных проводников, а также требованиям гл. 2.1 ПУЭ к нулевому рабочему проводнику.

Изоляция PEN-проводников должна быть равноценна изоляции фазных проводников. Не требуется изолировать шину PEN сборных шин низковольтных комплектных устройств.

Когда нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, начиная с какой-либо точки ЭУ, 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.

*Проводники системы уравнивания потенциалов.* В качестве проводников системы уравнивания потенциалов в ЭУ напряжением до 1 кВ могут быть использованы открытые проводящие части ЭУ (алюминиевые оболочки кабелей, стальные трубы электропроводок, металлические оболочки и опорные конструкции шинопроводов и комплектных устройств заводского изготовления) и сторонние проводящие части (металлические строительные конструкции зданий и сооружений, арматура железобетонных строительных конструкций зданий, металлические конструкции производственного назначения), указанные в п. 1.7.121 ПУЭ, или специально проложенные проводники или их сочетание.

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника ЭУ, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает  $25 \text{ мм}^2$  по меди или равноценное ему по проводимости из других

материалов. Применение проводников большего сечения, как правило, не требуется. Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов в любом случае должно быть не менее: медных —  $6 \text{ мм}^2$ , алюминиевых —  $16 \text{ мм}^2$ , стальных —  $50 \text{ мм}^2$ .

Сечение проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов должно быть:

— при соединении двух ОПЧ — не менее сечения меньшего из защитных проводников, подключенных к этим частям;

— при соединении ОПЧ и сторонней проводящей части — не менее половины сечения защитного проводника, подключенного к ОПЧ.

Сечения медных защитных проводников дополнительного уравнивания потенциалов, не входящих в состав кабеля или проложенных не в общей оболочке (трубе, коробе, на одном лотке) с фазными проводниками, должны быть не менее  $2,5 \text{ мм}^2$  — при наличии механической защиты и  $4 \text{ мм}^2$  — при отсутствии механической защиты.

Сечение отдельно проложенных защитных алюминиевых проводников должно быть не менее  $16 \text{ мм}^2$ .

---

#### **4.3. УСТРОЙСТВО ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАЩИТНОГО ЗАНУЛЕНИЯ ПЕРЕНОСНЫХ И ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ**

---

К *переносным электроприемникам* (ПнЭП) относятся электроприемники, которые могут находиться в руках человека в процессе их эксплуатации (ручной электроинструмент, переносные бытовые электроприборы, переносная радиоэлектронная аппаратура и т. п.).

Питание переносных электроприемников переменного тока следует выполнять от сети напряжением не выше  $380/220 \text{ В}$ .

В зависимости от категории помещения по уровню опасности поражения людей электрическим током (классификация помещений представлена в п. 1.5) для защиты при косвенном прикосновении в цепях, питающих переносные электроприемники, могут быть применены автоматическое отключение питания, защитное электрическое



разделение цепей, сверхнизкое напряжение, двойная изоляция (см. п. 1.6).

При применении автоматического отключения питания металлические корпуса переносных электроприемников, за исключением электроприемников с двойной изоляцией, должны быть присоединены к нулевому защитному проводнику в системе TN или заземлены в системе IT, для чего должен быть предусмотрен специальный защитный (PE) проводник, расположенный в одной оболочке с фазными проводниками (третья жила кабеля или провода — для электроприемников однофазного и постоянного тока, четвертая или пятая жила — для электроприемников трехфазного тока), присоединяемый к корпусу электроприемника и к защитному контакту вилки штепсельного соединителя (рис. 4.6, 1, 2; рис. 4.7).

PE-проводник должен быть медным, гибким, а его сечение должно равняться сечению фазных проводников. Использование для этой цели нулевого рабочего (N) проводника, в том числе расположенного в общей оболочке с фазными проводниками, не допускается (рис. 4.6, 3).

Допускается применять стационарные и отдельные переносные защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов для переносных ЭП, испытательных лабораторий и экспериментальных установок, перемещение которых в период их работы не предусматривается. При этом стационарные проводники должны удовлетворять требованиям пп. 1.7.121–1.7.130 ПУЭ, а переносные проводники

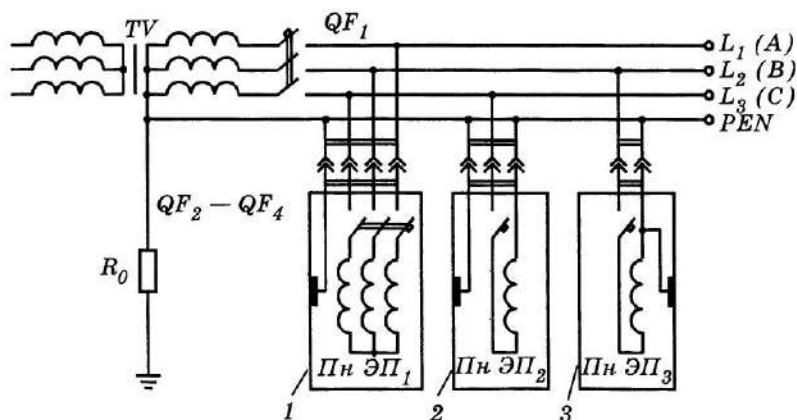


Рис. 4.6. Защитное зануление переносных электроприемников, питающихся от трехфазной четырехпроводной сети системы заземления TN-C

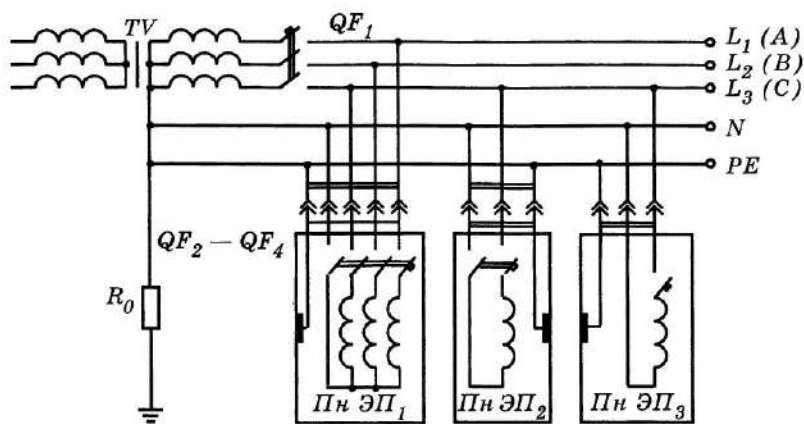


Рис. 4.7. Защитное зануление переносных электроприемников, питающихся от трехфазной пятипроводной сети системы заземления TN-S

должны быть медными, гибкими и иметь сечение не меньше, чем у фазных проводников.

Во всех случаях сечение медных защитных проводников, не входящих в состав кабеля или проложенных не в общей оболочке (в трубе, коробе, на одном лотке) с фазными проводниками, должно быть не менее  $2,5 \text{ мм}^2$  — при наличии механической защиты и  $4 \text{ мм}^2$  — при ее отсутствии.

Сечение отдельно проложенных защитных алюминиевых проводников должно быть не менее  $16 \text{ мм}^2$ .

При подключении переносных ЭП от штепсельных розеток внутренней и наружной установок их номинальный ток должен быть не более 20 А, а если к ним могут подключаться переносные ЭП, используемые вне зданий либо в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, то они должны быть защищены УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

Допускается применение ручного электроинструмента, оборудованного УЗО-вилками.

При применении защитного электрического разделения цепей в стесненных помещениях с проводящими полами, стенами и потолком, а также в других помещениях с особой опасностью, каждая розетка должна питаться от индивидуального разделительного трансформатора или от его отдельной обмотки.

При применении сверхнизкого напряжения питание переносных электроприемников напряжением до 50 В должно осуществляться от безопасного разделительного трансформатора.

Для присоединения переносных электроприемников к питающей сети следует применять штепсельные соединители, соответствующие следующим требованиям:

— 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;

— если корпус штепсельной розетки выполнен из металла, он должен быть присоединен к защитному контакту этой розетки.

В штепсельных соединителях для переносных ЭП, удлинительных проводов и кабелей проводник со стороны источника питания должен быть присоединен к розетке, а со стороны электроприемника — к вилке.

УЗО для защиты розеточных цепей рекомендуется размещать в распределительных (групповых, квартирных) щитках. Допускается применять УЗО-розетки.

Втычные соединители должны иметь специальные контакты, к которым присоединяются заземляющие и нулевые защитные проводники (рис. 4.8). Соединение между этими контактами при включении должно устанавливаться до того, как контакты фазных проводников войдут в соприкосновение. Порядок разъединения контактов при отключении должен быть обратным: в начале отключаются фазные проводники, а затем заземляющие и нулевые.

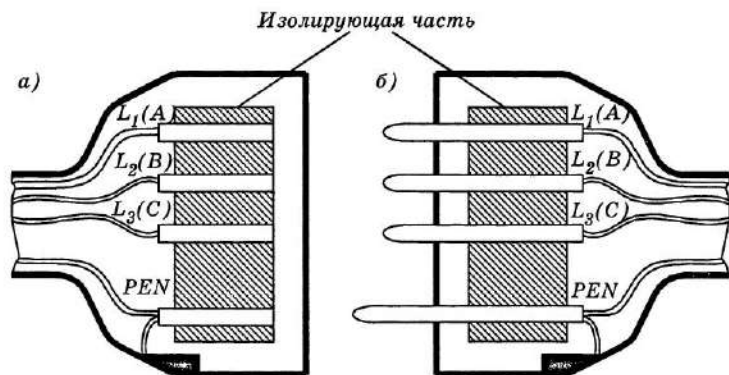


Рис. 4.8. Втычной соединитель (разъем) для подключения ПнЭП к электрической сети заземления TN-C: а — розетка; б — вилка

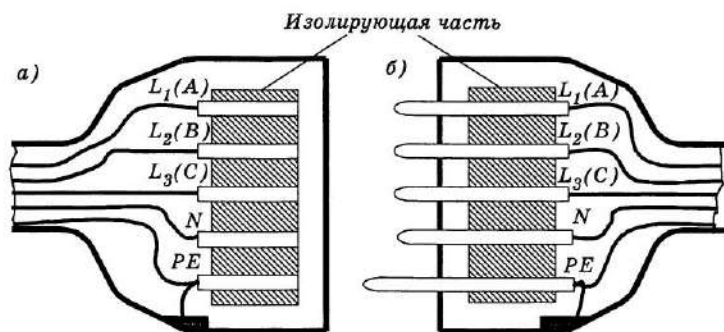


Рис. 4.9. Втычной соединитель (разъем) для подключения ПнЭП к электрической сети системы заземления TN-S: а — розетка; б — вилка

На рис. 4.9 представлен втычной соединитель для подключения ПнЭП к электрической сети системы заземления TN-S. Конструкция втычных соединителей должна быть такой, чтобы была исключена возможность соединения контактов фазных проводников с контактами защитного зануления.

На рис. 4.10 представлены варианты конструкции розеток втычных соединителей, исключающих возможность соединения контактов фазных проводников с контактами защитного зануления.

Если корпус втычного соединителя выполнен из металла, он должен быть электрически соединен с контактом защитного заземления (защитного зануления) (см. рис. 4.8, 4.9).

Защитные проводники переносных проводов и кабелей должны иметь отличительный признак или маркировку и обозначаться желто-зелеными полосами.

Маркировка выполняется на обоих концах каждого проводника. На коротких, отчетливо просматриваемых проводниках допускается наносить маркировку

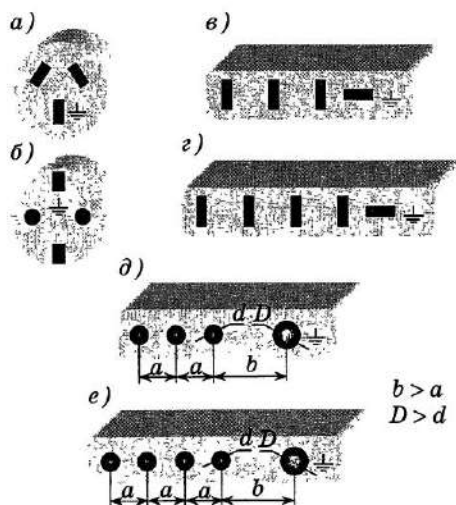


Рис. 4.10. Типы розеток втычных соединителей: а, б — однофазные; в, д — трехфазные четырехпроводные; г, е — трехфазные пятипроводные

с одной стороны. Ответные части одного и того же втычного соединителя должны иметь одинаковую маркировку. Наносить маркировка должна на корпуса ответных частей на видных местах. Допускается не наносить маркировку, если разъем данного типа в изделии — единственный.

К передвижным ЭУ относятся автономные передвижные источники питания (ПИП) и *передвижные электроприемники* (ПдЭП).

*Автономный передвижной источник питания электроэнергией* — такой источник, который позволяет осуществлять питание потребителей независимо от стационарных источников электроэнергии (энергосистемы).

ПИП могут использоваться для питания электроприемников стационарных или передвижных ЭУ, которые могут получать питание от стационарных или автономных передвижных источников электроэнергии.

Питание от стационарной электрической сети должно, как правило, выполняться от источника с глухозаземленной нейтралью с применением систем TN-S или TN-C-S. Объединение функций нулевого защитного проводника PE и нулевого рабочего проводника N в одном общем проводнике PEN внутри передвижной ЭУ не допускается. Разделение PEN-проводника питающей линии на PE- и N-проводники должно быть выполнено в точке подключения установки к источнику питания.

При питании от автономного передвижного источника его нейтраль, как правило, должна быть изолирована.

При питании стационарных электроприемников от автономных передвижных источников питания режим нейтрали источника питания и меры защиты должны соответствовать режиму нейтрали и мерам защиты, принятым для стационарных электроприемников.

Нейтраль генератора необходимо заземлять на заземляющее устройство сооружения. Если же сооружение не имеет заземляющего устройства, нейтраль ПИП заземляют, используя для этой цели штатные заземлители последнего (их сопротивление  $R_{зи}$  показано на рис. 4.11).

В случае питания передвижной ЭУ от стационарного источника питания для защиты при косвенном прикосновении должно быть выполнено автоматическое отключение питания. При выполнении автоматического отключения питания в электроустановках напряжением до 1 кВ все открытые проводящие части должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания, если применена система

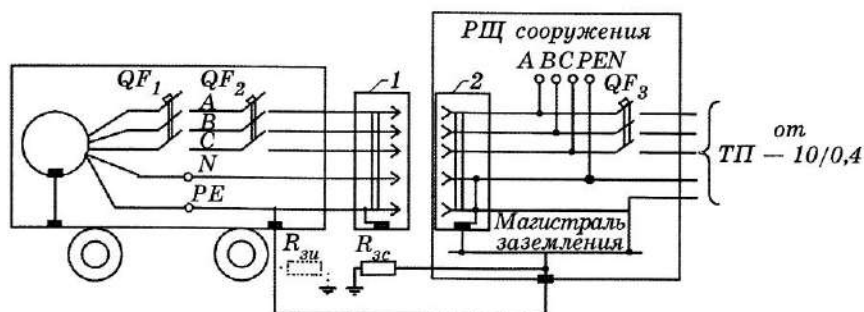


Рис. 4.11. Схема питания стационарной электрической сети от передвижного источника питания:

$R_{зс}$  и  $R_{зи}$  — соответственно сопротивления заземляющих устройств сооружения и передвижного источника питания; 1 и 2 — соответственно вилка и розетка втычного соединителя источника и сооружения

TN, и заземлены, если применены системы IT или TT. При этом характеристики защитных аппаратов и параметры защитных проводников должны быть согласованы, чтобы обеспечилось нормированное время отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом в соответствии с номинальным фазным напряжением питающей сети.

В ЭУ, в которых в качестве защитной меры применено автоматическое отключение питания, должно быть выполнено уравнивание потенциалов.

Для автоматического отключения питания могут быть применены защитно-коммутационные аппараты, реагирующие на сверхтоки или на дифференциальный ток.

В ЭС системы заземления TN время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл. 4.10.

Приведенные значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса 1.

Т а б л и ц а 4.10  
Наибольшие допустимые времена защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение $U_0$ , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и другие щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

Допускаются значения времени отключения большие, чем указано в табл. 4.10, но не более 5 с в цепях, питающих только стационарные электроприемники от распределительных щитов или щитков при выполнении одного из следующих условий:

1) полное сопротивление защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом:

$$50 \cdot Z_{\text{ц}} / U_0,$$

где  $Z_{\text{ц}}$  — полное сопротивление цепи «фаза—нулевой защитный проводник», Ом;

$U_0$  — номинальное фазное напряжение цепи, В;

50 — падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком, В;

2) к шине РЕ распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же СПЧ, что и основная система уравнивания потенциалов.

Допускается применение УЗО, реагирующих на дифференциальный ток. В случае питания ПдЭП от стационарного источника ЭП для защиты при косвенном прикосновении должно быть выполнено автоматическое отключение питания устройством защиты от сверхтока.

При этом времена отключения, приведенные в табл. 4.10, должны быть уменьшены вдвое либо дополнительно к устройству защиты от сверхтоков должно быть применено устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток.

Не допускается применять УЗО, реагирующие на дифференциальный ток, в четырехпроводных трехфазных цепях (система TN-C). В случае необходимости применения УЗО для защиты отдельных электроприемников, получающих питание от системы TN-C, защитный РЕ-проводник электроприемника должен быть подключен к PEN-проводнику цепи, питающей электроприемник, до защитно-коммутационного аппарата.

В системе IT время автоматического отключения питания при двойном замыкании на открытые проводящие части должно соответствовать табл. 4.11.

Т а б л и ц а 4.11  
 Наибольшие допустимые времена защитного автоматического отключения для системы IT

Номинальное линейное напряжение $U_0$ , В	Время отключения, с
220	0,8
380	0,4
660	0,2
Более 660	0,1

В специальных ЭУ допускается применение УЗО, реагирующих на потенциал корпуса относительно земли.

При питании ПдЭП от стационарных источников с глухозаземленной нейтралью должны выполняться следующие технические способы защиты: защитное зануление (рис. 4.12, 1), защитное зануление в сочетании с защитным отключением (рис. 4.12, 2), защитное отключение (рис. 4.12, 3) или защитное зануление в сочетании с повторным заземлением (рис. 4.12, 4).

В точке подключения передвижной ЭУ к источнику питания должно быть установлено устройство защиты от сверхтоков и УЗО, реагирующее на дифференциальный ток, номинальный отключающий дифференциальный ток которого должен быть на 1–2 ступени больше соответствующего тока УЗО, установленного на вводе в передвижную ЭУ.

При необходимости на вводе в передвижную ЭУ может быть применено защитное электрическое разделение цепей.

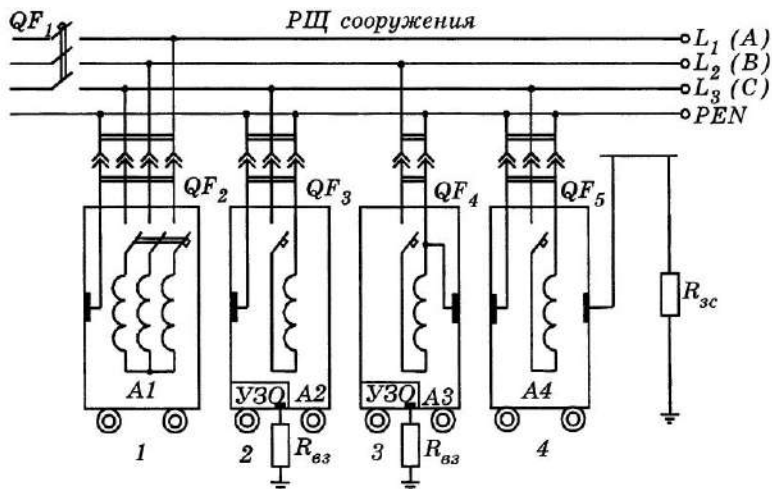


Рис. 4.12. Технические способы защиты от замыкания на корпус при питании передвижных электроустановок от стационарной электрической сети с глухозаземленной нейтралью



При этом разделительный трансформатор, а также вводное защитное устройство должны быть помещены в изолирующую оболочку.

Устройство присоединения ввода питания в передвижную ЭУ должно иметь двойную изоляцию. Наибольшее рабочее напряжение отделяемой цепи не должно превышать 500 В.

Питание отделяемой цепи должно быть выполнено от разделительного трансформатора, соответствующего ГОСТ 30030 «Трансформаторы разделительные и безопасные разделительные трансформаторы» или от другого источника, обеспечивающего равноценную степень безопасности.

В вводном распределительном устройстве в передвижной ЭУ должна быть предусмотрена главная шина уравнивания потенциалов, удовлетворяющая требованиям п. 4.2 к главной заземляющей шине, к которой должны быть присоединены:

- нулевой защитный проводник РЕ передвижной ЭУ или защитный проводник РЕ питающей линии;
- защитный проводник передвижной ЭУ с присоединенными к нему защитными проводниками ОПЧ;
- проводники уравнивания потенциалов корпуса и других СПЧ передвижной ЭУ;
- заземляющий проводник, присоединенный к местному заземлителю передвижной ЭУ (если он имеется).

При необходимости ОПЧ и СПЧ должны быть соединены между собой посредством проводников дополнительного уравнивания потенциалов.

При питании ПдЭП от ПИП нейтраль его генератора должна быть изолированной, а в качестве технических способов защиты от замыканий на корпуса ПдЭП должны быть выполнены защитное заземление корпуса ПИП в сочетании с металлической связью его с корпусами ПдЭП или с защитным отключением (рис. 4.13).

Защитное заземление передвижной ЭУ в системе ИТ должно быть выполнено с соблюдением требований либо к его сопротивлению, либо к напряжению прикосновения при однофазном замыкании на ОПЧ.

При выполнении заземляющего устройства с соблюдением требований к его сопротивлению значение сопротивления ЗУ не должно превышать 25 Ом. Допускается повышение указанного сопротивления, если удельное сопротивление земли большее (более 500 Ом · м), а рекомендуемые мероприятия по его снижению, приведенные ниже, оказались неэффективными:

1) устройство вертикальных заземлителей увеличенной длины, если с глубиной удельное сопротивление снижается;

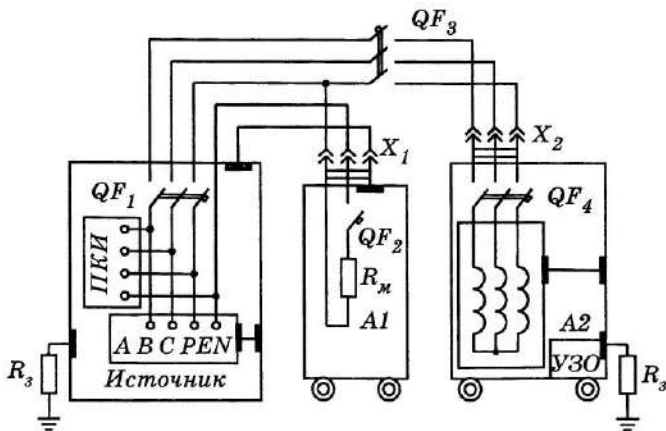


Рис. 4.13. Технические средства и способы защиты от замыкания на корпус при питании передвижных электроустановок от передвижного источника

2) укладка вокруг вертикальных заземлителей в скальных грунтах влажного глинистого грунта с последующей трамбовкой и засыпкой щебнем до верха траншеи;

3) применение искусственной обработки грунта для снижения его удельного сопротивления;

4) помещение заземлителей в непромерзающие водоемы и талые воды;

5) создание искусственных талых вод.

Если указанные мероприятия не позволяют получить приемлемые по экономическим соображениям заземлители, то допускается повысить требуемые настоящей главой значения сопротивлений заземляющих устройств в  $0,002 \rho$  раз, где  $\rho$  — эквивалентное удельное сопротивление земли ( $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ).

При этом увеличение нормативных сопротивлений заземляющих устройств должно быть не более десятикратного.

При выполнении заземляющего устройства с соблюдением требований к напряжению прикосновения сопротивление заземляющего устройства не нормируется. В этом случае должно быть выполнено условие:

$$R_3 \leq 25/I_3,$$

где  $R_3$  — сопротивление заземляющего устройства передвижной электроустановки, Ом;

$I_3$  — полный ток однофазного замыкания на ОПЧ передвижной ЭУ, А.

Допускается не выполнять местный заземлитель для защитного заземления передвижной ЭУ, питающейся от автономного передвижного источника питания с изолированной нейтралью, в следующих случаях:

1) автономный источник питания и электроприемники расположены непосредственно на передвижной ЭУ, их корпуса соединены между собой при помощи защитного проводника, а к источнику питания не подключены другие ЭУ;

2) автономный передвижной источник питания имеет свое заземляющее устройство для защитного заземления, все ОПЧ передвижной ЭУ, ее корпус и другие СПЧ надежно соединены с корпусом автономного передвижного источника при помощи защитного проводника, а при двухфазном замыкании на разные корпуса ЭО в передвижной ЭУ обеспечивается в соответствии требованиям табл. 4.11 время автоматического отключения питания.

Выполнение электрической связи корпусов ПдЭП с ПИП вызвано следующими обстоятельствами.

Во-первых, сооружение заземляющих устройств для отдельных передвижных ЭУ экономически нецелесообразно и трудно исполнимо, так как сопротивление каждого из них не должно превышать 25 Ом.

Во-вторых, если заземлить корпуса ПдЭП и ПИП на индивидуальные заземлители, то, при замыкании двух различных фаз на корпуса двух передвижных ЭУ (рис. 4.14), оба корпуса окажутся под опасным напряжением.

Действительно, если сопротивления заземляющих устройств ПдЭП А1 и А2 равны ( $R_{зА1} = R_{зА2}$ ), то при замыканиях их корпуса окажутся под падением напряжения, равным половине линейного напряжения сети (при  $U_{л} = 380$  В это составляет 190 В).

Наличие же электрической связи между корпусом ПИП и корпусами ПдЭП приводит к тому, что двойное замыкание превращается в междуфазное короткое замыкание, вызывающее срабатывание защиты и отключение поврежденных ПдЭП от генератора ПИП (см. рис. 4.14).

Автономные передвижные источники питания с изолированной нейтралью должны иметь устройство непрерывного контроля сопротивления изоляции относительно корпуса (земли) со световым и звуковым сигналами. Должна быть обеспечена возможность проверки исправности устройства контроля изоляции и его отключения.

Допускается не устанавливать устройство непрерывного контроля изоляции с действием на сигнал на передвижной

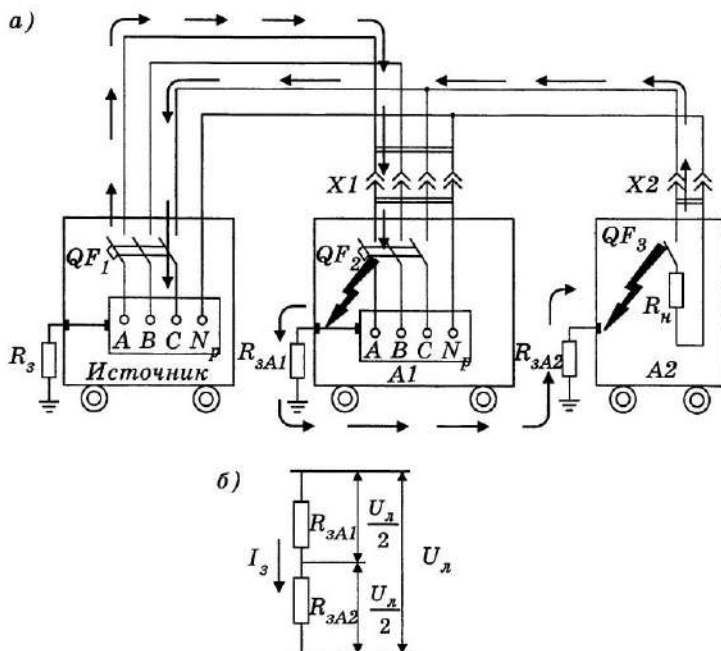


Рис. 4.14. Двухфазное замыкание при заземлении передвижных электроприемников на индивидуальные заземлители:  
*а* — схема электрического питания потребителей А1, А2 от передвижного источника электрической энергии; *б* — схема замещения при коротком замыкании у потребителей

ЭУ, питающейся от автономного передвижного источника, имеющего электрическую связь с ПдЭП, если при этом автономный передвижной источник питания имеет свое ЗУ, а все ОПЧ передвижной ЭУ и СПЧ надежно соединены с корпусом автономного передвижного источника при помощи защитного проводника, а при двухфазном замыкании на разные корпуса ЭО в передвижной ЭУ обеспечивается время автоматического отключения питания в соответствии с табл. 4.11.

Защита от прямого прикосновения в передвижных ЭУ должна быть обеспечена применением изоляции ТВЧ, ограждений и оболочек со степенью защиты не менее IP 2X. Применение барьеров и размещение проводящих частей вне пределов досягаемости не допускается.

В цепях, питающих штепсельные розетки для подключения ЭО, используемого вне помещения передвижной установки, должна быть выполнена дополнительная защита.

Как указывалось ранее, для дополнительной защиты от прямого прикосновения и при косвенном прикосновении

штепсельные розетки с номинальным током не более 20 А наружной установки, а также внутренней установки, но к которым могут быть подключены переносные электроприемники, используемые вне зданий либо в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, должны быть защищены устройствами защитного отключения с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА. Допускается применение ручного электроинструмента, оборудованного УЗО-вилками.

При выполнении в передвижных ЭУ системы уравнивания потенциалов защитные и заземляющие проводники и проводники уравнивания потенциалов должны быть медными, гибкими, как правило, находиться в общей оболочке с фазными проводниками. Сечение проводников должно соответствовать требованиям: защитных — табл. 4.4; заземляющих — табл. 4.12; уравнивания потенциалов — пп. 1.7.136–1.7.138 ПУЭ.

При применении системы IT допускается прокладка защитных и заземляющих проводников и проводников уравнивания потенциалов в общей оболочке с фазными проводниками.

Т а б л и ц а 4.12

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	16	—	—
	для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	100	4
	Угловой	—	100	4
	Трубный	32	—	3,5
Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	12	—	—
	для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	75	3
	Трубный	25	—	2
Медь	Круглый	12	—	—
	Прямоугольный	—	50	2
	Трубный	20	—	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	—

\* Диаметр каждой проволоки.

нивания потенциалов отдельно от фазных проводников; одновременное отключение всех проводников линии, питающей передвижную ЭУ, включая защитный проводник при помощи одного коммутационного аппарата (разъема).

Если передвижная ЭУ питается с использованием штепсельных соединителей, вилка штепсельного соединителя должна быть подключена со стороны передвижной ЭУ и иметь оболочку из изолирующего материала.

Питание ЭУ животноводческих помещений следует, как правило, выполнять от ПИП напряжением 380/220 В переменного тока. Для защиты людей и животных при косвенном прикосновении должно быть выполнено автоматическое отключение питания с применением системы TN-C-S. Разделение PEN-проводника на нулевой защитный (PE) и нулевой рабочий (N) проводники следует выполнять на вводном щитке.

Время защитного автоматического отключения питания в помещениях для содержания животных, а также в помещениях, связанных с ними при помощи сторонних проводящих частей, должно соответствовать табл. 4.13.

Если указанное время отключения не может быть гарантировано, необходимы дополнительные защитные меры, например, дополнительное уравнивание потенциалов. PEN-проводник от ПИП на вводе в помещение должен быть повторно заземлен.

Устройство выравнивания и уравнивания электрических потенциалов должно обеспечивать в нормальном режиме работы ЭО напряжение прикосновения не более 0,2 В, а в аварийном режиме при времени отключения более указанного в табл. 4.13 для ЭУ в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках — не более 12 В.

Для всех групповых цепей, питающих штепсельные розетки, должна быть выполнена дополнительная защита от прямого прикосновения при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

В животноводческих помещениях, в которых отсутствуют условия, требующие выполнения выравнивания потенциалов,

Таблица 4.13

Наибольшие допустимые времена защитного автоматического отключения для системы TN в помещениях для содержания животных

Номинальное фазное напряжение $U_0$ , В	127	220	380
Время отключения, с	0,35	0,2	0,05

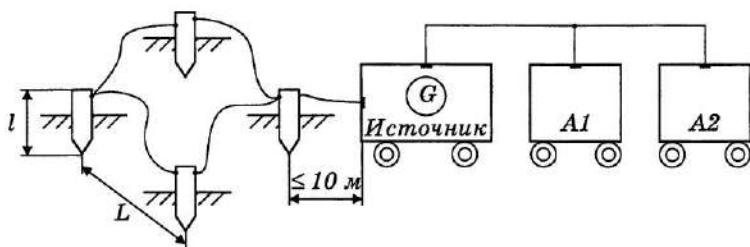


Рис. 4.15. Заземляющее устройство для передвижного источника питания

и они запитаны от ПИП, должна быть выполнена защита с использованием УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не менее 100 мА, устанавливаемых на вводном щитке.

Для достижения требуемого сопротивления (не более 25 Ом) заземляющее устройство ПИП сооружают с групповым выносным заземлителем (рис. 4.15); при этом электроды заземлителя располагают друг от друга на расстояниях не менее их длины ( $L > l$ ) и надежно соединяют между собой гибкими медными проводниками сечением не менее  $4 \text{ мм}^2$ . Запрещается использовать для этих целей алюминиевые провода.

Электроды и все болтовые соединения не должны иметь окраски и смазки. Наиболее распространены стержневые электроды диаметром 15–20 мм и длиной 1,5–2 м. Их забивают в землю на глубину 1,5 м (и вынимают из земли) с помощью специальных приспособлений, входящих в комплект ПИП. Сопротивление растеканию тока у таких электродов значительно меньше, чем у буров (табл. 4.14).

Корпуса электроприемников передвижной установки должны иметь надежную металлическую связь с корпусом этой установки. При этом прокладка специальных проводников электрической связи не требуется в следующих случаях.

Таблица 4.14

Сопротивление растеканию тока у трубчатых и стержневых электродов

Грунт	Удельное сопротивление грунта, Ом · см · 10 <sup>4</sup>	Сопротивление растеканию тока в земле, Ом	
		бур	стержень длиной 2,0 м
Очень влажная глина	0,05–0,09	76–79	24–39
Суглинок летом (влажный)	0,2–0,3	98–100	52–85
Суглинок зимой	1,2–1,9	820–890	400–560
Песок	2,9–3,7	3500–5000	1200–2540

1. Корпуса ЭО, аппаратов и электромагнитных устройств установлены на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, распределительных устройствах, на щитах, шкафах, станинах станков, машин и механизмов, при условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными и зануленными основаниями.

2. Конструкции, перечисленные выше, имеют надежный электрический контакт между этими конструкциями и установленным на них заземленным или зануленным ЭО. При этом указанные конструкции не могут быть использованы для защитного заземления или защитного зануления установленного на них другого ЭО.

3. На съемных или открывающихся частях неметаллических каркасов, камер, распределительных устройств, шкафов, ограждений и т. п. не установлено ЭО или напряжение установленного ЭО не превышает 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока (исключение — см. гл. 7.3 ПУЭ).

4. Корпуса электроприемников имеют двойную изоляцию.

5. Металлические скобы, закрепы, отрезки труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия и другие подобные детали, в том числе протяженные и осветительные коробки размером до 100 см<sup>2</sup> электропроводок, выполнены кабелями или изолированными проводами, проложенными по стенам, перекрытиям и другим элементам строений.

При выполнении электрической связи корпуса источника питания с корпусом передвижной установки в качестве РЕ-проводников электрической связи корпусов ЭО может использоваться специальная жила кабеля в трехфазных и однофазных сетях с системами заземления TN-S и IT.

Защитные проводники, включая проводники электрической связи корпусов оборудования, должны быть медными, находиться в общей оболочке с фазными проводниками и иметь равное с ними сечение.

В автономных передвижных источниках электроэнергии трехфазного тока допускается использование PEN-проводника на участке от нейтрали генератора до зажимов на щите распределительного устройства (система заземления TN-C).

В передвижных ЭУ с автономными передвижными источниками питания допускается наличие разъединяющих приспособлений в цепях всех проводников (фазных, нулевых, защитных). При этом разъединяющие приспособления должны отключать все фазные и нулевые проводники



одновременно с отключением защитных проводников или ранее них.

В случае применения в качестве меры защиты в передвижных ЭУ защитного отключения, питающее напряжение должно отключаться устройствами, установленными до ввода в установку, при этом рекомендуется, чтобы в зону защиты входил и кабель, используемый для электроснабжения указанных передвижных ЭУ (см. рис. 4.13).

---

#### 4.4. ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВУ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАЩИТНОГО ЗАНУЛЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

---

Защитное заземление (защитное зануление) установок электрического освещения должно выполняться в соответствии с требованиями, изложенными в гл. 2 и п. 3.3; 3.4; 3.6 настоящего справочника. При этом необходимо учитывать особенности и дополнительные требования, которые будут изложены ниже.

При заземлении частей электроосветительной установки в сетях с изолированной нейтралью в качестве заземляющих проводников допускается использовать трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей, металлические конструкции, заземляющие жилы кабелей, специально проложенные провода, а в сетях с заземленной нейтралью — РЕ- и PEN-проводники.

В нулевом рабочем проводнике не следует устанавливать предохранители, выключатели и другие разъединяющие устройства. В цепи PEN-проводников допускается применять выключатели, которые одновременно с отключением PEN-проводников отключают все провода, находящиеся под напряжением.

Защитное заземление металлических корпусов светильников общего освещения с лампами накаливания и с люминесцентными лампами, ртутными (ДРЛ), с лампами высокого давления — металлогалогенные ДРИ, ДРИЗ; натриевыми типа ДНаТ со встроенными внутрь светильника пускорегулирующими аппаратами следует осуществлять:

1) в сетях с заземленной нейтралью — присоединением к заземляющему винту корпуса светильника РЕ-проводника;

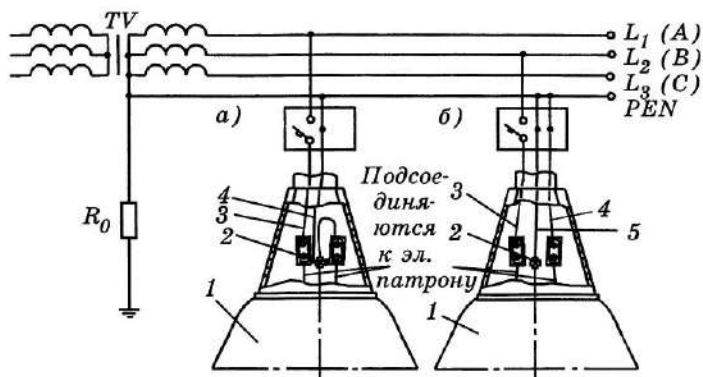


Рис. 4.16. Защитное зануление корпусов светильников в сети с заземленной нейтралью (система заземления ЭС TN) при вводе в светильник кабеля или провода — неправильное подключение (а) и правильное подключение (б):

1 — светильник; 2 — винт заземления; 3 — фазный проводник; 4 — нулевой рабочий проводник; 5 — нулевой защитный проводник

заземление корпуса светильника ответвлением от нулевого рабочего провода внутри светильника запрещается (рис. 4.16);

2) в сетях с изолированной нейтралью, а также в сетях, переключаемых на питание от аккумуляторной батареи — присоединением к заземляющему винту корпуса светильника защитного проводника (рис. 4.17). При вводе в светильник

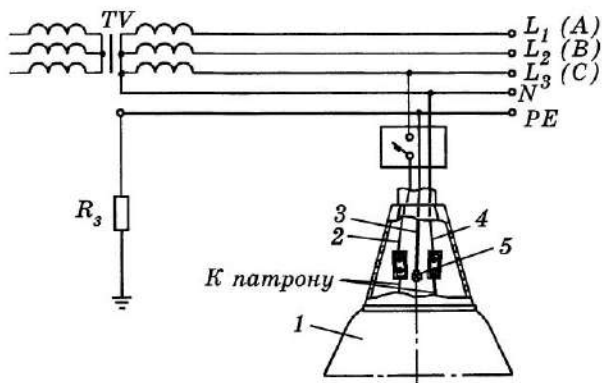


Рис. 4.17. Заземление корпусов светильников в ЭС с изолированной нейтралью (система заземления IT) при любых способах ввода проводов и кабелей в светильник:

1 — светильник; 2 — фазный проводник; 3 — защитный проводник; 4 — нулевой рабочий проводник; 5 — винт заземления

проводов, не имеющих механической защиты, защитный проводник должен быть гибким.

Защитное заземление корпусов светильников общего освещения с лампами ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ и люминесцентными с вынесенными пускорегулирующими аппаратами следует осуществлять при помощи перемычки между заземляющим винтом заземленного пускорегулирующего аппарата и заземляющим винтом светильника.

Защитное заземление металлических корпусов светильников местного освещения на напряжение выше 50 В должно выполняться с учетом следующих условий:

1. Если защитные проводники присоединяются не к корпусу светильника, а к металлической конструкции, на которой светильник установлен, то между этой конструкцией, кронштейном и корпусом светильника должно быть надежное электрическое соединение.

2. Если между кронштейном и корпусом светильника нет надежного электрического соединения, то оно должно быть осуществлено при помощи специально предназначенного для этой цели защитного проводника.

Защитное зануление нескольких светильников одной группы может быть выполнено PEN-проводником, проложенным вдоль ряда светильников, который необходимо ввести без разрыва в каждый светильник или от которого нужно сделать ответвление в каждый светильник отдельным проводом, присоединяемым болтовым зажимом. Последовательное защитное зануление группы светильников не допускается.

Светильники общего освещения с лампами ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ и люминесцентными с вынесенными пускорегулирующими аппаратами (ПРА) допускается заземлять (занулять) при помощи перемычки между заземляющим винтом заземленного (зануленного) ПРА и заземляющим винтом светильника.

Металлические отражатели светильников, укрепленные на корпусах из изолирующих материалов, заземлять (занулять) не требуется.

Защитное заземление (защитное зануление) металлических корпусов светильников общего освещения с любым источником света в помещениях как без повышенной опасности, так и с повышенной опасностью и особо опасных помещениях, во вновь строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях, а также в административно-конторских, лаборантских и т. п. помещениях промышленных предприятий (приближающихся по своему характеру к по-

мещениям общественных зданий) следует выполнять в соответствии с нижеизложенными требованиями.

Во всех зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых, этажных и офисных (квартирных) щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны выполняться трехпроводными (фазный — L, нулевой рабочий — N и нулевой защитный — РЕ-проводники).

При этом не допускается:

— объединение нулевых рабочих и нулевых защитных проводников различных групповых линий;

— подключение на щитках под общий контактный зажим нулевого рабочего и нулевого защитного проводников.

Сечение нулевых проводников необходимо выбирать в соответствии с требованиями ПУЭ и следующими рекомендациями:

— в однофазных двух- и трехпроводных, а также в трехфазных четырех- и пятипроводных сетях при питании однофазных нагрузок нулевые рабочие (N) проводники должны иметь сечение, равное сечению фазных проводников;

— в трехфазных четырех- и пятипроводных сетях при питании трехфазных симметричных нагрузок нулевые рабочие (N) проводники должны иметь сечение, равное сечению фазных проводников, если их сечение не более  $16 \text{ мм}^2$  по меди и  $25 \text{ мм}^2$  по алюминию. При сечениях фазных проводников больше указанных нулевые рабочие проводники должны иметь сечения не менее 50 % сечения фазных;

— сечение PEN-проводников должно быть не менее сечения рабочих проводников, но не менее  $10 \text{ мм}^2$  по меди и  $16 \text{ мм}^2$  по алюминию независимо от сечения фазных проводников;

— сечение РЕ-проводников должно равняться сечению фазных при их сечении до  $16 \text{ мм}^2$ . При сечении фазных проводников от  $16 \text{ мм}^2$  до  $35 \text{ мм}^2$  сечение РЕ-проводника должно быть не менее  $16 \text{ мм}^2$ , если сечение фазных проводников больше  $35 \text{ мм}^2$ , то РЕ-проводники должны иметь сечение не менее 50 % сечения фазных;

— сечение РЕ-проводников, не входящих в состав кабеля и не подходящих под вышеизложенные требования, должно быть не менее  $2,5 \text{ мм}^2$  — при наличии механической защиты и  $4 \text{ мм}^2$  — при ее отсутствии.

В помещениях без повышенной опасности, в производственных, жилых и общественных зданиях при напряжении выше 50 В должны применяться переносные светильники класса I по ГОСТ 12.2.007.0-75.

Защитное заземление (защитное зануление) корпусов переносных светильников на напряжение выше 25 В следует осуществлять посредством специальной защитной жилы гибкого кабеля, которая не должна одновременно служить для подвода рабочего тока. При подключении переносных светильников через штепсельные разъемы указанная жила должна быть присоединена к защитному контакту штепсельной вилки.

Для защиты групповых линий, питающих штепсельные розетки для переносных светильников и других электроприборов, ПУЭ рекомендует предусматривать УЗО. А если устройство защиты от сверхтока (автоматический выключатель, предохранитель) не обеспечивает время не более 0,4 с (при напряжении 220 В) из-за низких значений токов КЗ и электроустановка (помещение) не охвачена системой уравнивания потенциалов, установка УЗО является обязательной.

В зоне действия УЗО нулевой рабочий проводник не должен иметь соединений с заземленными элементами. В групповых сетях, питающих штепсельные розетки, следует применять УЗО с наименьшим током срабатывания не более 30 мА. В таких сетях установка УЗО с указанным током срабатывания обязательна, а также она обязательна, если розеточные сети находятся вне помещений и в особо опасных и с повышенной опасностью помещениях.

Розетки втычных соединителей для переносных электроприемников с частями, подлежащими защитному заземлению или защитному занулению, должны соответствовать требованиям, изложенным в п. 4.3. Подключение таких розеток к электрической сети представлено на рис. 4.18.

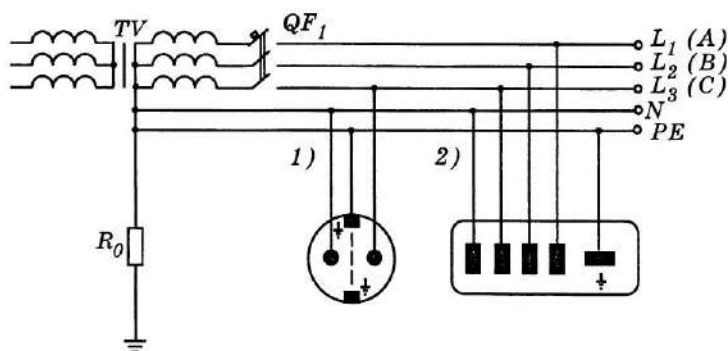


Рис. 4.18. Подключение штепсельных розеток с зануляющим контактом: 1 — однофазная; 2 — трехфазная

Светильники наружного освещения, установленные на железобетонных и металлических опорах, должны быть заземлены в сетях с изолированной нейтралью и занулены в сетях с заземленной нейтралью.

Светильники наружного освещения, установленные на деревянных опорах, не имеющих заземляющих спусков или кабельных муфт, заземлению и занулению не подлежат.

Железобетонные и металлические опоры наружного освещения, в том числе опоры электрифицированного городского транспорта, используемые для установки светильников наружного освещения, должны быть заземлены (занулены).

---

#### **4.5. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАЩИТНОЕ ЗАНУЛЕНИЕ ЛИФТОВОГО И КРАНОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

---

### **Лифты**

Металлические направляющие кабины, противовесы, а также корпуса лебедок, металлические оболочки кабелей и проводов, металлические рукава и трубы электропроводок, а также металлические конструкции, на которых установлено ЭО, металлические конструкции ограждения шахты и другие электропроводящие конструкции и элементы лифтов (подъемников) должны иметь надежное электрическое соединение с сетью защитного заземления или защитного зануления.

Как правило, ЭО лифтов относится к ЭУ до 1 кВ, а питающие сети относятся к сетям с глухозаземленной нейтралью (система заземления TN), поэтому для защиты от поражения электрическим током используется защитное зануление. В тех случаях, когда требуется высокая надежность и бесперебойность электропитания оборудования лифтов, подъемников и т. п., используются сети электропитания с изолированной нейтралью (система заземления IT). В основном это относится к шахтным лифтам.

ЭО, установленное на заземленных металлоконструкциях кабины, отдельному заземлению не подлежит при условии, что места установки ЭО зачищены до металлического

блеска и смазаны тонким слоем технического (токопроводящего) вазелина или смазкой ЦИАТИМ-203.

Для зануления (заземления) ЭО шахты лифта заземляющие проводники необходимо присоединять к стоякам дверей шахты. Стояк двери шахты верхней остановки следует соединять с заземляющим проводником машинного помещения для образования контура заземления.

В качестве дополнительного заземляющего проводника в шахте рекомендуется использовать стояки трубопровода электропроводки, соединенные между собой проводниками.

ЭО машинного помещения лифтовых установок, подлежащее занулению (заземлению), необходимо присоединить к магистрали зануления (заземления) при помощи параллельных ответвлений. Ответвления представляют собой стальную полосу того же сечения, что и магистраль зануления (заземления), один конец которой приварен к магистрали, а другой — к заземляющей конструкции. Ответвления присоединяются к аппаратам при помощи болтового соединения.

Заземление (зануление) ЭО, установленного на кабине, а также на конструктивных элементах лифтов, подверженных ударам и вибрациям, должно быть выполнено гибкими проводниками.

Для заземления (зануления) кабины лифта, имеющей ЭО, следует использовать одну из жил подвесного кабеля или один из проводов токопровода, присоединенный к металлической части кабины при помощи болтового соединения. Рекомендуется использовать в качестве дополнительного заземляющего проводника экранирующие оболочки и несущие тросы кабелей токопроводов, а также стальные канаты кабины.

Металлические направляющие кабины и противовесы должны быть присоединены к сети защитного заземления (зануления) в верхней и нижней части. При этом соединение стыков направляющих должно обеспечивать непрерывность электрической цепи. Использование металлических направляющих кабин и противовесов лифтов (подъемников) в качестве магистралей защитного заземления (зануления) запрещается.

При отсутствии электротехнических изделий в кбинах многокабинных подъемников непрерывного действия не требуется заземлять (занулять) эти кабины.

Магистрали защитного заземления или защитного зануления лифтов группового управления должны быть электрически соединены между собой.

## Краны

Части кранов, подлежащие заземлению, должны быть присоединены к металлическим конструкциям крана, при этом должна быть обеспечена непрерывность электрической цепи металлических конструкций.

Рельсы кранового пути должны быть надежно соединены на стыках сваркой, приваркой перемычек соответствующего сечения, приваркой к металлическим подкрановым балкам для создания непрерывной электрической цепи, а также заземлены (занулены).

При установке крана на открытом воздухе рельсы кранового пути, кроме того, должны быть соединены между собой (рис. 4.19) и заземлены не менее, чем в двух разных местах, если сопротивление растеканию самих рельсов недостаточно.

При питании крана кабелем отдельная жила для заземления (зануления) должна находиться в общей оболочке вместе с остальными жилами.

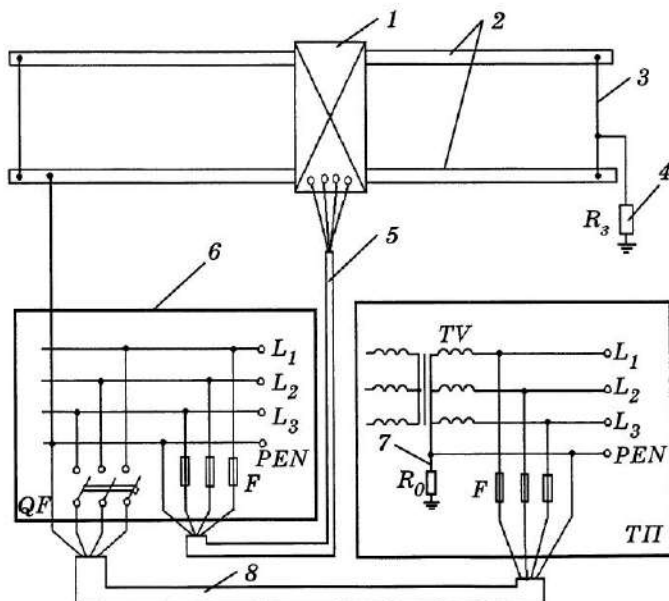


Рис. 4.19. Защитное заземление (защитное зануление) крана, установленного на открытом воздухе и питающегося по гибкому кабелю:

1 — кран; 2 — рельсовые пути крана; 3 — перемычка для электрической связи путей; 4 — защитное ЗУ; 5 — гибкий переносной питающий кабель; 6 — вводно-распределительное устройство; 7 — рабочее ЗУ; 8 — неподвижный четырехжильный питающий кабель



Корпус кнопочного аппарата управления краном, управляемого с пола, либо должен быть изготовлен из изоляционного материала, либо занулен (заземлен) не менее, чем двумя проводниками. В качестве одного из этих проводников может быть использован тросик, на котором подвешен кнопочный аппарат управления. Троллейные конструкции должны быть занулены (заземлены).

Для заземления пневмоколесных кранов должны применяться заземлители в соответствии с ГОСТ 16556–81 «Заземлители для передвижных электроустановок. Общие технические условия», а также должны учитываться рекомендации, изложенные в п. 4.3.

---

#### **4.6. ЗАЗЕМЛЕНИЕ И СИСТЕМЫ УРАВНИВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ, СОДЕРЖАЩИХ ОБОРУДОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

---

К оборудованию обработки информации (ОИИ) относятся ЭУ, содержащие оборудование обработки информации, соединенное между собой для обмена данными, а также другое ЭО, чувствительное к помехам. Оборудование обработки информации включает в себя все виды электрического, электронного и телекоммуникационного оборудования (ГОСТ Р 50377):

- телекоммуникационное оборудование и оборудование для передачи и обработки данных или установки, использующие передачу сигналов с обратным заземлением во внутренних и внешних подсоединениях к зданию;

- электрические сети постоянного тока, обслуживающие оборудование обработки информации внутри здания;

- установки или оборудование для учреждений АТС с входящей и исходящей связью;

- локальные компьютерные сети;

- системы охранной сигнализации внутри помещений, действующей на прикосновение, и системы пожарной сигнализации;

- установки по обслуживанию, например системы прямого цифрового контроля;

- системы промышленного проектирования и других видов деятельности на базе компьютеров.

В ЭУ, содержащих ООИ, кроме терминов «рабочее и защитное заземление» широко используется термин «функциональное заземление», который относится к использованию заземления и систем уравнивания электрических потенциалов в целях электромагнитной совместимости (ЭМС) информационного оборудования, а также в целях передачи сигналов без искажений, которые в отсутствие такого проводника могут вызываться помехами.

Заземление установок и оборудования информационных технологий должно обеспечивать защиту от поражения электрическим током (ГОСТ 30331.3 / ГОСТ Р 50571.3 и ГОСТ Р 50571.10). Кроме того, к указанным установкам предъявляются дополнительные требования. Эти требования необходимы для обеспечения надежной и безопасной работы установки и оборудования информационных технологий, в частности, для обеспечения:

- а) защиты от электролитической коррозии;
- б) защиты от больших обратных токов по функциональным заземляющим проводникам (FE-проводникам);
- в) то же, и по защитным проводникам (по PE- и PEN-проводникам);
- г) электромагнитной совместимости установки и оборудования информационных технологий путем эквипотенциального соединения их в единую систему уравнивания электрических потенциалов.

Для обеспечения надежности заземления ООИ и создания непрерывности электрической связи ОПЧ оборудования с ЗУ используется *главная заземляющая шина (главный заземляющий зажим)*. Эти шина или зажим являются частью ЗУ электроустановки напряжением до 1 кВ и предназначены для электрического присоединения нескольких проводников с целью ее заземления. Если главная заземляющая шина (главный заземляющий зажим) ЭУ используется для функционального заземления, то в этом случае ее можно использовать и для заземления оборудования информационных технологий как точку подсоединения к заземляющему устройству при условии выполнения требований, изложенных выше.

Когда используется система защитного сверхнизкого напряжения (ЗСНН), а ее электрические цепи и ОПЧ оборудования классов защиты II и III заземлены исходя из функциональных целей, то для связи с локальной землей они должны быть подсоединены к системе уравнивания электрических потенциалов (рис. 4.20).

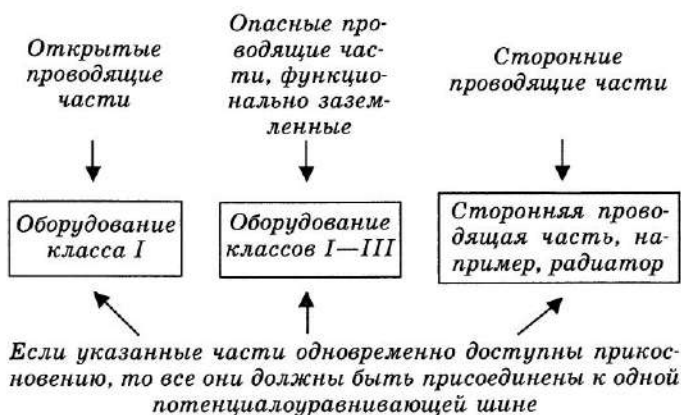


Рис. 4.20. Структурная схема уравнивания электрических потенциалов открытых, опасных и сторонних проводящих частей

При заземлении ООИ используются понятия «относительной, эталонной земли» и «локальной земли».

*Эталонной землей* (или просто землей) называется проводящая электрический ток и находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя часть земной коры, электрический потенциал которой принимают равным нулю.

*Локальной землей* называется часть земли, находящаяся в контакте с заземлителем, электрический потенциал которой под влиянием тока, стекающего с заземлителя, может быть отличен от нуля. В случаях, когда отличие от нуля потенциала части земли не имеет принципиального значения, вместо термина «локальная земля» используется общий термин «земля».

Функциональное заземление может выполняться путем использования защитного проводника (РЕ-проводника) цепи питания оборудования информационных технологий в системе заземления TN-S.

Допускается функциональный заземляющий проводник (FE-проводник) и защитный проводник (РЕ-проводник) объединять в один специальный проводник и присоединять его к главной заземляющей шине (главному заземляющему зажиму).

Для зданий, в которых установлено или может быть установлено большое число различного оборудования обработки информации или другого оборудования, чувствительного к действию электрических и электромагнитных помех, необходимо следить за использованием отдельных защитных проводников (РЕ-проводников) и нулевых рабочих про-

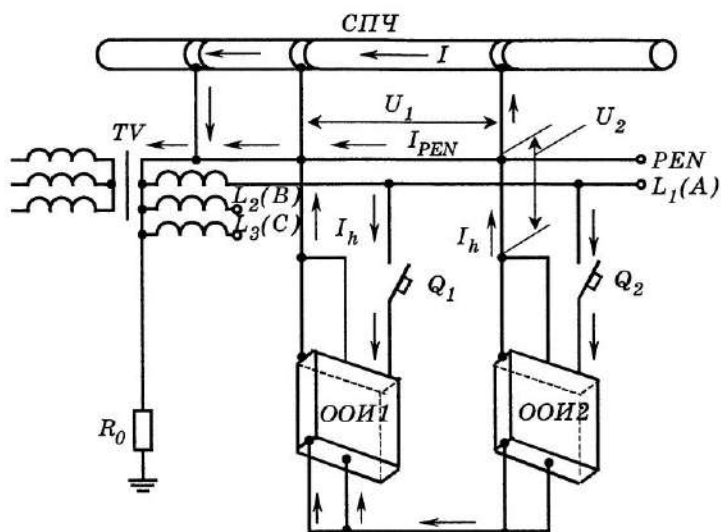


Рис. 4.21. Подключение оборудования обработки информации к электрической сети с системой заземления TN-C

водников (N-проводников) после точки подвода питания с тем, чтобы предотвратить или свести к минимуму электромагнитные воздействия.

Указанные проводники нельзя объединять так, как показано на рис. 4.21. В противном случае ток нагрузки и особенно сверхток, возникающий при однофазном коротком замыкании, будет проходить не только по нулевому рабочему проводнику (N-проводнику), но и частично по защитному проводнику, что может привести к помехе.

Если трансформатор, дизель-генератор, источник бесперебойного питания или иное подобное устройство, являясь частью электрической установки здания, имеют систему заземления типа TN-C и используются главным образом для питания оборудования информационных технологий, выходом должен быть переход на систему заземления типа TN-S, как это показано на рис. 4.22. Это требование специально адресовано разработчикам электрических установок, предназначенных для офисов или помещений промышленного назначения. На рис. 4.21 ток в нейтральном проводнике (PEN-проводнике), вызванный несимметричной нагрузкой в трехфазных сетях, делится между PEN-проводником, СПЧ, экранами и оболочками кабелей, а также проводниками, предназначенными для обмена информацией, и тем самым вызывает появление помех.

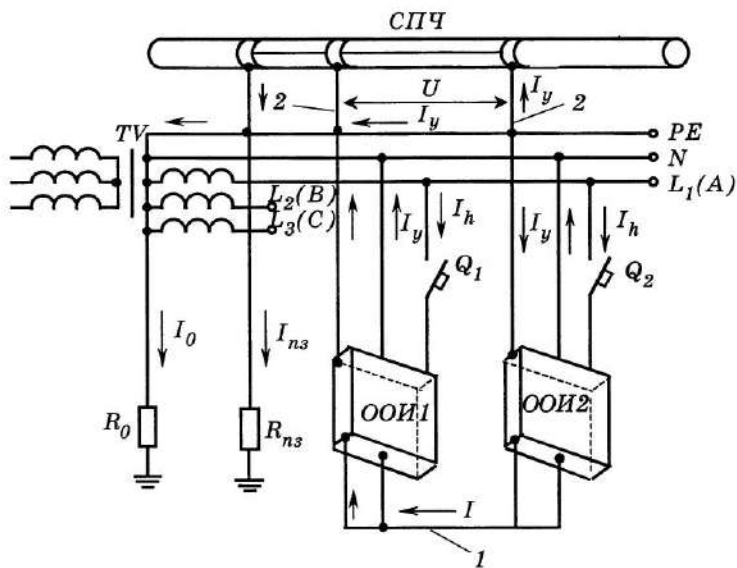


Рис. 4.22. Схема, поясняющая устранение токов в нейтральном (PE) проводнике путем применения в здании ЭС с системой заземления TN-S:  $I_y$  — уравнивающие токи, устраняющие  $U$  вдоль PE;

1 — соединительный проводник уравнивания электрических потенциалов на ограниченной площади; 2 — проводник уравнивания электрических потенциалов

При прохождении тока в PEN-проводнике происходит падение напряжения  $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$ . В ЭС с системой заземления TN-S ток нейтрального проводника протекает только по нулевому рабочему проводнику (N-проводнику), не вызывая падения напряжения в PE-проводнике (см. рис. 4.22).

Рассмотрим более подробно устройство заземления и уравнивания потенциалов в установках информационных технологий. Все заземляющие проводники подсоединяются к главной заземляющей шине здания. При необходимости главную заземляющую шину можно удлинять посредством подсоединения к ней дополнительных элементов, выполненных из того же металла и того же сечения, с таким расчетом, чтобы элементы установок обработки информации можно было подсоединять к главной заземляющей шине (главному заземляющему зажиму) самым коротким путем. Все заземляющие проводники разрешается подсоединять к главной заземляющей шине в любой точке.

При подключении такого проводника необходимо учитывать следующее:

1. Проводник заземляющей шины должен быть доступен для соединения. Его желательно устанавливать в виде соединительного кольцевого проводника (замкнутого контура), проходящего по периферии внутри здания (по контуру помещения).

2. Эффективность эквипотенциального соединения (уравнивания электрических потенциалов) между двумя точками проводника заземляющей шины зависит от импеданса используемой секции проводника, который зависит от выбора нужного размера и маршрута прокладки. На частоте 50 или 60 Гц, что часто имеет место, необходимо использовать медный провод сечением  $50 \text{ мм}^2$ , чтобы добиться требуемой эффективности, однако это повышает затраты. В противном случае при меньшем сечении провода импеданс не обеспечивает требуемой эффективности потенциального соединения.

Сечение проводника главной заземляющей шины должно выбираться точно так же, как и сечение проводника главного эквипотенциального соединения (главной потенциалоравнивающей шины) в соответствии с ГОСТ Р 50571.10 и гл. 5 настоящего справочника.

К проводнику заземляющей шины можно подсоединять:  
основной (магистральный) защитный проводник;  
основной (магистральный) заземляющий проводник или основной заземляющий зажим;

стальные трубы коммуникаций зданий и между зданиями;  
металлические части строительных конструкций, системы центрального отопления и системы вентиляции и кондиционирования воздуха (при условии соединения их между собой на вводе в здание);

заземляющие проводники;

защитные проводники;

проводники главной системы уравнивания потенциалов;

проводники рабочего заземления (если они имеются);

проводящие экраны, оболочки, бронирующие покрытия телекоммуникационных кабелей или телекоммуникационного оборудования;

проводники эквипотенциального соединения железнодо-  
рожных систем;

заземляющие проводники для защиты устройств от пере-  
напряжений;

проводники заземления антенн радиосвязи;

проводник заземления заземленной системы источника питания постоянного тока для оборудования информационных технологий;

проводники функционального заземления;  
проводники систем молниезащиты;  
проводники дополнительного эквипотенциального соединения.

В случаях, когда необходимо установить заземляющую шину, служащую для заземления большого числа оборудования информационных технологий, она должна устанавливаться в здании в виде замкнутого контура, смонтированного по стенам помещения.

Заземляющий проводник может быть «голым» (неизолированным) и неокрашенным. Этот проводник (предпочтительно медный) должен устанавливаться так, чтобы к нему был доступ по всей длине, например на поверхности или в магистрали. «Голые» проводники необходимо изолировать (окрашивать) в точках опоры и на участках, которые проходят через стены, чтобы предотвратить коррозию.

При эксплуатации ООИ используется также эквипотенциальное соединение для функциональных цепей, оно выполняется с учетом следующих факторов.

1. Эквипотенциальное соединение (уравнивание и выравнивание электрических потенциалов) может включать проводники, оплетки кабелей и металлоконструкции зданий, такие как водопроводы, трубопроводы отопления и горячего водоснабжения, металлические корпуса кабелепроводов и потенциаловывравнивающие сетки, установленные на этажах здания.

В некоторых случаях может оказаться целесообразным использование стальных строительных конструкций или стальной арматуры в системе заземления. Тогда стержни арматуры должны свариваться вместе и подсоединяться к проводнику заземляющей шины. Если сварка недопустима по строительным или иным соображениям, можно использовать зажимные приспособления.

2. Требования, предъявляемые к сечению, форме, протяженности эквипотенциального соединения для функциональных целей, зависят от частотного диапазона системы обработки информации, преобладания электромагнитной среды и характеристик устойчивости рабочей частоты оборудования.

При выборе сечения проводников функционального заземления необходимо учитывать возможные токи повреждения, которые могут протекать в проводниках, если проводник функционального заземления используется одновременно в качестве обратного проводника (N-проводника).

Необходимо также учитывать нормальное протекание номинального тока и падение напряжения в проводнике, вызванное этим током. В случаях, когда нет соответствующих данных для выбора сечения, их следует получить у фирмы—изготовителя оборудования.

Заземляющие проводники, соединяющие устройства защиты от перенапряжения с главной заземляющей шиной, должны быть самыми короткими и прямыми (без углов, создающих индуктивность) для того, чтобы максимально снизить как активное, так и индуктивное их сопротивление (импеданс).

Существенное влияние на работу ООИ электроустановок или оборудования информационных технологий (ОИТ) оказывает их электромагнитная совместимость. Рассмотрим меры по обеспечению электромагнитной совместимости.

Установки или оборудование информационных технологий могут подвергаться сбою в работе вследствие токов и напряжений, наведенных как в самом оборудовании, так и в соединениях между отдельными единицами оборудования.

Причинами помех являются переходные процессы в сети питания и переходные явления в заземляющих проводниках вследствие грозы или переключения нагрузки (коммутационные помехи), электростатические разряды, дифференциальные напряжения в элементах заземления на частоте питания, магнитные промышленной частоты и электромагнитные и высокочастотные поля.

Основные методы устранения электромагнитных помех:

- использование помехоустойчивого оборудования информационных технологий, основанного либо на электрических способах, либо путем применения коррекции ошибки;

- электрическое отделение установки или оборудования информационных технологий от источников возмущения;

- обеспечение эквипотенциального соединения между оборудованием, работающим в соответствующем диапазоне частот;

- применение низкоимпедансного источника опорного напряжения, чтобы свести к минимуму потенциальные дифференциальные напряжения и обеспечить экранирование.

Существуют различные методы заземления и эквипотенциального соединения проводящих частей для достижения электромагнитной совместимости ООИ и ОИТ.

*Метод 1.* Радиально соединенные защитные проводники.



Этот метод использует присоединение защитных проводников совместно с проводниками питания (рис. 4.23).

Защитный проводник на каждой единице оборудования обеспечивает достаточное сопротивление для электромагнитных возмущений (отличных от переходных явлений, возникающих в сети), так что сигнальные кабели между единицами оборудования подвергаются воздействию большей части входящего шума. Следовательно, оборудование должно обладать высокой помехоустойчивостью, чтобы работать удовлетворительно.

Помехи можно значительно снизить, если создать изолированную цепь электроснабжения, обслуживающую только оборудование информационных технологий и отделенную (например, с помощью разделительного трансформатора) от других цепей электроснабжения, заземления и внешних металлических систем (трубопроводов и т. п.).

В некоторых случаях элементы заземления соединяются звездой, например РЕ-шина в соответствующем распределительном щите является нейтральной точкой соединения радиальных проводников функционального заземления и защиты ООИ. В этом случае такая нейтральная точка может

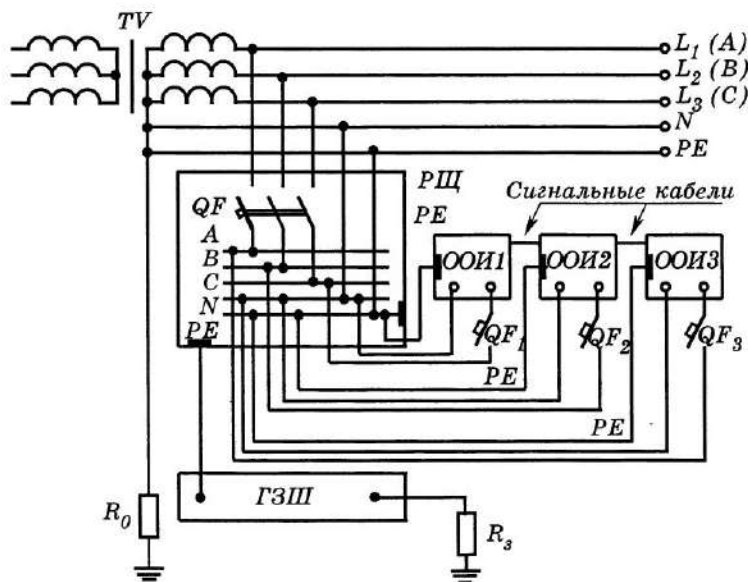


Рис. 4.23. Обеспечение ЭМС оборудования информационных технологий радиальным подсоединением защитных проводников:

РЩ — распределительный щит; ГЗШ — главная заземляющая шина

заземляться отдельным изолированным проводником путем его соединения с главной заземляющей шиной.

**Метод 2.** Использование локального выравнивания электрических потенциалов (потенциаловывравнивающие сетки).

Действие обычных защитных проводников (РЕ-проводников) может быть многократно усилено применением локального выравнивания электрических потенциалов, выполненным в виде потенциаловывравнивающей сетки, вмонтированной в бетонный пол помещения в месте размещения оборудования информационных технологий (рис. 4.24). Степень выравнивания электрических потенциалов зависит от размера ячеек сетки — чем меньше ячейка, тем лучшим будет выравнивание потенциалов.

Как и в 1-м методе, дополнительную устойчивость от помех можно обеспечить путем изоляции в целом цепей подачи питания на оборудование информационных технологий, включая систему заземления и потенциаловывравнивающую сетку, от других цепей электроснабжения и систем заземления, а также от внешних проводящих частей, таких как строительные металлоконструкции (см. рис. 4.24).

**Метод 3.** Система горизонтального и вертикального эквипотенциального заземления.

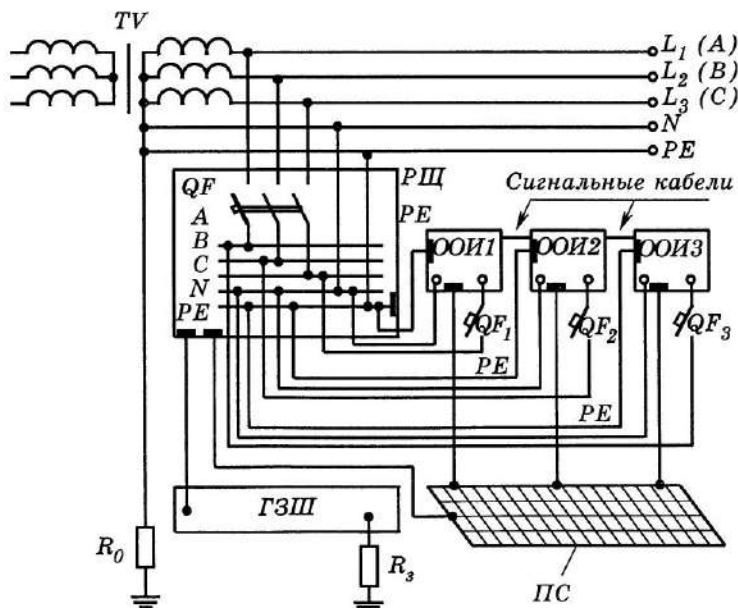


Рис. 4.24. Обеспечение ЭМС оборудования информационных технологий с использованием локального устройства выравнивания электрических потенциалов

Действие РЕ-проводников может быть многократно усилено за счет использования горизонтального и вертикального (между этажами) эквипотенциального заземления путем применения многоярусной системы уравнивания электрических потенциалов. Эта система имеет многочисленные соединения со строительными и технологическими металлоконструкциями, открытыми проводящими частями ЭУ и металлоконструкциями других назначений (рис. 4.25).

В этой системе широко используются предложенные по стенам помещения заземляющие шины, выполненные в виде замкнутых контуров, удлиняющих собой главную заземляющую шину, служащую для подсоединения к ней заземляющих проводников от оборудования информационных технологий.

В зависимости от частотного спектра действующих на оборудование информационных технологий поля и шага сетки (размера ячейки) этот метод может обеспечить достаточно низкий импеданс для решения большинства проблем на оборудовании со средней помехоустойчивостью.

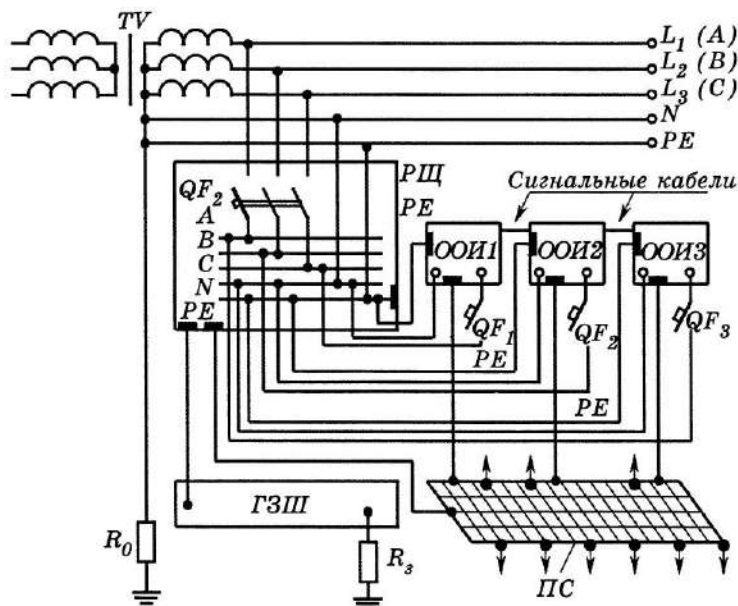


Рис. 4.25. Обеспечение ЭМС оборудования информационных технологий с использованием горизонтального и вертикального эквипотенциального заземлений:

↑ — подсоединения к строительным и технологическим металлоконструкциям и потенциаловывравнивающим сеткам на других этажах

Тем не менее, неудачная попытка поддерживать «закрытую» (вмонтированную в бетонный пол) сетку на всем протяжении помещения может привести к проблемам, поскольку все потенциальные источники шума будут «проявляться» в системе. Особое внимание следует уделить шагу сетки для рассеяния возмущений от таких источников.

Метод 1 наиболее легко реализуем, особенно в существующих зданиях. Сложность реализации и финансовые затраты возрастают в случае применения методов 2 и 3. Тем не менее, эти методы с наибольшей вероятностью обеспечат приемлемую электромагнитную среду для оборудования информационных технологий.

## КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

---

### 5.1. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

---

*Искусственные заземлители* применяются тогда, когда естественные заземлители не обеспечивают требуемую величину сопротивления заземляющего устройства или напряжения прикосновения.

Для искусственных заземлителей применяют вертикальные и горизонтальные неокрашенные электроды. В качестве вертикальных электродов используют прутковую сталь диаметром не менее 10 мм и угловую сталь с толщиной полки уголка не менее 4 мм.

Горизонтальные заземлители используют для гальванического соединения между собой вертикальных заземлителей, а также самостоятельно. Для этих целей применяют полосовую сталь сечением не менее 48 мм<sup>2</sup> и сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм. Допускается применение заземлителей из электропроводящего бетона.

Для установки *вертикальных заземлителей* (рис. 5.1) роют траншею. Верхние концы погруженных в землю вертикальных электродов соединяют стальной полосой с помощью сварки. В таких же траншеях прокладывают и горизонтальные электроды.

Заземляющие устройства не должны иметь окраски, кроме мест сварных соединений горизонтальных и вертикальных заземлителей, а также горизонтальных заземлителей между собой. Указанные места окрашиваются битумной или другими аналогичными красками.

В случае опасности повышенной коррозии для заземлителей рекомендуется использовать сталь только круглого профиля и большего сечения, при повышенной коррозии могут применяться также оцинкованные или омедненные заземлители.

Активность грунта по отношению к стали в зависимости от одного из параметров — удельного сопротивления грунта,

влияющего на скорость коррозии металла в грунте, приведена в табл. 5.1.

Если минимально допустимое сечение определяется не термической стойкостью, а только механической прочностью, то сечение заземлителей в зависимости от агрессивности грунта принимается по табл. 5.2. При равном сечении целесообразнее применять стальные полосы большей толщины, но меньшей ширины.

Иногда по условиям эксплуатации вертикальные заземлители устанавливаются в бетонных колодцах. Конструктивное исполнение такого заземления представлено на рис. 5.2.

Глубина прокладки горизонтальных заземлителей должна быть не менее 700–800 мм. Она определяется зоной промерзания земли. Прокладка горизонтальных заземлителей в грунте показана на рис. 5.3.

При наличии на строительной площадке большого количества строительного мусора и камней засыпка горизонтального заземлителя сначала производится мягкой однородной землей с утрамбовкой на глубину 200 мм, а затем местным грунтом.

Это требование обусловлено усилением локальных коррозионных разрушений, возникающих при обратной засыпке перемешанным грунтом. Горизонтальный заземлитель из полосовой стали укладывается ребром на дно траншеи.

Меньшая глубина прокладки горизонтального заземлителя (проводника) допускается в местах присоединений к оборудованию, при вводе в здание, при их пересечениях

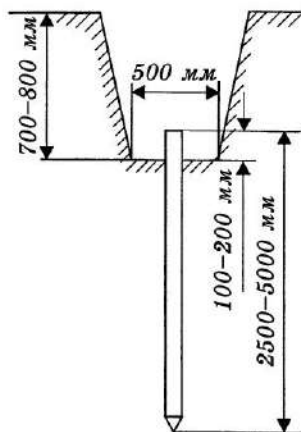


Рис. 5.1. Установка вертикального заземлителя (стержневого электрода) в траншею

Таблица 5.1  
Зависимость коррозионной активности грунта от его удельного сопротивления

Коррозионная активность грунта	Удельное сопротивление грунта, Ом · м
Весьма высокая	До 5
Высокая	5–10
Повышенная	10–20
Средняя	20–100
Низкая	Более 100

## Сечение заземлителей в зависимости от агрессивности грунтов

Вид заземляющего устройства	Коррозионная активность грунта по отношению к стали	Рекомендуемые размеры заземлителей	Допустимые к применению заземлители
Стальные вертикальные заземлители	<p>Весьма высокая</p> <p>Высокая</p> <p>Повышенная, средняя</p> <p>Низкая</p>	<p>Сталь круглая диаметром 16 мм*</p> <p>То же</p> <p>Для мягких грунтов сталь круглая диаметром 12 мм</p> <p>Для грунтов средней твердости сталь диаметром 16 мм</p>	<p>—</p> <p>—</p> <p>Сталь угловая 63 × 63 × 6 мм</p> <p>Для мягких грунтов сталь угловая 50 × 50 × 5 мм, для грунтов средней твердости сталь угловая 63 × 63 × 6 мм</p>
Стальные горизонтальные заземлители	<p>Весьма высокая</p> <p>Высокая</p> <p>Повышенная, средняя</p> <p>Низкая</p>	<p>Сталь круглая диаметром 16 мм*</p> <p>Сталь круглая диаметром 14 мм</p> <p>Сталь круглая диаметром 12 мм</p> <p>Сталь круглая диаметром 10 мм</p>	<p>Стальная полоса 20 × 10, 30 × 10, 40 × 10 мм</p> <p>Стальная полоса 20 × 8, 30 × 8, 40 × 8 мм</p> <p>Стальная полоса 20 × 6, 30 × 6, 40 × 6 мм</p> <p>Стальная полоса 20 × 4, 30 × 4, 40 × 4 мм</p>

\* Заземлители других форм недопустимы по условиям коррозии.

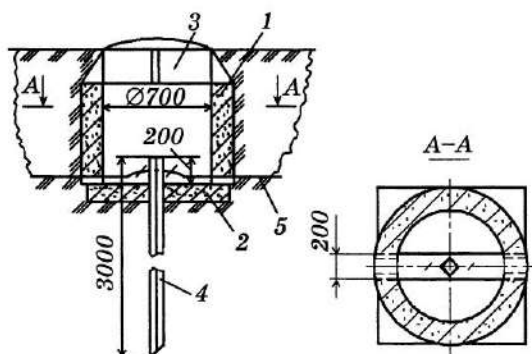


Рис. 5.2. Установка вертикальных заземлителей в бетонном колодце:

1 — бетонный колодец; 2 — бетонное основание; 3 — крышка; 4 — электрод заземления; 5 — проводник заземления

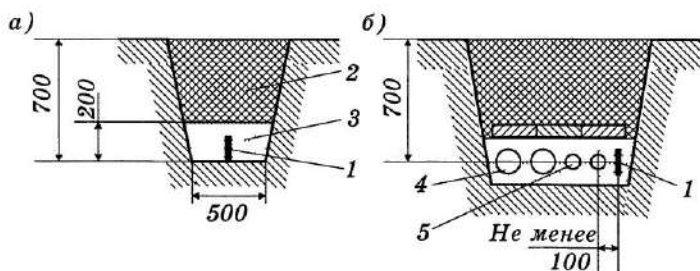


Рис. 5.3. Прокладка горизонтальных заземлителей в земле: *а* — в траншее; *б* — то же совместно с кабелем (в настоящее время используется редко):

1 — полоса; 2 — грунт; 3 — мягкий грунт; 4 — силовые кабели; 5 — контрольные кабели

с подземными сооружениями и в зонах многолетнемерзлых и скальных грунтов. При пересечении горизонтальными заземлителями трасс с подземными сооружениями, автомобильных и железных дорог, а также мест, в которых возможны механические повреждения заземлителей, их защищают металлическими водогазопроводными трубами диаметром 2", а также асбоцементными трубами.

Если верхние отметки подземных сооружений — теплофицированных и кабельных каналов, кабельных блоков — расположены на глубине менее 500 мм от поверхности земли, то горизонтальный заземлитель должен быть расположен под каналом или блоком.

Заземлители, прокладываемые параллельно кабелям или трубопроводам, следует укладывать на расстоянии в свету не менее 0,3–0,35 м, а при пересечениях — не менее 0,1 м.

Общие требования к конструктивному выполнению ЗУ изложены в табл. 5.3.

Заземляющее устройство, которое выполняется с соблюдением требований, предъявляемых к напряжению прикосновения, должно обеспечивать в любое время года при стекании с него тока замыкания на землю значения напряжений прикосновения, не превышающие нормированных.

Сопротивление заземляющего устройства при этом определяется по допустимому напряжению на заземляющем устройстве и току замыкания на землю. При определении значения допустимого напряжения прикосновения в качестве расчетного времени воздействия следует принимать сумму времени действия защиты и полного времени отключения выключателя. При определении допустимых значений напряжений прикосновения у рабочих мест, где в ходе производства



## Требования к конструктивному выполнению заземляющего устройства

Принцип нормирования заземляющего устройства	Требования к конструктивному выполнению
Соблюдение требований к сопротивлению и напряжению прикосновения	<p>1. Заземляющие проводники, присоединяющие оборудование или конструкции к заземлителю, в земле прокладывают на глубине не менее 0,3 м.</p> <p>2. Вблизи мест расположения заземляемых нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей прокладывают продольные и поперечные горизонтальные заземлители (проводники) в четырех направлениях.</p> <p>3. При выходе заземляющего устройства за пределы ограждения ЭУ горизонтальные заземлители, находящиеся вне территории ЭУ, следует прокладывать на глубине не менее 1 м. Внешний контур заземляющего устройства в этом случае рекомендуется выполнять в виде многоугольника с тупыми или скругленными углами.</p>
Соблюдение требований к сопротивлению заземляющего устройства	<p>1. Продольные горизонтальные заземлители (проводники) должны быть проложены вдоль осей ЭО со стороны обслуживания на глубине 0,5–0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8–1 м от фундаментов или оснований оборудования.</p> <p>Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного горизонтального заземлителя (проводника) для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены одна к другой, а расстояние между фундаментами или основаниями двух рядов не превышает 3 м.</p> <p>2. Поперечные горизонтальные заземлители (проводники) следует прокладывать в удобных местах между оборудованием на глубине 0,5–0,7 м от поверхности земли. Расстояние между ними рекомендуется принимать увеличивающимся от периферии к центру заземляющей сетки. При этом первое и последующие расстояния, начиная от периферии, не должны превышать соответственно 4; 5; 6; 7,5; 9; 11; 13,5; 16 и 20 м. Размеры ячеек заземляющей сетки, примыкающих к местам присоединения нейтралей силовых трансформаторов и короткозамыкателей к заземляющему устройству, не должны превышать 6 × 6 м.</p> <p>Горизонтальные заземлители (проводники) следует прокладывать по краю территории, занимаемой заземляющим устройством, так, чтобы они в совокупности образовывали замкнутый контур.</p> <p>3. Если контур заземляющего устройства располагается в пределах внешнего ограждения ЭУ, то у входов и въездов на ее территорию следует выравнивать потенциал путем установки двух вертикальных заземлителей у внешнего горизонтального заземлителя напротив входов и въездов. Вертикальные заземлители должны быть длиной 3–5 м, а расстояние между ними должно быть равно ширине входа или въезда.</p>

Принцип нормирования заземляющего устройства	Требования к конструктивному выполнению
Соблюдение требований к напряжению прикосновения	<p>Размещение продольных и поперечных горизонтальных заземлителей должно определяться требованиями ограничения напряжений прикосновений до нормированных значений и удобством присоединения заземляемого оборудования. Расстояние между продольными и поперечными горизонтальными искусственными заземлителями не должно превышать 30 м, а глубина их заложения в грунт должна быть не менее 0,3 м. У рабочих мест допускается прокладка заземлителей на меньшей глубине, если необходимость этого подтверждается расчетом, а выполнение работ не снижает удобства обслуживания ЭУ и срока службы заземлителей.</p> <p>Для снижения напряжения прикосновения у рабочих мест в обоснованных случаях может быть выполнена подсыпка щебня слоем толщиной 0,1–0,2 м.</p>

оперативных переключений возможны дуговые короткие замыкания на конструкции, доступные прикосновению производящего переключения персонала, следует учитывать, что время действия напряжения прикосновения на персонал должно быть не больше времени срабатывания резервной защиты, а для остальной территории рабочих мест — основной защиты [42].

Одним из важнейших условий монтажа безопасных ЗУ является выполнение требований по выравниванию потенциалов (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Условия выравнивания потенциалов вокруг промышленной электроустановки или вокруг здания, в котором она размещена

Условия для выравнивания потенциалов	Требования к ЗУ
<p>1. Разрешается использование железобетонных фундаментов производственных зданий и сооружений в качестве заземлителей в соответствии с ПУЭ, если при этом обеспечивается допустимый уровень выравнивания потенциалов.</p> <p>Обеспечение условий выравнивания потенциалов с помощью железобетонных фундаментов, используемых в качестве заземлителей, определяется на основе требований, приведенных в данной таблице.</p>	<p>1. Если заземляющее устройство промышленной или другой ЭУ соединено с заземлителем ЭУ выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью кабелем с металлической оболочкой или броней или с помощью двух металлических связей, то для выравнивания потенциалов вокруг такой ЭУ или вокруг здания, в котором она размещена, необходимо соблюдение одного из условий, данных в таблице.</p>

Условия для выравнивания потенциалов	Требования к ЗУ
<p>2. Укладка в землю на глубине 1 м и на расстоянии 1 м от фундамента здания или от периметра территории, занимаемой оборудованием, заземлителя, соединенного с металлическими конструкциями строительного и производственного назначения и сетью заземления (уравнивания потенциалов), а у входов и у въездов в здание — укладка проводников на расстоянии 1 и 2 м от заземлителя на глубине 1 и 1,5 м соответственно и соединение этих проводников с заземлителем.</p>	<p>2. Во избежание выноса потенциала не допускается питание электроприемников, находящихся за пределами электроустановок напряжением выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью, от обмоток напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью трансформаторов, находящихся в пределах заземляющего устройства.</p> <p>При необходимости питание таких электроприемников может осуществляться от трансформатора с изолированной нейтралью на стороне напряжением до 1 кВ по кабельной линии, выполненной кабелем без металлической оболочки и без брони, или по ВЛ.</p> <p>Питание таких электроприемников может осуществляться также через разделительный трансформатор.</p> <p>Разделительный трансформатор и линия от его вторичной обмотки к ЭП, если она проходит по территории, занимаемой заземляющим устройством электроустановки, должны иметь изоляцию от земли на расчетное значение напряжения на заземляющем устройстве.</p> <p>При невозможности выполнения указанных условий на территории, занимаемой такими ЭП, должно быть выполнено выравнивание потенциалов.</p>
<p>3. Наличие вокруг зданий асфальтовых отмосток, в том числе у входов и въездов.</p>	<p>3. Если у какого-либо входа (въезда) отмостка отсутствует, у этого входа (въезда) должно быть выполнено выравнивание потенциалов путем укладки двух проводников, как указано в условии 2, или соблюдено условие 1.</p> <p>При этом во всех случаях должны выполняться требования п. 2.</p>

Ограждение ЭУ может быть соединено с ЗУ. Условия заземления внешней ограды ЭУ приведены в табл. 5.5.

Кроме указанных в табл. 5.5 условий заземления внешней ограды не следует устанавливать на ней электроприемники напряжением до 1 кВ, которые питаются непосредственно от понижающих трансформаторов, расположенных на территории электроустановки.

## Условия заземления внешней ограды электроустановок

Особенности электроустановки	Условия заземления ограды
1. Общий случай	<p>Внешнюю ограду электроустановок не рекомендуется присоединять к заземляющему устройству.</p> <p>Для исключения электрической связи внешней ограды с заземляющим устройством расстояние от ограды до элементов заземляющего устройства, расположенных вдоль нее с внутренней, внешней или с обеих сторон, должно быть не менее 2 м.</p> <p>Выходящие за пределы ограды горизонтальные заземлители, трубы и кабели с металлической оболочкой и другие металлические коммуникации должны быть проложены посередине между стойками ограды на глубине не менее 0,5 м.</p> <p>В местах примыкания внешней ограды к зданиям и сооружениям, а также в местах примыкания к внешней ограде внутренних металлических ограждений должны быть выполнены кирпичные или деревянные вставки длиной не менее 1 м.</p>
2. От ЭУ отходят ВЛ напряжением 110 кВ и выше	<p>Ограду следует заземлить с помощью вертикальных заземлителей глубиной 2–3 м, установленных у стоек ограды по всему ее периметру через 20–50 м.</p> <p>Установка таких заземлителей не требуется для ограды с металлическими стойками и с теми стойками из железобетона, арматура которых электрически соединена с металлическими звеньями ограды.</p>
3. Выполнение хотя бы одного из мероприятий, указанных в пп. 1, 2, невозможно	<p>Металлические части ограды следует присоединить к заземляющему устройству и выполнить выравнивание потенциалов так, чтобы напряжение прикосновения с внешней и внутренней стороны ограды не превышало допустимых нормированных значений.</p> <p>При выполнении заземляющего устройства по допустимому сопротивлению должен быть проложен с внешней стороны ограды горизонтальный заземлитель на расстоянии 1 м от нее и на глубине 1 м.</p> <p>Этот заземлитель следует присоединять к заземляющему устройству не менее чем в четырех точках.</p>

При размещении ЭП на внешней ограде их питание следует осуществлять через разделительные трансформаторы. Эти трансформаторы не допускается устанавливать на ограде.

Линия, соединяющая вторичную обмотку разделительного трансформатора с ЭП, расположенным на ограде, должна быть изолирована от земли на расчетное значение напряжения на заземляющем устройстве.

*Сечение одиночного заземлителя с учетом коррозии.* Скорость коррозии металла в грунте зависит от ряда свойств:

воздухопроницаемости, электропроводимости, наличия растворенных солей, температуры среды.

Повышенную коррозионную активность вызывают преобладание ионов  $Cl$  (засоленные почвы) и значения  $pH$  менее 7 (кислые, гумусовые, болотистые грунты).

Рост температуры также повышает коррозионную активность; при замерзании воды в земле эти процессы замедляются, с увеличением влажности почвы коррозия увеличивается, при снижении воздухопроницаемости коррозионный процесс тормозится.

Минимально допустимое сечение заземлителя с учетом коррозии

$$S_{\min} = S + S_k,$$

где  $S$  — сечение проводника, выбранное по механической прочности,  $mm^2$ ;

$S_k$  — уменьшение сечения проводника в процессе коррозии за расчетный срок службы заземлителя,  $mm^2$ .

Уменьшение площади:

— для круглых заземлителей

$$S_k = 3,14 \delta_{cp} (d + \delta_{cp}),$$

где  $\delta_{cp}$  — средняя глубина коррозии по сечению заземлителя, мм;

$d$  — диаметр заземлителя, выбранный по механической и термической устойчивости, мм;

— для проводников круглых форм

$$S_k = \delta_{cp} P,$$

где  $P$  — периметр сечения, определяемый по периметру сечения заземлителя, выбранного по механической прочности.

Средняя глубина коррозии может быть определена по следующей формуле:

$$\delta_{cp} = \alpha_3 (\ln T)^3 + \alpha_2 (\ln T)^2 + \alpha_1 \ln T + \alpha_0,$$

где  $T$  — расчетный срок службы заземлителя, мес.;

$\alpha_0 - \alpha_3$  — коэффициенты, зависящие от агрессивности грунтовых условий по отношению к стали (табл. 5.6).

Расчетный срок службы заземлителя принимается равным 20 годам.

Коэффициенты для расчета глубины коррозии

Коррозийная активность	Коэффициенты уравнения			
	$\alpha_3$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_0$
Весьма высокая	0,0118	0,035	-0,0612	0,148
Высокая	0,0056	0,022	-0,0107	0,0403
Повышенная	0,0050	0,0081	-0,0410	0,243
Средняя	0,0026	0,00915	-0,0104	0,0224
Низкая	0,0013	0,003	-0,0068	0,044

Конструкция и способы погружения вертикальных заземлителей влияют на сопротивление растеканию отдельных электродов и ЗУ в целом.

На рис. 5.4 даны графики изменения сопротивления растеканию электрического тока с электродов с различной конструкцией наконечников (табл. 5.7) в зависимости от способа погружения и конструкции заземлителя в глинистых грунтах.

Электроды пп. 11, 12 (см. табл. 5.7) сразу после погружения способом вибрации имеют наименьшее сопротивление. При вибрации электрода из окружающего грунта выделяется влага, грунт становится более вязким, плотно прилегает к электроду и этим снижает сопротивление растеканию. В дальнейшем, через несколько дней, структура грунта восстанавливается, сопротивление  $R$  электродов увеличивается.

При погружении способом вибрации заостренные и незаостренные электроды погружаются с одинаковой скоростью, поэтому при таком способе погружения лучше выбирать конструкцию электродов с наконечником 12, как более простую в изготовлении (табл. 5.7).

Сопротивление  $R$  электродов, погруженных способом забивания, является наиболее стабильным и наименьшим в глинистых грунтах. Лучшие конструктивные параметры при этом способе погружения у электродов с наконечником 11.

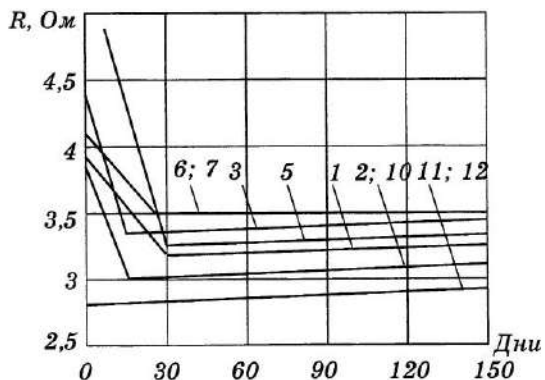


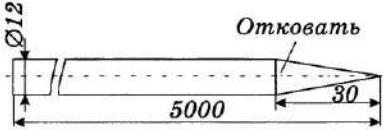
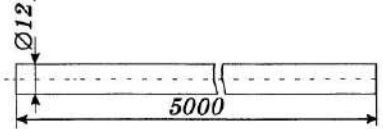
Рис. 5.4. Сопротивление растеканию тока с электродов в зависимости от времени, способа погружения и конструкции наконечника (по табл. 5.7) в глинистых грунтах

Таблица 5.7  
 Виды наконечников стержневых заземлителей

№ п/п	Конструкция наконечника
1	
2	
3	
4	
5	

№ п/п	Конструкция наконечника
6	<p>Приварить</p> <p>Ø12</p> <p>80</p> <p>34</p> <p>30</p> <p>3000-5000</p> <p>5000-5900</p> <p>Ø76</p>
7	<p>Ø12</p> <p>18</p> <p>48</p> <p>5000</p>
8	<p>Ø12</p> <p>Ø18</p> <p>84</p> <p>5000</p>
9	<p>Ø12</p> <p>18</p> <p>84</p> <p>5000</p>
10	<p>Отковать</p> <p>Ø12</p> <p>18</p> <p>30</p> <p>50</p> <p>5000</p>



№ п/п	Конструкция наконечника
11	
12	

Сопротивления  $R$  электродов, погруженных способом ввертывания, в начальный период превышают на 20–60 % сопротивления  $R$  электродов, погруженных другими способами. В течение месяца после погружения разница в значениях  $R$  уменьшается до 10–20 % и на этом уровне остается длительное время. Наконечники таких конструкций электродов раздвигают в стороны грунт и уплотняют его. Отверстие, образованное в грунте таким наконечником, больше диаметра стержня, поэтому соприкосновение с грунтом происходит в отдельных контактных точках, что и приводит к увеличению  $R$ . Верхние слои грунта, разбухая от влаги, плотно прилегают к электроду и не дают возможности воде просачиваться вниз по глубине отверстия. Наименьшее сопротивление  $R$  при таком способе погружения у электрода 10 (см. табл. 5.7). Через некоторое время (10–15 суток) оно выравнивается с сопротивлением  $R$  забитых электродов.

Конструкции электродов 2, 6, 7 (см. табл. 5.7) имеют сопротивления  $R$  больше сопротивлений забитых электродов.

Однако скорости погружения этих электродов значительно превышают скорости погружения электродов способом вибрации и забивания (табл. 5.8).

Наращивание, соединение вертикальных электродов с целью увеличения глубины погружения следует выполнять термосваркой или механическим сочленением.

Соединение электродов с помощью муфты значительно увеличивает  $R$  и снижает скорость погружения электродов.

Для ускорения и удешевления изготовления стержневых электродов заземления монтажными заводами организован выпуск направляющих наконечников, обеспечивающих ввер-

Скорости погружения электродов заземления

Способ погружения	Номер электрода по табл. 5.7	Скорость погружения, м/мин	Условия погружения
Ввертывание	1	0,77	Тяжелые
	2	1	—
	3	1,56	Легкие
	5	1,14	—
	6, 7	0,7	Тяжелые
Вибрация	10	1,65	Легкие
	11	0,43	Погружаются автоматически То же
12	0,43		
Забивание вручную	11	0,18	Тяжелые
	12	0,17	—

тивание электродов заземления в грунт. Технические условия предусматривают выпуск двух типов направляющих наконечников:

1) одновитковая спиральная шайба, конструкция которой представляет собой отрезок круглой стали с приваренной к нему по винтовой линии полосой (рис. 5.5, а);

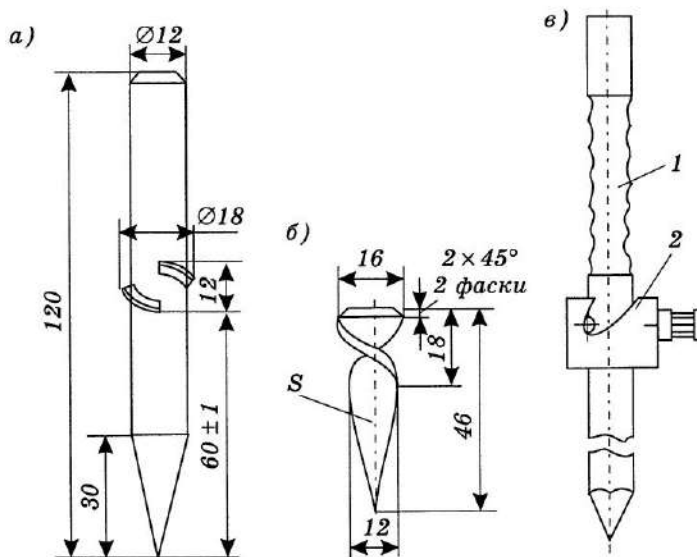


Рис. 5.5. Наконечники электродов заземления: а — наконечник электрода заземления с разрезной шайбой; б — наконечник электрода заземления из полосы; в — заземлитель для передвижных установок:

1 — стержень; 2 — зажим

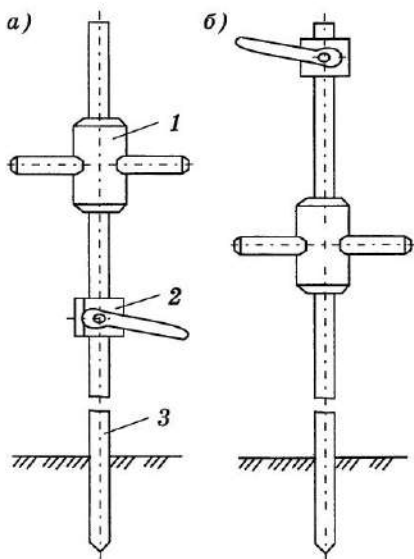


Рис. 5.6. Способы забивки и извлечения электродов: а — забивка; б — извлечение:

1 — молот; 2 — замок; 3 — электрод

Забивка и извлечение производятся с помощью молота (рис. 5.7).

Твердость поверхности заостренного конца стержня на длине 40 мм участков с волнистой поверхностью, деталей замка и рабочего конца поворотного рычага замка должна быть не ниже HRC 35.

Зажим должен обеспечивать надежный контакт заземляющего провода. Значение переходного сопротивления меж-

2) одновитковая спираль для полосы, конструкция которой представляет собой полосу, изогнутую по винтовой линии (рис. 5.5, б).

Одной из разновидностей стержневых электродов является заземлитель для передвижных электротехнических установок (рис. 5.5, в).

Заземлитель может быть использован для транспорта на резиновом ходу в охранно-опасных зонах, для заземления бытовых вагончиков и других аналогичных установок, требующих смены мест.

Общие размеры стержня: длина 900–2000 мм; диаметр 12–14 мм. Способы забивки и извлечения заземлителя показаны на рис. 5.6.

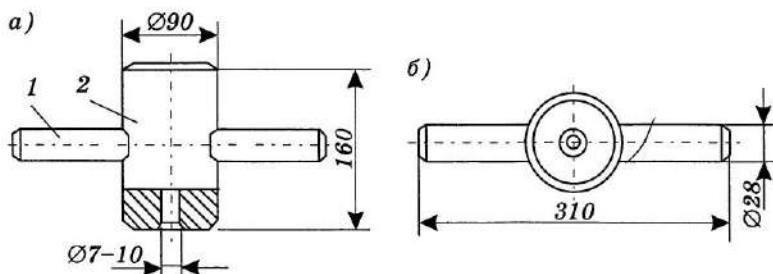


Рис. 5.7. Устройство для забивки и извлечения электродов: а — вид сбоку; б — вид сверху;

1 — рукоятка; 2 — молот

ду стержнем и заземляющим проводом не должно быть более 0,01 Ом.

Ввиду того, что конструкция заземлителей молниезащиты несколько отличается от заземлителей защитного и рабочего заземлений, рассмотрим их отдельно.

### **Конструкция заземлителей молниеотводов**

В качестве заземлителей молниезащиты допускается использовать все рекомендуемые ПУЭ заземлители ЭУ, за исключением нулевых проводов ВЛЭП до 1 кВ (СО 153-34.21.122-03).

Выбор заземлителя защиты от прямых ударов молнии (естественного или искусственного) определяется следующими требованиями.

1. Железобетонные фундаменты зданий, сооружений, наружных установок, опор молниеотводов следует, как правило, использовать в качестве заземлителей молниезащиты при условии обеспечения непрерывной электрической связи по их арматуре и присоединения элементов молниезащиты к закладным деталям с помощью сварки.

2. Битумные и битумно-латексные покрытия не являются препятствием для такого использования фундаментов. В средне- и сильноагрессивных грунтах, где защита железобетона от коррозии выполняется эпоксидными и другими полимерными покрытиями, а также при влажности грунта менее 3 % использовать железобетонные фундаменты в качестве заземлителей не допускается.

3. Искусственные заземлители следует располагать под асфальтовым покрытием или в редко посещаемых местах (на газонах, на удалении 5 м и более от грунтовых проезжих и пешеходных дорог и т. п.). При этом для отдельно стоящих молниеотводов приемлемыми являются следующие конструкции заземлителей:

а) один (и более) железобетонный подножник длиной не менее 2 м или одна (и более) железобетонная свая длиной не менее 5 м;

б) одна (и более) заглубленная в землю не менее чем на 5 м стойка железобетонной опоры диаметром не менее 0,25 м;

в) железобетонный фундамент произвольной формы с площадью поверхности контакта с землей не менее 10 м<sup>2</sup>;

г) искусственный заземлитель, состоящий из трех и более вертикальных электродов длиной не менее 3 м, расположенных на расстоянии 5 м друг от друга и объединенных

горизонтальным электродом. Минимальные сечения (диаметры) электродов определяются по табл. 5.9.

В качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии во всех возможных случаях следует использовать железобетонные фундаменты зданий и сооружений с учетом указанных выше требований.

При невозможности использования фундаментов предусматриваются искусственные заземлители:

1) при наличии стержневых и тросовых молниеотводов каждый токоотвод присоединяется к заземлителю;

2) при наличии молниеприемной сетки или металлической кровли по периметру здания или сооружения прокладывается наружный контур следующей конструкции:

— в грунтах с эквивалентным удельным сопротивлением  $\rho < 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  при площади здания более  $250 \text{ м}^2$  выполняется контур из горизонтальных электродов, уложенных в земле на глубине не менее  $0,5 \text{ м}$ , а при площади здания менее  $250 \text{ м}^2$  к этому контуру в местах присоединения токоотводов приваривается по одному вертикальному или горизонтальному лучевому электроду длиной  $2-3 \text{ м}$ ;

— в грунтах с удельным сопротивлением  $500 < \rho < 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  при площади здания более  $900 \text{ м}^2$  достаточно выполнить контур только из горизонтальных электродов, а при площади здания менее  $900 \text{ м}^2$  к этому контуру в местах присоединения токоотводов приваривается не менее двух вертикальных или горизонтальных лучевых электродов длиной  $2-3 \text{ м}$  на расстоянии  $3-5 \text{ м}$  один от другого.

В зданиях большой площади наружный контур заземления может также использоваться для выравнивания потенци-

Т а б л и ц а 5.9

Минимальные сечения (диаметры) электродов

Форма токоотвода и заземлителя	Сечение (диаметр) токоотвода и заземлителя, проложенных	
	снаружи здания на воздухе	в земле
Круглые токоотводы и перемычки	6	—
Круглые вертикальные электроды	—	10
Круглые горизонтальные электроды	—	10
Прямоугольные электроды: сечением, $\text{мм}^2$ толщиной, $\text{мм}$	48	160
	4	4

ала внутри здания. Если ширина здания или сооружения более 100 м, выравнивание потенциалов должно происходить за счет непрерывной электрической связи между несущими внутрицеховыми конструкциями и железобетонными фундаментами, если последние могут быть использованы в качестве заземлителей.

В противном случае должна быть обеспечена прокладка внутри здания в земле на глубине не менее 0,5 м протяженных горизонтальных заземлителей сечением не менее 100 мм<sup>2</sup>. Заземлители следует прокладывать по ширине здания не реже чем через 60 м и присоединять по торцам здания с двух сторон к наружному контуру заземления.

Во всех возможных случаях ЗУ защиты от прямых ударов молнии должно быть объединено с ЗУ электроустановок.

### Заземляющая сетка

ЗУ, выполняемое с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом, включая сопротивления естественных заземлителей.

В целях выравнивания электрического потенциала и обеспечения присоединения ЭО к заземлителю на территории, занятой оборудованием, следует прокладывать продольные и поперечные горизонтальные заземлители и соединять их между собой в заземляющую сетку.

Продольные по отношению к территории заземлители должны быть проложены вдоль осей электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5–0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8–1 м от фундаментов или оснований оборудования.

При выполнении ЗУ с соблюдением требований, предъявляемых к его сопротивлению или напряжению прикосновения, дополнительно к требованиям ПУЭ следует прокладывать заземляющие проводники, присоединяющие оборудование или конструкции к заземлителю, в земле на глубине не менее 0,3 м.

В целях выравнивания потенциала на территории, занятой ЭО, должны быть проложены продольные и поперечные горизонтальные элементы заземлителя и соединены сваркой между собой, а также с вертикальными элементами заземлителя (ГОСТ 12.1.030–81).

По проводимости, термической стойкости и сопротивлению цепи «фаза—нуль» заземляющие и нулевые защитные проводники должны соответствовать требованиям, приведенным в ПУЭ и ГОСТ Р 50571.10–96.

Температура нагрева защитных проводников при КЗ должна быть не выше предельно допустимых значений, приведенных в табл. 5.10.

При электропитании ЭУ по кабелям и при использовании одной из жил кабелей в качестве защитных проводников их сечение должно быть не менее значений, приведенных в табл. 5.11. В этом случае не требуется проверять сечение на соответствие требованиям, приведенным в п. 4.2.

Если сечения защитных проводников, полученные в результате расчетов, отличаются от приведенных в табл. 5.11, следует выбрать из таблицы ближайшее большее значение. Значения табл. 5.11 действительны только в случае, если защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. В противном случае сечения защитных проводников выбирают таким образом, чтобы их проводимость была равной проводимости, получаемой в результате применения таблицы.

Во всех случаях сечение защитных проводников, не входящих в состав кабеля, должно быть не менее:  $2,5 \text{ мм}^2$  — при наличии механической защиты;  $4 \text{ мм}^2$  — при отсутствии механической защиты.

При выборе и прокладке защитных проводников следует учитывать внешние воздействующие факторы по ГОСТ 30331.2 / ГОСТ Р 50571.2.

В качестве защитных проводников могут быть использованы:

- жилы многожильных кабелей;
- изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами;
- стационарно проложенные неизолированные или изолированные проводники;
- металлические покровы кабелей, например, алюминиевые оболочки кабелей, экраны, броня некоторых кабелей;

**Предельно допустимые температуры нагрева различных защитных проводников**

№ п/п	Тип (вид) защитного проводника	Предельно допустимая температура нагрева, °С
1	<b>Шины:</b>	
	медные	300
	алюминиевые	200
	стальные, не имеющие непосредственного соединения с аппаратами	400
2	стальные с непосредственным присоединением к аппаратам	300
	<b>Кабели с бумажной пропитанной изоляцией:</b>	
	напряжением до 10 кВ	200
	напряжением 20–220 кВ	125
3	<b>Кабели и изолированные провода с медными и алюминиевыми жилами:</b>	
	с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией	150
	с полиэтиленовой изоляцией	120
4	<b>Медные неизолированные провода:</b>	
	при тяжении менее 20 Н/мм <sup>2</sup>	250
	при тяжении 20 и более Н/мм <sup>2</sup>	200
5	<b>Алюминиевые неизолированные провода:</b>	
	при тяжении менее 10 Н/мм <sup>2</sup>	200
	при тяжении 10 и более Н/мм <sup>2</sup>	160
6	Алюминиевая часть сталеалюминиевых проводов	200

металлические трубы или металлические оболочки для проводников;

некоторые проводящие элементы, не являющиеся частью ЭУ (СПЧ), например, металлические строительные конструкции зданий и конструкции производственного назначения (подкрановые пути, галереи, шахты лифтов и т. п.).

СПЧ могут использоваться в качестве защитных проводников, если они одновременно отвечают следующим требованиям:

Т а б л и ц а 5.11

**Сечения защитных проводников, входящих в состав кабеля**

№ п/п	Сечения фазных проводников, мм <sup>2</sup>	Наименьшее сечение защитных проводников, мм <sup>2</sup>
1	$S \leq 16$	$S$
2	$16 < S \leq 35$	16
3	$S > 35$	$S/2$



а) электрическая непрерывность цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищающими ее от механических, химических и электрохимических повреждений;

б) их проводимость (сечение) не менее требуемой в п. 4.2;

в) их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости;

г) они сконструированы или, при необходимости, приспособлены для этой цели.

Оболочки или рамы комплектных устройств заводского изготовления или кожуха комплектных шинопроводов, имеющиеся в составе установки, могут использоваться в качестве защитных проводников при условии, что они одновременно удовлетворяют следующим требованиям:

а) электрическая непрерывность цепи осуществлена таким образом, что обеспечивается ее защита от механических, химических и электрохимических повреждений;

б) их проводимость (сечение) не менее требуемой в п. 4.2;

в) они должны обеспечивать возможность подключения других защитных проводников в любом предусмотренном для этого месте.

Металлические защитные покровы (неизолированные или изолированные) некоторых систем электропроводок, в частности, оболочки кабелей с минеральной изоляцией, а также металлические трубы электропроводок и электротехнические корпуса могут быть использованы в качестве защитных проводников для соответствующих цепей, если они одновременно отвечают выше приведенным требованиям. Использование других труб и оболочек в качестве защитных проводников не допускается.

Допускается использование в качестве защитных проводников металлических труб водопровода при наличии разрешения от организации, ответственной за эксплуатацию водопровода. Использование труб системы газоснабжения в качестве защитных проводников запрещается.

В случае, когда защитные проводники не входят в состав кабеля, их сечения должны быть не менее приведенных в табл. 3.7.

Выше были рассмотрены общие требования к конструкции заземляющих и нулевых защитных проводников. Однако, их сечения существенно зависят от напряжения ЭУ и режима нейтрали (табл. 5.12).

При пользовании данными, приведенными в табл. 5.12, необходимо учитывать следующее.

## Сечения заземляющего и нулевого защитного проводников в зависимости от напряжения ЭУ и режима нейтрали

Напряжение и режим нейтрали ЭУ	Требования к сечению заземляющего и нулевого защитного проводников
ЭУ напряжением выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью	Сечение заземляющего проводника должно быть выбрано таким, чтобы при протекании по нему наибольшего тока однофазного КЗ температура заземляющего проводника не превысила 400 °С (кратковременный нагрев, соответствующий времени действия основной защиты и полного времени отключения выключателя)
ЭУ напряжением до 1 кВ и выше с изолированной нейтралью	<p>Проводимость заземляющего проводника должна составлять не менее 1/3 проводимости фазных проводников, а сечение — не менее приведенных в таблице.</p> <p>Не требуется применения проводников сечением: медных более 25 мм<sup>2</sup>, алюминиевых — 35 мм<sup>2</sup>, стальных — 120 мм<sup>2</sup>.</p> <p>В производственных помещениях с такими электрическими магистралями заземления из стальной полосы должны иметь сечение не менее 100 мм<sup>2</sup>. Допускается применение круглой стали того же сечения</p>
ЭУ напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью	Полная проводимость нулевого защитного проводника во всех случаях должна быть не менее 50 % проводимости фазного проводника

1. В целях обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой защитный проводник возникал ток КЗ, превышающий не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя, в 3 раза — номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратнoзависимую от тока характеристику.

2. При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), проводимость указанных проводников должна обеспечивать ток не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженный на коэффициент, учитывающий разброс (по заводским данным), и на коэффициент запаса, равный 1,1. При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки следует принимать не менее 1,4,

а для автоматических выключателей с номинальным током более 100 А — не менее 1,25.

3. Если указанные требования не удовлетворяют значениям тока замыкания на корпус или на нулевой защитный проводник, то отключение при этих замыканиях должно обеспечиваться при помощи специальных защит.

4. В ЭУ напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью в целях удовлетворения указанных требований нулевые защитные проводники рекомендуется укладывать совместно или в непосредственной близости с фазными.

В случае, когда сечение стальных заземляющих проводников в производственных помещениях определяется не термической стойкостью или проводимостью по сравнению с фазными, а только требованиями механической прочности, выбор стальных проводников производится в соответствии с требованиями табл. 5.13.

Как уже указывалось выше, в качестве заземляющих и нулевых защитных проводников используются медные и алюминиевые провода, жилы кабелей и нулевые шины шинопроводов.

Активное сопротивление медных проводов и кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией при  $t = 70^\circ\text{C}$  при изменении сечения жилы от 1 до  $240\text{ мм}^2$  изменяется от 22,2 до 0,092 Ом/км.

Активное сопротивление алюминиевых проводов и кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией при изменении сечения жилы от 2,5 до  $240\text{ мм}^2$  изменяется от 15 до 0,156 Ом/км.

Т а б л и ц а 5.13

Заземляющие и нулевые защитные проводники, рекомендуемые для производственных помещений

Вид заземляющего и нулевого защитного проводников	Характеристика среды	Рекомендуемые стальные проводники	Допустимые к применению стальные проводники
Магистраль заземления и зануления	Нормальная или влажная	Стальная полоса 40 × 3, 30 × 4 мм	Стальная полоса 40 × 4 мм, сталь круглая Ø 14 мм
Ответвления от магистралей заземления и зануления	Нормальная или влажная	Стальная полоса 20 × 3, 25 × 3 мм	Сталь круглая Ø 6–10 мм
	Сырая или химически активная*	Сталь круглая Ø 6–10 мм	Стальная полоса 20 × 4, 25 × 4 мм

\* Рекомендуются применять соответствующие среде защитные покрытия.

Внутреннее индуктивное сопротивление медных и алюминиевых проводов имеет незначительную величину — примерно 0,0156 Ом/км. Внешнее индуктивное сопротивление медных и алюминиевых проводов зависит от сечения и взаимного расположения.

При изменении расстояния между фазным и нулевым проводами от 4 до 20 мм сопротивление изменяется от 0,7 до 1,25 Ом/км.

Активное сопротивление медных шин при  $t = 70^\circ\text{C}$  и переменном токе с изменением сечения от  $25 \times 3$  до  $120 \times 10 \text{ мм}^2$  изменяется от 0,305 до 0,025 Ом/км. Активное сопротивление алюминиевых шин при переменном токе и  $t = 70^\circ\text{C}$  с изменением сечения от  $25 \times 3$  до  $120 \times 10 \text{ мм}^2$  изменяется от 0,485 до 0,038 Ом/км.

Внутреннее индуктивное сопротивление шин из алюминия и меди мало и составляет примерно 0,015 Ом/км.

В табл. 5.14 приведены стальные проводники, эквивалентные по проводимости алюминиевому проводнику круглой формы.

Стальные проводники имеют высокое удельное сопротивление при постоянном токе ( $0,14 \text{ Ом мм}^2/\text{м}$ ), а при переменном токе — значительное индуктивное сопротивление. Их активное и индуктивное сопротивления изменяются не линейно, а в зависимости от плотности тока и соотношения периметра и сечения (табл. 5.15–5.18).

Большое значение имеет то, что стальные проводники прокладываются на некотором (в большинстве случаев значительном) расстоянии от фазных: вследствие этого значительно увеличивается внешнее индуктивное сопротивление цепи фаза — нуль.

Электрическое сопротивление стальной полосы при изменении размеров от  $20 \times 4$  до  $100 \times 8$  и при плотности тока

Т а б л и ц а 5.14

Проводники равной активной проводимости при плотности тока до  $2 \text{ А/мм}^2$

Алюминиевые проводники сечением, $\text{мм}^2$	Стальные проводники			
	Круглые диаметром, мм	Полоса размером, мм	Труба внутренним диаметром, мм	Уголок диаметром, мм
2,5	6		—	—
4	10	$20 \times 3$	6,3 (1/4)	—
6	14	$25 \times 3$	9,4 (3/8)	—
10	22	$40 \times 3$	19 (3/4)	$25 \times 25 \times 3$
16	32	$70 \times 4, 60 \times 4$	32 (5/4)	$30 \times 30 \times 4$

Таблица 5.15

## Активное и внутреннее индуктивное сопротивления стальных круглых шин, Ом/км

Плотность тока, $\text{А/мм}^2$	Номинальный диаметр, мм						
	5	6	8	10	12	14	16
0,1	8,35/33,58	7,7/5,53	—	—	—	8,8/3,85	5,8/3,3
0,2	10,8/8,1	10,6/9	12,79/7,15	9,6/5,4	7,5/4,25	6,08/3,45	5,1/2,9
0,3	13,8/11,2	11,3/9,8	11,75/6,65	8,8/5	6,8/3,85	5,55/3,15	4,6/2,6
0,4	15,4/13,3	11,5/10,3	11,1/6,25	8,25/4,65	6,3/3,55	5,2/2,95	4,25/2,4
0,5	14,6/12,4	11,4/10,3	10,4/5,9	7,8/4,4	6/3,4	4,9/2,8	4,05/2,3
0,6	14,2/12,1	11,2/10	10/5,65	7,5/4,25	5,75/3,25	4,75/2,7	3,9/2,2
0,8	13,2/11,2	10,8/9,3	9,5/5,4	7,15/4,05	5,6/3,15	4,5/2,55	—
1	12,7/10,5	10,7/9,2	9,2/5,2	7/3,95	—	—	—
1,2	12,7/10,5	10,7/9,2	9/5,4	—	—	—	—

Примечание. В числителе приведены значения активных сопротивлений, в знаменателе — внутренних индуктивных.

Таблица 5.16

## Активное и внутреннее индуктивное сопротивления угловой стали, Ом/км

Плотность тока, $\text{А/мм}^2$	Размер угловой стали, мм					
	25 × 25 × 3	30 × 30 × 4	40 × 40 × 4	50 × 50 × 5	60 × 60 × 6	75 × 75 × 10
0,2	—	2,67/1,51	2/1,13	1,5/0,83	1,17/0,65	0,78/0,44
0,3	3,28/1,86	2,5/1,41	1,85/1,05	1,36/0,75	1,06/0,59	0,68/0,38
0,4	3,15/1,78	2,35/1,33	1,74/0,97	1,26/0,7	0,97/0,55	0,6/0,34
0,5	3/1,7	2,2/1,24	1,64/0,91	1,17/0,65	0,9/0,51	0,56/0,32
0,6	2,88/1,03	2,08/1,18	1,55/0,86	1,11/0,62	0,85/0,48	0,53/0,3
0,8	2,65/1,5	1,9/1,07	1,43/0,79	1/0,57	0,76/0,43	0,48/0,27
1	2,48/1,4	1,77/1	1,32/0,73	0,92/0,52	0,7/0,4	0,45/0,255

Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	Размер угловой стали, мм					
	25 × 25 × 3	30 × 30 × 4	40 × 40 × 4	50 × 50 × 5	60 × 60 × 6	75 × 75 × 10
1,2	2,35/1,33	1,66/0,92	1,24/0,69	0,86/0,49	0,66/0,37	—
1,4	2,25/1,27	1,58/0,88	1,19/0,66	0,84/0,47	—	—
1,6	2,15/1,22	1,53/0,85	1,15/0,64	—	—	—
1,8	2,08/1,18	1,5/0,83	—	—	—	—
2	2/1,13	—	—	—	—	—

Пр и м е ч а н и е. В числителе приведены значения активных сопротивлений, в знаменателе — внутренних индуктивных.

Т а б л и ц а 5.17

## Активное и внутреннее индуктивное сопротивления стальных труб, Ом/км

Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	Размер трубы, мм (дюйм)				
	19 (3/4)	25,4 (1)	32 (11/4)	38 (11/2)	51 (2)
0,1	—	2,95/1,67	2,32/1,31	2,02/1,14	1,62/0,91
0,2	3,63/2,05	2,72/1,54	2,12/1,2	1,83/1,04	1,47/0,83
0,3	3,33/1,88	2,5/1,41	1,97/1,11	1,67/0,94	1,33/0,75
0,4	3,08/1,74	2,32/1,31	1,84/1,04	1,56/0,88	1,24/0,7
0,5	2,95/1,67	2,2/1,24	1,75/0,99	1,48/0,84	1,18/0,67
0,6	2,82/1,59	2,11/1,19	1,68/0,95	1,43/0,81	1,14/0,64
0,7	2,73/1,54	2,05/1,16	1,64/0,92	1,39/0,79	1,11/0,63
0,8	2,68/1,51	2,01/1,14	1,6/0,9	1,36/0,77	1,09/0,62
0,9	2,63/1,48	1,98/1,12	1,56/0,88	—	—
1,1	2,58/1,46	—	—	—	—

Пр и м е ч а н и я: 1. В числителе приведены значения активных сопротивлений, в знаменателе — внутренних индуктивных.  
2. Размеры труб даны по внутреннему диаметру.

Т а б л и ц а 5.18  
Удельные активные и внутренние индуктивные сопротивления стальных полос, Ом/км

Плотность тока, $A/mm^2$	Толщина шины, мм					
	3		4		6	
	Ширина шины, мм					
	20	100	20	40	100	100
0,2	7,6/4,25	1,65/0,93	6,8/3,84	3,5/2,13	1,56/0,89	2,6/1,48
0,4	7,33/4,18	1,58/0,89	6,38/3,6	3,42/1,94	1,4/0,79	2,32/1,28
0,6	6,84/3,88	1,47/0,83	5,9/3,31	3/1,64	1,29/0,73	2/1,17
0,8	6,5/3,67	1,4/0,79	5,6/3,15	2,88/1,5	1,23/0,7	2/1,14
1	6,26/3,54	1,34/0,76	5,4/3,06	2,82/1,31	1,19/0,67	2/1,13
1,3	6/3,39	1,29/0,73	5,3/3	2,8/1,29	1,18/0,66	—

Примечание. В числителе приведены значения активных сопротивлений, в знаменателе — внутренних индуктивных.

$J = 0,5 A/mm^2$  изменяется от 6,1 до 1,05 Ом/км. Активное и внутреннее реактивное сопротивления круглых стальных проводников при изменении диаметра от 5 до 20 мм и при плотности тока  $J = 0,5 A/mm^2$  изменяются от 19,8 до 3,12 Ом/км.

Сопротивление угловой стали при изменении размеров от  $40 \times 40$  до  $63 \times 5$  и при плотности токов  $J = 0,5 A/mm^2$  изменяется от 1,76 до 1,07 Ом/км. Двутавровая балка 12 при такой же плотности тока имеет сопротивление 0,43 Ом/км. Двутавровая балка 18 при плотности тока  $J = 0,3 A/mm^2$  имеет сопротивление 0,37 Ом/км. Сведений по проводимости каркасов распределительных щитов, протяжных ящиков, протяжных и ответвительных коробок нет.

Стальные трубы всех диаметров могут быть использованы в качестве НЗП при относительно небольших расстояниях от подстанций до ЭП и алюминиевых проводников.

При медных проводниках, проложенных в трубах, водопроводные и газопроводные трубы диаметром менее 2" и электросварные диаметром до 47 мм могут быть использованы в качестве зануляющих.

При больших диаметрах труб и при медных проводниках не соблюдается условие 50 %-ной проводимости. При изменении диаметра водопроводных труб по ГОСТ 3262-75 от 1/2" до 2 1/2" сопротивление умень-

шается с 2,2 до 0,7 Ом/км. При изменении диаметра электросварных труб по ГОСТ 10704-76 от 20 до 59 мм сопротивление уменьшается с 2,8 до 0,9 Ом/км.

В качестве НЗП часто используют алюминиевые оболочки кабелей. Активное сопротивление алюминиевой оболочки кабелей при изменении сечений жилы трехжильного кабеля от 6 до 240 мм<sup>2</sup> уменьшается от 1,045 до 0,215 Ом/км в кабелях с алюминиевыми жилами и от 0,985 до 0,212 Ом/км в кабелях с медными жилами. При использовании четырехжильного кабеля активное сопротивление нулевой жилы и оболочки при изменении сечения жил кабеля от 6 до 185 мм<sup>2</sup> уменьшается от 0,867 до 0,18 Ом/км в алюминиевых кабелях и от 0,762 до 0,155 Ом/км в медных кабелях.

При монтаже заземляющих проводников и НЗП внутри зданий в установках до 1 кВ в первую очередь следует использовать металлические колонны, фермы, подкрановые пути, галереи, шахты лифтов и подъемников, каркасы щитов станций управления, стальные трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей, металлические трубопроводы всех назначений, проложенные открыто, исключая трубопроводы горючих и взрывоопасных смесей. Все эти элементы должны быть надежно соединены с заземляющим устройством. Если они по проводимости удовлетворяют требованиям, предъявляемым к защитным проводникам, то прокладывать искусственные защитные проводники не требуется. До начала монтажа искусственных заземляющих проводников на объекте строительная организация должна закончить и сдать по акту все строительные работы. Работа по монтажу искусственных заземляющих проводников должна производиться в объеме, предусмотренном проектом, в следующей последовательности:

- 1) разметить линии прокладки проводников, определить места проходов и обходов;

- 2) просверлить или пробить отверстия проходов сквозь стены и перекрытия;

- 3) установить опоры, проложить и закрепить предварительно окрашенные заземляющие проводники или закрепить проводники с помощью пристрелки (для сухих помещений);

- 4) соединить проводники между собой сваркой;

- 5) произвести окраску мест соединения проводников.

Части магистралей заземления и их транспортабельные узлы (опоры крепления, перемычки и другие заземляющие проводники) изготавливаются в мастерских электромонтажных заготовок.



Полосовая или круглая сталь, используемая в качестве заземляющих проводников, должна быть предварительно выправлена, очищена и окрашена со всех сторон. Окраску мест соединений необходимо производить после сварки стыков. Для этого в сухих помещениях с нормальной средой следует применять масляные краски и нитроэмали; в сырых помещениях и в помещениях с химически активной средой окраска должна производиться красками, стойкими к химическим воздействиям.

Заземляющие проводники окрашиваются в желто-зеленый цвет путем последовательного чередования желтых и зеленых полос одинаковой ширины от 15 до 100 мм. Полосы должны прилегать друг к другу или по всей длине каждого проводника, или в каждом доступном месте, или в каждой секции. Заземляющие проводники должны прокладываться горизонтально или вертикально, допускается также прокладка их параллельно наклонным конструкциям зданий. Прокладка плоских заземляющих проводников по кирпичным и бетонным основаниям должна производиться в первую очередь с помощью строительного монтажного пистолета.

В сухих помещениях полосы заземления могут прокладываться непосредственно по кирпичным и бетонным основаниям.

В сырых и особо сырых помещениях и в помещениях с химически активными веществами прокладку заземляющих проводников следует производить на опорах крепления, которые должны устанавливаться с соблюдением расстояний, указанных в табл. 5.19.

В качестве опор используются закладные изделия в железобетонных основаниях, держатели шин заземления (например, К 188, рис. 5.8). Держатели шин заземления К 188 применяются для крепления к стенам и металлоконструкциям заземляющих проводников из круглой стали диаметром

Т а б л и ц а 5.19

Расстояния от различных элементов (приспособлений) и уровней помещений до опор крепления заземляющих проводников

№ п/п	Элемент, приспособление, уровень	Расстояние до опор крепления заземляющих проводников, мм
1	На поворотах (от вершин углов)	100
2	Места ответвления от ГЗЗ (ГЗШ)	100
3	Нижняя поверхность съемных покрытий каналов	50
4	Уровень пола помещения	400–600

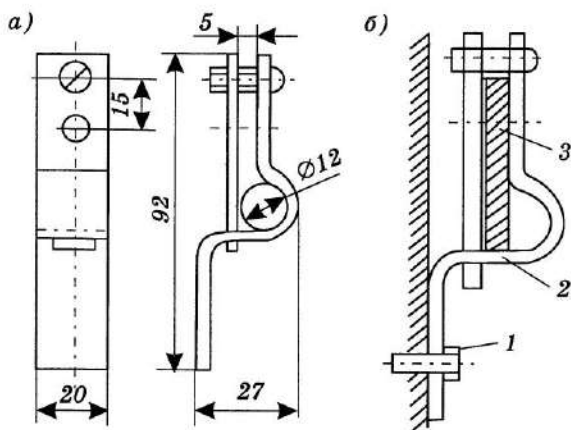


Рис. 5.8. Держатель шин заземления: *а* — для стальных круглых шин заземляющих проводников; *б* — для прямоугольных заземляющих проводников:

1 — болт; 2 — держатель; 3 — шинозаземление

10, 12 мм и из полосовой стали размером 40×4 и 25×3 мм. Держатели закрепляются пристрелкой или сваркой, имеют климатическое исполнение V, категории 2, масса 1000 шт. составляет 75 кг. Расстояние от поверхности основания до заземляющих проводников должно быть не менее 10 мм (см. рис. 5.8).

Держатели крепятся к закладным изделиям, расположенным в бетонном основании, с помощью сварки, которая выполняется по периметру хвостовика держателя, а также с помощью pistolетных дюбелей.

К бетонным, кирпичным и другим основаниям держатели крепятся с помощью дюбелей с распорной гайкой или

Т а б л и ц а 5.20

Рекомендуемые размеры дюбелей для крепления заземляющих проводников

Строительное основание	Материал и толщина пристреливаемой детали, мм	Рекомендуемый дюбель
Тяжелый бетон и железобетон	Сталь толщиной 1–4	ДГПШ 4,5 × 40
Нештукатуренная кирпичная кладка, оштукатуренный тяжелый бетон и железобетон	То же	ДГПШ 4,5 × 50
Оштукатуренная кирпичная кладка, легкий бетон и железобетон	»	ДГПШ 4,5 × 60

Т а б л и ц а 5.21

## Дюбели с распорной гайкой (к рис. 5.9)

Тип	Размеры болта или винта	Наибольшая толщина закрепляемой детали, мм	Размеры, мм		Масса 1000 шт., кг
			L	D	
K437/I	M 10 × 65	15	55	18	99
K437/II	M 10 × 80	30	55	18	110
K438/I	M 12 × 80	20	65	20	141
K438/II	M 12 × 100	40	65	20	157
K439/I	M 16 × 100	20	85	26	303
K439/II	M 16 × 120	40	85	26	338

Т а б л и ц а 5.22

## Дюбели распорные капроновые (к рис. 5.10)

Тип	Размеры шурупов, мм	Наибольшая толщина закрепляемой детали, мм	Размеры, мм		Масса 1000 шт., кг
			L	D	
У656	4 × 30	7	25	6	5
У658	5 × 40	10	35	8	7,1
У678	5 × 60	10	45	8	9,9
У661	8 × 80	15	60	14	37
У663	12 × 100	15	80	20	103

Т а б л и ц а 5.23

## Расстояния между креплениями заземляющих проводников, мм

Размеры проводника, мм		Место прокладки			
Сталь полосовая	Сталь круглая диаметром	по стенам		под перекрытием	
		на высоте, м			
		до 2	более 2	до 2	более 2
20 × 3	8	400	600	600	800
25 × 4	12	600	800	800	1000
30 × 5, 40 × 4	—	600	800	800	1000

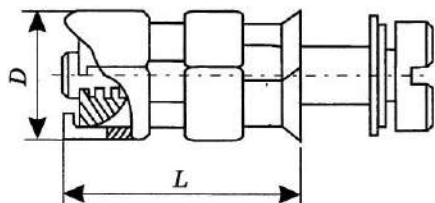


Рис. 5.9. Дюбель с распорной гайкой

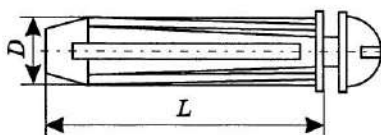


Рис. 5.10. Распорный капроновый дюбель

капроновых распорных дюбелей. Размеры дюбелей приводятся в табл. 5.20–5.23, расстояния между креплениями заземляющих проводников на прямых участках указаны в табл. 5.23.

Значительное влияние на параметры ЗУ оказывают способы соединения и присоединения защитных проводников.

---

### 5.3. СОЕДИНЕНИЯ И ПРИСОЕДИНЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ И НУЛЕВЫХ ЗАЩИТНЫХ ПРОВОДНИКОВ

---

Контактные соединения по конструктивному исполнению подразделяются на неразборные соединения и разборные присоединения. Классификация соединений приведена в табл. 5.24. Неразборные соединения заземляющих и нулевых защитных проводников между собой должны обеспечивать надежный контакт и выполняться посредством сварки.

Допускается в помещениях и в наружных установках без агрессивных сред неразборные контактные соединения заземляющих и нулевых защитных проводников выполнять сваркой, пайкой или опрессовкой (рис. 5.11).

Виды сварных (неразборных) соединений заземляющих проводников к вертикальным и горизонтальным заземлителям представлены на рис. 5.12, 5.13.

Контактные соединения пластин из твердого алюминиевого сплава и алюминиевой части медноалюминиевых пластин с алюминиевыми проводниками должны выполняться сваркой или пайкой, а соединения наконечников из твердого алюминиевого сплава и алюминиевой части медноалюминиевых наконечников с алюминиевыми жилами проводов и кабелей должны выполняться сваркой или опрессовкой.

При этом должны быть предусмотрены меры против ослабления и коррозии контактных соединений.

Способы соединения и присоединения заземляющих и нулевых защитных проводников приведены в табл. 5.25.

Каждая заземляющая часть ЗУ должна быть присоединена к магистрали заземления или зануления при помощи отдельного ответвления. Способ присоединения заземляющих проводников к отдельным аппаратам выбирается в зависимости от основания, на котором крепится аппарат.

## Классификация контактных соединений

Область применения контактного соединения	Класс контактного соединения
Контактные соединения цепей, сечения проводников которых выбраны по допустимым длительным токовым нагрузкам (силовые электрические цепи, ЛЭП и т. п.)	1
Контактные соединения цепей, сечения проводников которых выбраны по стойкости к сквозным токам, потере и отклонению напряжения, механической прочности, защите от перегрузки; контактные соединения в цепях заземляющих и нулевых защитных проводников из стали	2
Контактные соединения цепей с электротехническими устройствами, работа которых связана с выделением большого количества тепла (нагревательные элементы, резисторы и т. п.)	3

При установке аппаратов на металлических конструкциях заземляющие проводники присоединяются сваркой к конструкции, а также способами, приведенными в табл. 5.26.

Соединение ЭО, подвергающееся частому демонтажу, вибрации или установленного на движущихся частях, выполняется с помощью гибких заземляющих и нулевых защитных проводников.

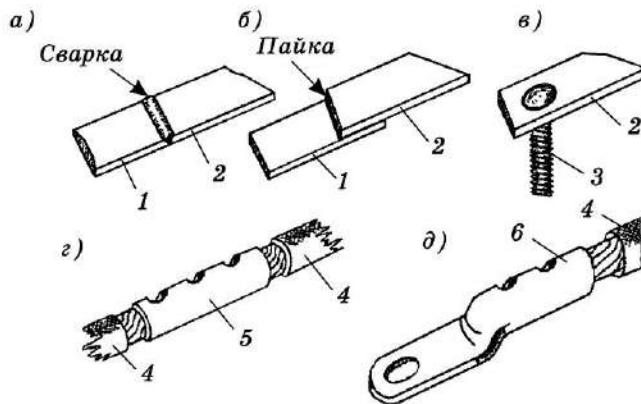


Рис. 5.11. Неразборные контактные соединения: *а* — сваркой; *б* — пайкой; *в* — сваркой со штыревым выводом; *г* — опрессовкой через соединительную гильзу; *д* — опрессовкой с кабельным наконечником;

1 — плоский вывод (шина); 2 — шина; 3 — штыревой вывод (болт); 4 — провод (жила кабеля); 5 — соединительная гильза; 6 — кабельный наконечник

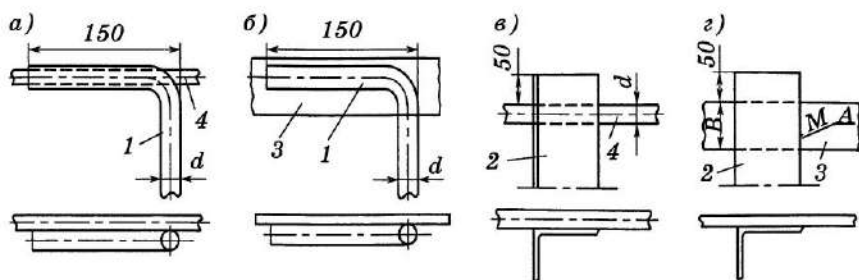


Рис. 5.12. Виды соединений заземляющих проводников с заземлителями: *а* — круглый заземлитель, круглый проводник; *б* — круглый заземлитель, проводник с полосовой сталью; *в* — заземлитель из угловой стали, проводник круглый; *г* — заземлитель из угловой стали, проводник из полосовой стали;

*1* — стержневой заземлитель; *2* — заземлитель из угловой стали; *3* — заземляющий проводник из полосовой стали; *4* — заземляющий проводник из круглой стали

Стальные трубы электропроводок, корпуса, лотки и другие конструкции, используемые в качестве заземляющих и нулевых защитных проводников, должны иметь контактные соединения, выполненные сваркой, пайкой, опрессовкой или болтовым соединением. При этом должен быть обеспечен надежный контакт стальных труб с корпусами ЭО, в которые вводятся трубы с соединительными (ответвительными) металлическими коробками.

Присоединение заземляющих и нулевых защитных проводников к частям оборудования, подлежащим заземлению

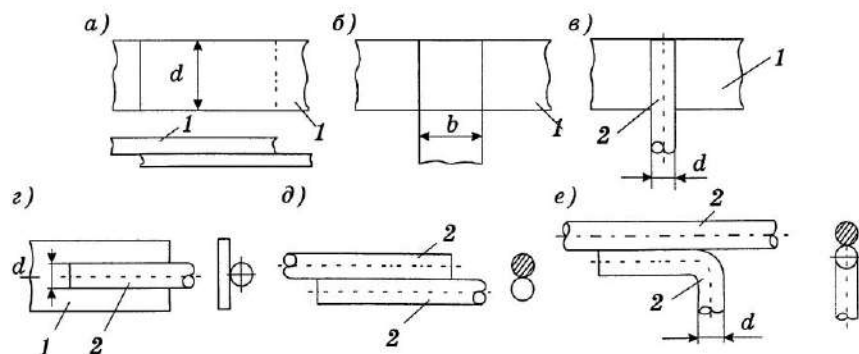


Рис. 5.13. Соединение заземляющих проводников и горизонтальных заземлителей: *а* — продольное соединение проводников из полосовой стали; *б* — ответвление проводника из полосовой стали; *в* — ответвление проводника из круглой стали; *г* — продольное соединение проводников из полосовой и круглой стали; *д* — продольное соединение проводников из круглой стали; *е* — ответвление от проводника из круглой стали;

*1* — стальная полоса; *2* — сталь круглая

## Соединения и присоединения заземляющих и нулевых защитных проводников

Соединяемые проводники	Способы соединения	Общие дополнительные требования к качеству соединений
Заземляющие и нулевые защитные проводники	Сварка	1. Соединения и присоединения заземляющих и нулевых защитных проводников должны быть доступны для осмотра.
Заземляющие и нулевые защитные проводники в помещениях и в наружных установках без агрессивных сред	Допускается выполнять соединения заземляющих и нулевых защитных проводников другими способами, обеспечивающими требования ГОСТ 10434-82 ко 2-му классу соединений, при этом должны быть предусмотрены меры против ослабления и коррозии контактных соединений. Соединения заземляющих и нулевых защитных проводников электропроводок и ВЛ допускается выполнять теми же методами, что и фазных проводников	2. Места и способы соединения заземляющих проводников с протяженными естественными заземлителями (например, с трубопроводами) должны быть выбраны такими, чтобы при разъединении заземлителей для ремонтных работ было обеспечено расчетное значение сопротивления заземляющего устройства. Водомеры, задвижки должны иметь обходные проводники, обеспечивающие непрерывность цепи заземления.
Стальные трубы электропроводок, короба, лотки и другие конструкции, используемые в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников	Соединения должны соответствовать требованиям ГОСТ 10434-82, предъявляемым ко 2-му классу соединений. Должен быть обеспечен надежный контакт стальных труб с корпусами ЭО, в которые вводятся трубы, и с соединительными (ответвительными) металлическими коробками	3. Каждая часть ЭУ, подлежащая заземлению или занулению, должна быть присоединена к сети заземления или зануления при помощи отдельного ответвления.
Присоединение заземляющих и нулевых защитных проводников к частям оборудования, подлежащим заземлению или занулению	Соединение должно быть болтовым или выполнено сваркой. Для болтового присоединения должны быть предусмотрены меры против ослабления и коррозии контактного соединения	Последовательное включение в заземляющий или нулевой защитный проводник заземляемых или зануляемых частей ЭУ не допускается

Соединяемые проводники	Способы соединения	Общие дополнительные требования к качеству соединений
Заземление или зануление оборудования, подвергающегося частому демонтажу или установленному на движущихся частях или частях, подверженных сотрясениям или вибрации	Соединение должно выполняться гибкими заземляющими или нулевыми защитными проводниками	

Т а б л и ц а 5.26

## Способы присоединения проводников к силовому электрооборудованию

Оборудование	Заземляющие элементы	Способ присоединения к заземляющей сети
Пусковой аппарат (магнитный пускатель, ящик с автоматическим выключателем и т. д.), аппарат управления (кнопочный пост, конечный выключатель, реостат, контроллер и т. д.), щитки, распределительные шкафы	Корпус аппарата, ящика, щитка, шкафа	Заземляющий проводник присоединяется к заземляющему или крепящему болту корпуса аппарата, ящика или щитка; при установке на металлоконструкции заземляющий проводник приваривается к конструкции. Если заземление производится через трубы электропроводки, то оно выполняется: а) присоединением перемычки от флажка или болта, приваренного к трубе, к заземляющему болту на корпусе аппарата щитка, ящика; б) установкой на трубе двух царапающих гаек или одной царапающей гайки и контргайки с зажимом стального листа корпуса аппарата между гайками
ЭО, установленное на станках и прочих механизмах	Корпус станка или механизма, имеющего металлическую связь с корпусом электродвигателя или другого оборудования	Заземляющий проводник, идущий от магистрали заземления или от стальной трубы электропроводки (если трубы используются в качестве заземляющих проводников), присоединяется к заземляющему болту на станке (механизме). ЭО, установленное на движущейся части станка, заземляется при помощи отдельной жилы в гибком кабеле, питающем движущуюся часть



Оборудование	Заземляющие элементы	Способ присоединения к заземляющей сети
Электрооборудование мостового крана	Подкрановые рельсы	Ответвления от заземляющего устройства привариваются в двух местах к подкрановым рельсам. Все стыки рельсов должны быть надежно соединены сваркой, на разъемных стыках должны быть приварены гибкие перемычки

или занулению, может быть выполнено неразборным (сваркой) или разборным (болтовым соединением). Разборные контактные соединения должны выполняться при помощи стальных крепежных изделий, защищенных от коррозии (рис. 5.14).

Для заземления корпусов изделий и подсоединения заземляющих проводников применяются заземляющие зажимы следующих типов:

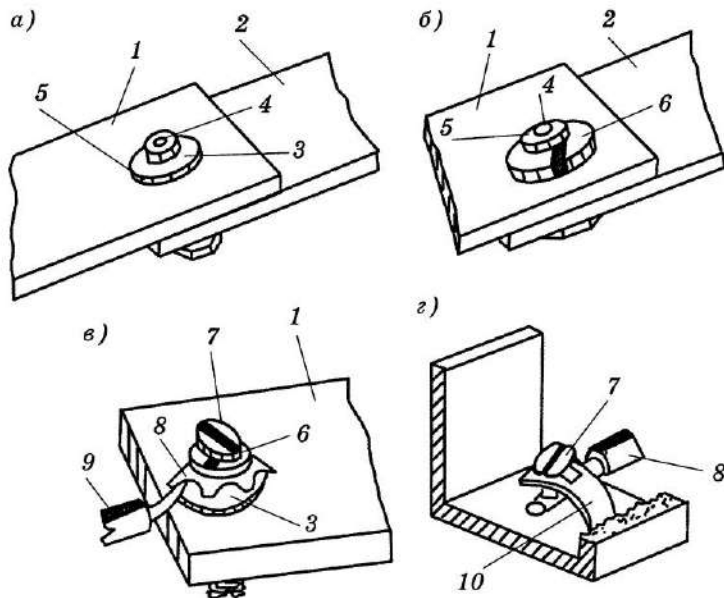


Рис. 5.14. Разборные контактные соединения: *а* — с контргайкой; *б* — с пружинной шайбой; *в* — с фасонной шайбой, с изгибом в кольцо провода (кабеля); *з* — с арочной шайбой, без изгиба провода (кабеля) в кольцо;

1, 2 — шины; 3, 4, 5 — соответственно стальные шайба, болт и гайка; 6 — пружинная шайба; 7 — винт; 8 — фасонная шайба; 9 — провод (кабель); 10 — арочная шайба

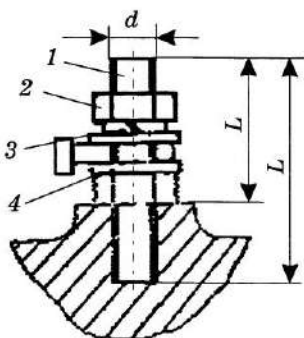


Рис. 5.15. Зажим типа ЗШ:

1 — шпилька; 2 — гайка; 3 — шайба пружинная; 4 — шайба

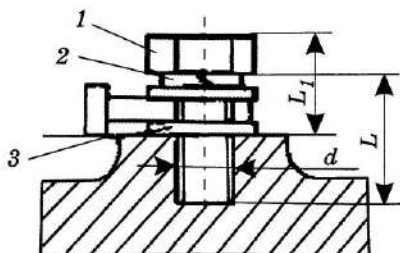


Рис. 5.16. Зажим типа ЗБ:

1 — болт; 2 — пружинная шайба; 3 — шайба

ЗШ — зажим со шпилькой (рис. 5.15);

ЗБ — зажим с болтом (рис. 5.16);

ЗВ — зажим с винтом (рис. 5.17);

ЗВП — зажим с винтом, припаянным к подпорке, для заземления оболочки и брони кабелей (рис. 5.18);

ЗШ2П — зажим с двумя шпильками и пластинами (рис. 5.19);

ЗВХ — зажим с болтом и хомутом (рис. 5.20);

ЗБ2 — зажим с двумя болтами (рис. 5.21);

ЗШ2С — зажим с двумя шпильками и скобой (рис. 5.22).

Примеры установки зажимов показаны на рис. 5.23. Способы присоединения заземляющих проводников к корпусам силового оборудования указаны в табл. 5.26.

Места присоединения и крепления заземляющих и нулевых защитных проводников к силовому оборудованию даны в ГОСТ 21130-75.

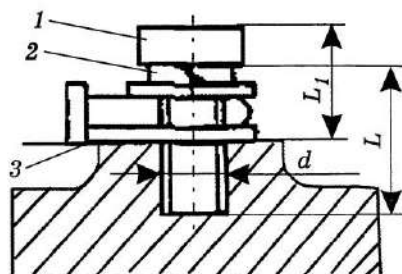


Рис. 5.17. Зажим типа ЗВ:

1 — винт; 2 — пружинная шайба; 3 — шайба

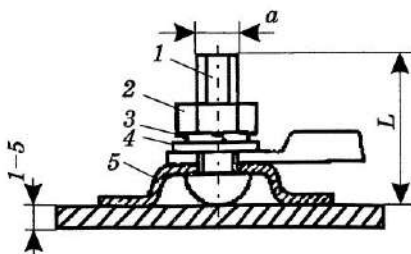


Рис. 5.18. Зажим типа ЗВП:

1 — винт; 2 — гайка или гайка барашек; 3 — шайба пружинная; 4 — шайба; 5 — скоба

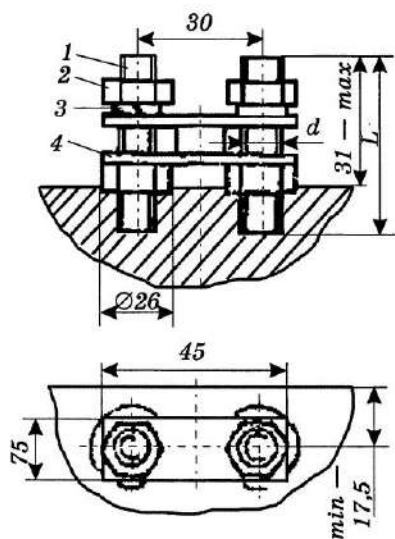


Рис. 5.19. Зажим типа ЗШ2П:

1 — шпилька; 2 — гайка; 3 — шайба пружинная; 4 — пластина

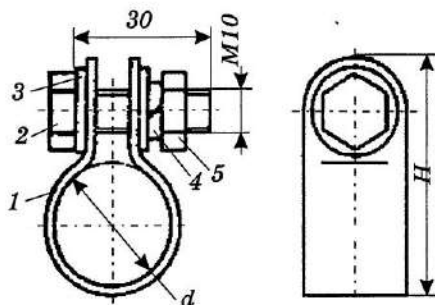


Рис. 5.20. Зажим типа ЗБХ:

1 — хомут; 2 — болт; 3 — стальная шайба; 4 — пружинная шайба; 5 — гайка

Установочные заземляющие гайки (табл. 5.27, рис. 5.24) применяются для создания электрического контакта между корпусом аппарата или электроконструкции и стальными трубами, патрубками (рис. 5.25). Размеры и массы вводных патрубков представлены в табл. 5.28.

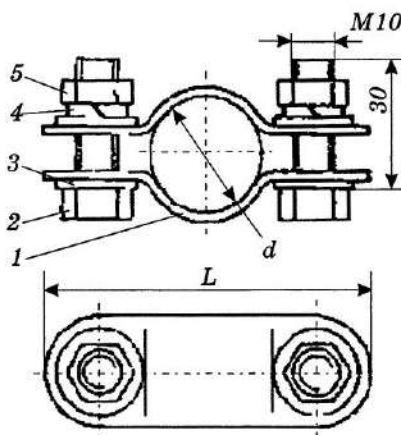


Рис. 5.21. Зажим типа ЗБ2:

1 — скоба; 2 — болт; 3 — стальная шайба; 4 — пружинная шайба; 5 — гайка

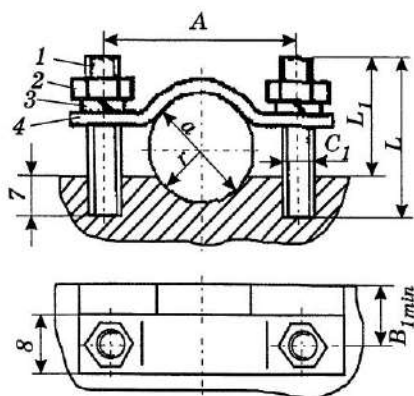


Рис. 5.22. Зажим типа ЗШ2С:

1 — шпилька; 2 — гайка; 3 — пружинная шайба; 4 — скоба

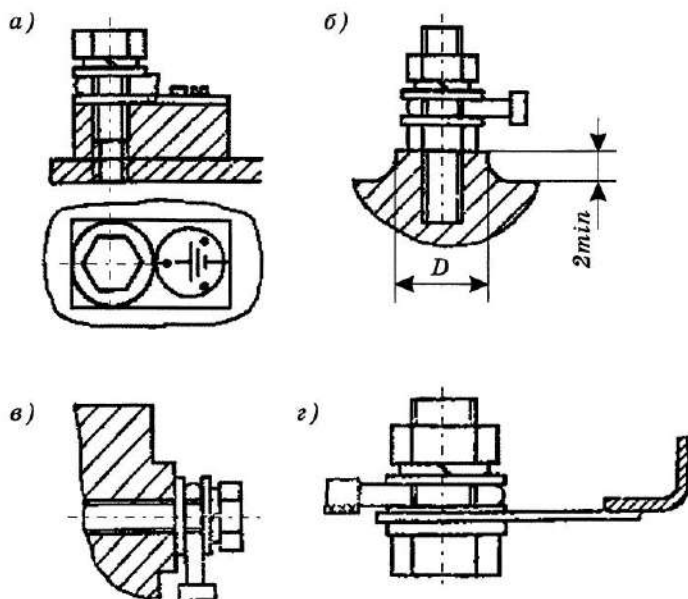


Рис. 5.23. Варианты установки зажимов: *а* — на прямоугольное изделие; *б* — на прилив; *в* — на приливе, установленном сбоку изделия; *г* — на листовом корпусе

Гайки устанавливаются по обе стороны стенки корпуса, при этом острые выступы должны быть обращены к этой стенке.

Разборные контактные соединения однопроволочных жил проводов и кабелей с плоскими или штыревыми выводами должны выполняться сечением жил:

до  $16 \text{ мм}^2$  — после оконцевания наконечниками или непосредственно путем формирования в кольцо или без него с предохранением в обоих случаях от выдавливания фасонными шайбами или другими способами;

Т а б л и ц а 5.27

Размеры и массы установочных заземляющих гаек (см. рис. 5.24)

Тип	Для трубы с условным проходом, мм	Резьба трубная <i>d</i> , дюймы	Размеры, мм			Масса 1000 шт., кг
			<i>S</i>	<i>h</i>	<i>D</i>	
K480	15	0,5	27	3	30	5
K481	20	0,75	32	3	37	7
K482	25	1	41	4	48	16
K483	32	1,25	50	4	58	23
K484	40	1,5	60	5	66	48
K485	50	2	70	5	81	55
K486	70	2,25	90	6	104	117

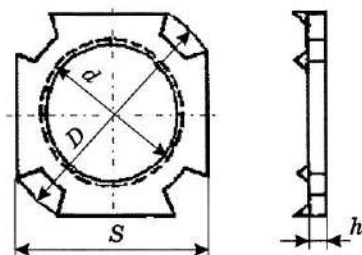


Рис. 5.24. Заземляющая установочная гайка

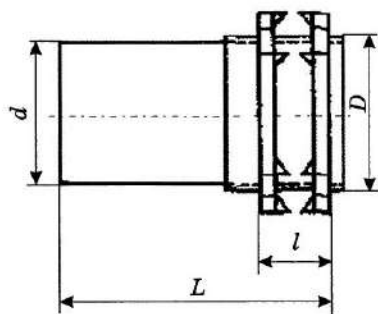


Рис. 5.25. Вводный патрубок

25 мм<sup>2</sup> и более — после окончевания наконечниками или путем формирования конца жилы в плоскую зажимную часть с отверстием под болт.

Разборные контактные соединения многопроводных жил проводов и кабелей с плоскими или штыревыми выводами должны выполняться:

до 10 мм<sup>2</sup> — после окончевания наконечниками или непосредственно путем формирования в кольцо или без него с предохранением в обоих случаях от выдавливания фасонными шайбами или другими способами;

16 мм<sup>2</sup> и более — после окончевания наконечниками.

Электрическое сопротивление контактных соединений (кроме сварных и паяных), прошедших испытания, не должно превышать начальное значение более чем в 1,5 раза. Электрическое сопротивление сварных и паяных соединений должно оставаться неизменным.

При протекании номинального (длительнодопустимого) тока превышение температуры контактных соединений классов 1 и 2 относительно температуры окружающего воздуха не должно быть выше значений, указанных в табл. 5.29.

Таблица 5.28

Размеры и массы вводных патрубков (см. рис. 5.25)

Тип	Для труб с наружным диаметром, мм	Условный проход труб, мм	Резьба трубная D, дюймы	Размеры, мм			Масса, кг
				L	l	d	
У476	25-27	20	0,75	55	25	26	0,1
У477	32-34	25	1	55	25	32	0,1
У478	47-49	40	1,5	68	25	48	0,3
У479	59-61	50	2	90	30	60	0,4

**Превышение температуры контактных соединений относительно температуры окружающего воздуха**

Характеристика соединяемых проводников	Допустимое превышение температуры, °С	
	до 1000 В	выше 1000 В
Проводники из меди, алюмомеди, алюминия и его сплавов без защитных покрытий рабочих поверхностей	55	40
Проводники из меди, алюмомеди, алюминия и его сплавов с защитными покрытиями благородными металлами	65	50
Проводники из меди и ее сплавов без изоляции или с изоляцией классов В, F, H по ГОСТ 8865-70 с защитным покрытием серебром	95	65

**Примечание.** Эффективное (расчетное) значение температуры воздуха принимается равным 40 °С.

После режима сквозного тока контактные соединения не должны иметь механических повреждений. Температура контактных соединений в режиме сквозного тока не должна превышать:

- 200 °С — у соединений проводников из алюмомеди, алюминия и его сплавов, а также у соединений этих проводников с медными;
- 300 °С — у соединений медных проводников;
- 400 °С — у соединений стальных проводников.

Контактные соединения должны выдерживать воздействие механических факторов внешней среды. При этом неразборные соединения должны выдерживать воздействия осевых статических нагрузок на растяжение, вызывающие напряжения не менее 30 % временного сопротивления целого проводника. Затяжку болтов рекомендуется производить моментными индикаторными ключами с крутящим моментом, указанным в табл. 5.30. Диаметры болта (штыревого вывода) и контактной площадки выбираются по величине тока, согласно табл. 5.31. К каждому болту (винту) плоского вывода или к штыревому выводу рекомендуется присоединять не более двух проводников. Винты в разъемных контактных соединениях рекомендуется применять с цилиндрической или шестигранной головкой.

Для болтового присоединения должны быть предусмотрены меры против ослабления и коррозии контактного соединения.

Т а б л и ц а 5.30

**Крутящие моменты затяжки болтов**

Диаметр болта, мм	5	6	8	10	12	16
Крутящий момент, Н·м	15-18	20-25	30-35	40-50	60-70	90-100

## Выбор болтов и контактных площадок по величине тока

Ток, по которому выбирается диаметр болта, А	Наименьший диаметр резьбы болта	Наименьший диаметр площадки, мм
До 16	M4	12
От 16 до 25	M5	14
От 25 до 100	M6	16
От 100 до 250	M8	20
От 250 до 630	M10	25
Свыше 630	M12	28

Неразборные соединения заземляющих и нулевых защитных проводников, а также их разборные присоединения к частям оборудования, подлежащим заземлению или занулению, должны быть доступны для осмотра. Болт (винт) для присоединения должен быть размещен в безопасном и удобном для подключения и осмотра месте. Возле места подключения должен быть помещен нанесенный любым способом (например, краской) нестираемый знак заземления (рис. 5.26, а).

Вокруг болта (винта) должна быть контактная площадка защищенная от коррозии и не имеющая поверхностной окраски.

Открыто проложенные магистрали заземления должны быть окрашены в черный цвет. Допускается окраска в другие цвета

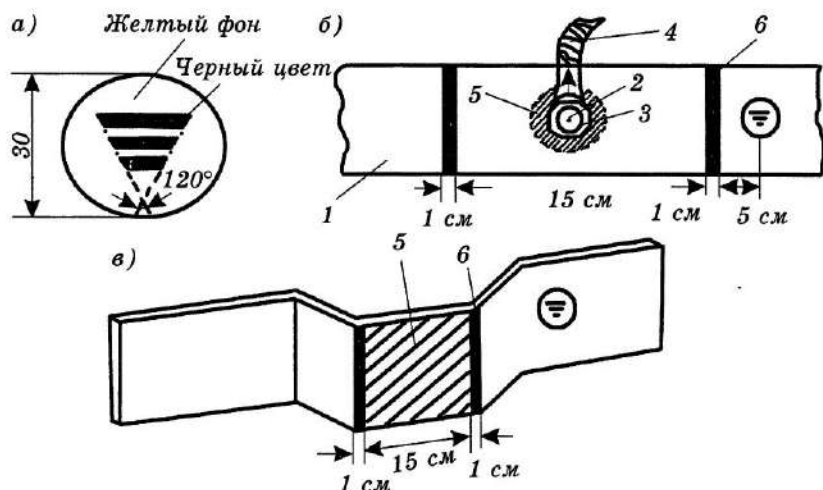


Рис. 5.26. Оформление магистрали заземления: а — знак заземления; б — оформление ответвления от магистрали; в — оформление места присоединения переносного заземления;

1 — магистраль заземления; 2 — штыревой вывод (болт); 3 — стальная гайка; 4 — ответвление; 5 — контактная площадка; 6 — черная полоса

в соответствии с оформлением помещения (под цвет стен, панелей), но при этом они должны иметь в местах присоединений и ответвлений две полосы черного цвета на расстоянии 150 мм друг от друга; площадка между черными полосами в местах ответвлений красится в цвет всей магистрали (рис. 5.26, б), а в местах наложения переносных заземлений — зачищается и защищается от коррозии (рис. 5.26, в).

### Подсоединение молниеотводов к заземлителям

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений II категории с неметаллической кровлей должна быть выполнена отдельно стоящими или установленными на защищаемом объекте стержневыми или тросовыми молниеотводами, ограничивающими необходимую зону защиты.

При установке молниеотводов на объекте от каждого стержневого молниеприемника или каждой стойки тросового молниеприемника должно быть обеспечено не менее двух токоотводов. При уклоне кровли не более 1:8 может быть использована также молниеприемная сетка.

Молниеприемная сетка должна быть выполнена из стальной проволоки диаметром не менее 6 мм и уложена на кровлю сверху или под несгораемые или трудносгораемые утеплитель или гидроизоляцию. Шаг ячеек сетки должен быть не более 6 × 6 м. Узлы сетки должны быть соединены сваркой. Выступающие над крышей металлические элементы (трубы, шахты, вентиляционные устройства) должны быть присоединены к молниеприемной сетке, а выступающие неметаллические элементы оборудованы дополнительными молниеприемниками, также присоединенными к молниеприемной сетке. Установка молниеприемников или наложение молниеприемной сетки не требуется для зданий и сооружений с металлическими фермами при условии, что в их кровлях используются несгораемые или трудносгораемые утеплители и гидроизоляция.

На зданиях и сооружениях с металлической кровлей в качестве молниеприемника должна использоваться сама кровля. При этом все выступающие неметаллические элементы должны быть оборудованы молниеприемниками, присоединенными к металлу кровли.

Токоотводы от металлической кровли или молниеприемной сетки должны быть проложены к заземлителям не реже чем через 25 м по периметру здания (СО 153-34.21.122-03).



При прокладке молниеприемной сетки и установке молниеотводов на защищаемом объекте всюду, где это возможно, в качестве токоотводов следует использовать металлические конструкции зданий и сооружений (колонны, фермы, рамы, пожарные лестницы и т. п., а также арматуру железобетонных конструкций) при условии обеспечения непрерывной электрической связи в соединениях конструкций и арматуры с молниеприемниками и заземлителями, выполняемых, как правило, сваркой.

Токоотводы, прокладываемые по наружным стенам зданий, следует располагать не ближе чем в 3 м от входов или в местах, не доступных для прикосновения людей.

При установке отдельно стоящих молниеотводов расстояние от них по воздуху и по земле до защищаемого объекта и вводимых в него подземных коммуникаций не нормируется. Соединения молниеприемников с токоотводами и токоотводов с заземлителями должны выполняться, как правило, сваркой, а при недопустимости огневых работ разрешается выполнение болтовых соединений с переходным сопротивлением не более 0,05 Ом при обязательном ежегодном контроле последнего перед началом грозового сезона. Токоотводы, соединяющие молниеприемники всех видов с заземлителями, следует выполнять из стали размерами не менее указанных в п. 5.2. При установке молниеотводов на защищаемом объекте и невозможности использования в качестве токоотводов металлических конструкций здания токоотводы должны быть проложены к заземлителям по наружным стенам здания кратчайшим путем. Допускается использование любых конструкций железобетонных фундаментов зданий и сооружений (свайных, ленточных и т. п.) в качестве естественных заземлителей молниезащиты при условии обеспечения непрерывной электрической связи по их арматуре и присоединения ее к закладным деталям с помощью сварки.

Битумные и битумно-латексные покрытия не являются препятствием для использования фундаментов. В средне- и сильноагрессивных грунтах, где защита железобетона от коррозии выполняется полимерными покрытиями, а также при влажности грунта менее 3 % использование железобетонных фундаментов в качестве заземлителей не допускается.

Металлические конструкции и корпуса всего электротехнического оборудования и аппаратов, находящихся в защищаемом здании, должны быть присоединены к заземляющему устройству ЭУ, о чем должны быть даны указания в электро-технической части проекта.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ЗАНУЛЕНИЯ

---

### 6.1. НОРМЫ ПРОВЕРКИ, КОНТРОЛЯ И СДАЧИ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

---

Для поддержания работоспособности и определения технического состояния заземляющих устройств и систем зануления необходимо периодически проводить следующие мероприятия:

1. *Проверку элементов ЗУ.* Ее следует производить путем осмотра элементов ЗУ в пределах доступности осмотра. Сечения и проводимости элементов заземляющего устройства должны соответствовать требованиям ПУЭ и проектным данным.

2. *Проверку электрической цепи между заземлителями и заземляющими элементами.* Следует проверять сечения, целостность и прочность проводников заземления и зануления, их соединений и присоединений. Не должно быть обрывов и видимых дефектов в заземляющих проводниках, соединяющих аппараты с контуром заземления. Надежность сварки проверяется путем нанесения ударов молотком у сварочных швов.

3. *Проверку состояния пробивных предохранителей в электроустановках до 1000 В.* Пробивные предохранители должны быть исправны и соответствовать номинальному напряжению электроустановки.

4. *Проверку цепи «фаза—нуль» в ЭУ до 1000 В с глухим заземлением нейтрали.* Проверку следует производить одним из способов: непосредственным измерением тока однофазного замыкания на корпус или на провод с помощью специальных приборов; измерением полного сопротивления петли «фаза—нуль» с последующим вычислением тока однофазного замыкания. Ток однофазного замыкания на корпус или нулевой провод должен обеспечивать надежное срабатывание защиты с учетом коэффициентов надежности отключения.

**5. Измерение сопротивления заземляющих устройств.** Значения сопротивления должны удовлетворять значениям, приведенным в гл. 3 и 4.

При контроле технического состояния заземляющего устройства проводятся:

— измерение сопротивления заземляющего устройства не реже 1 раза в 12 лет в соответствии с графиком ППР, а также и выборочно проверяют со вскрытием грунта для оценивания коррозионного состояния элементов заземлителя, находящихся в земле;

— проверка наличия и состояния цепей между заземлителем и заземляемыми элементами, соединений естественных заземлителей с заземляющим устройством — не реже 1 раза в 12 лет;

— измерение напряжения прикосновения в электроустановках, заземляющее устройство которых выполнено по нормам на напряжение прикосновения;

— после монтажа, переустройства и капитального ремонта заземляющего устройства — проверка соответствия напряжения (расчетного) на заземляющем устройстве требованиям ПУЭ (не реже 1 раза в 12 лет);

— в установках до 1000 В проверка пробивных предохранителей и полного сопротивления петли «фаза—нуль» — не реже 1 раза в 6 лет.

Сопротивления заземляющих устройств необходимо измерять:

— после монтажа, переустройства и капитального ремонта этих устройств на электростанциях, подстанциях и линиях электропередачи;

— при обнаружении на тросовых опорах ВЛ напряжением 110 кВ и выше следов перекрытий или разрушения изоляторов электрической дугой;

— на подстанциях воздушных распределительных сетей напряжением 35 кВ и ниже — не реже 1 раза в 12 лет. В сетях напряжением 35 кВ и ниже у опор с разъединителями, защитными промежутками, трубчатыми и вентильными разрядниками и у опор с повторными заземлителями нулевых проводов — не реже 1 раза в 6 лет; выборочно на 2 % металлических и железобетонных опор в населенной местности, на участках ВЛ с наиболее агрессивными, оползневыми, выдуваемыми или плохо проводящими грунтами — не реже 1 раза в 12 лет. Измерения должны проводиться в периоды наибольшего высыхания грунта.

Напряжения прикосновения проверяются после монтажа, переустройства и капитального ремонта заземляющего устройства, но не реже 1 раза в 6 лет. Измерения должны выполняться при присоединенных естественных заземлителях и тросах ВЛ.

Коррозийное состояние заземлителей необходимо проверять на подстанциях и электростанциях — в местах, где заземлители наиболее подвержены коррозии, а также вблизи нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей и на ВЛ — у 2 % опор с заземлителями.

Для заземлителей подстанций и опор ВЛ, в случае необходимости по решению технического руководителя, может быть установлена более частая проверка коррозионного состояния. Как правило, такие решения принимаются при высокой коррозионности грунтов.

Выборочная проверка со вскрытием грунта должна производиться на подстанциях вблизи нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей и на ВЛ — у 2 % опор с заземлителями.

Для заземлителей, подверженных интенсивной коррозии, по решению ответственного за электрохозяйство может быть установлена более частая периодичность выборочных вскрытий грунта.

Как указывалась выше, измерения напряжения прикосновения должны производиться после монтажа, переустройства и капитального ремонта заземляющего устройства, но не реже одного раза в 6 лет. Кроме того, на предприятии ежегодно должны производиться: уточнение величины тока однофазного КЗ, стекающего в землю с заземлителя ЭУ; корректировка значений напряжения прикосновения, сравнение их с требованиями ПУЭ. В случае необходимости должны выполняться мероприятия по снижению напряжения прикосновения [31].

На каждое находящееся в эксплуатации ЭУ должен быть заведен паспорт, содержащий:

- исполнительную схему устройства с привязками к капитальным сооружениям;
- указание связи с надземными и подземными коммуникациями и с другими заземляющими устройствами;
- дату ввода в эксплуатацию;
- основные параметры заземлителей (материал, профиль, линейные размеры);
- величину сопротивления растеканию тока с заземляющего устройства;

- удельное сопротивление грунта;
- данные: по напряжению прикосновения (при необходимости), по степени коррозии искусственных заземлителей, по сопротивлению металlosвязи оборудования с заземляющим устройством;

- ведомость осмотров и выявленных дефектов;
- информацию по устранению замечаний и дефектов.

К паспорту должны быть приложены результаты визуальных осмотров, осмотров со вскрытием грунта, протоколы измерения параметров заземляющего устройства, данные о характере ремонтов и изменениях, внесенных в конструкцию устройства.

При использовании в ЭУ зануления должна производиться проверка состояния нулевого защитного проводника, а также его соединения с защищаемым оборудованием.

После монтажа ЗУ перед засыпкой траншеи должен быть составлен акт по форме № 24 ВСН 123-90 на скрытые работы (прил. 1).

При сдаче (приемке) в эксплуатацию смонтированных заземляющих устройств на каждый отдельно стоящий объект должна быть предъявлена техническая документация в виде: паспорта и протоколов приемо-сдаточных испытаний (прил. 2).

Схема заземления в паспорте должна быть в виде исполнительных чертежей проекта ЗУ с изменениями, внесенными в процессе строительства.

Данные о результатах проверки состояния заземляющего устройства в паспорте должны быть в виде актов освидетельствования скрытых работ по монтажу ЗУ и присоединений к естественным заземляющим устройствам, а также актов осмотра и проверки состояния открыто положенных заземляющих проводников (форма № 25, прил. 3).

В табл. 6.1 представлены виды и нормы испытаний заземляющих устройств. Для видов испытаний приняты следующие обозначения:

К — испытания и измерения параметров при капитальном ремонте ЭО;

Т — испытания и измерения параметров при текущем ремонте ЭО;

М — межремонтные испытания и измерения, т. е. профилактические испытания, не связанные с выводом ЭО в ремонт;

К, Т, М производятся в сроки, установленные системой ППР, с учетом указаний табл. 6.1.

## Нормы испытаний заземляющих устройств

№ п/п	Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
1	Проверка соединений заземлителей с заземляемыми элементами, в том числе с естественными заземлителями	К, М	Проверка производится для выявления обрывов и других дефектов путем осмотра, простукивания молотком и измерения переходных сопротивлений. Проверка соединения с естественными заземлителями производится после ремонта заземлителей	В случае измерения переходных сопротивлений следует учитывать, что сопротивление исправного соединения не превышает 0,05 Ом. У кранов проверка наличия цепи должна производиться не реже 1 раза в год
2	Проверка напряжения прикосновения на территории ЭУ и напряжения на ЗУ	К, М	Наибольшее напряжение не должно превышать: 500 В при длительности воздействия 0,1 с; 400 В при длительности воздействия 0,2 с; 200 В при длительности воздействия 0,5 с; 130 В при длительности воздействия 0,7 с; 100 В при длительности воздействия 1 с; 65 В при длительности воздействия от 1 с до 5 с. Промежуточные допустимые напряжения в интервале времени от 0,1 с до 1 с следует определять интерполяцией	Производится в электроустановках, выполненных по нормам на напряжение прикосновения в контрольных точках, в которых значения напряжения прикосновения определены при проектировании, после капитального ремонта заземлителей. За длительность воздействия принимается суммарное время действия резервной релейной защиты и собственного времени отключения выключателей
3	Проверка состояния находящихся в земле элементов ЗУ: 1) ЭУ, кроме ВЛ; 2) ВЛ	М	Проверка коррозионного состояния производится не реже 1 раза в 12 лет. Элемент заземлителя должен быть за-	В ЗРУ осмотр элементов заземлителей производится по решению технического руководителя Потребителя

№ п/п	Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
3			<p>менен, если разрушено более 50 % его сечения.</p> <p>Проверка заземлителей в ОРУ электростанций и подстанций производится выборочно, в местах, наиболее подверженных коррозии, а также вблизи мест заземления нейтралей силовых трансформаторов, присоединений разрядников и ограничителей перенапряжений.</p> <p>На ВЛ выборочная проверка со вскрытием грунта производится не менее чем у 2 % опор от общего числа опор с заземлителями</p>	<p>Проверку следует производить в населенной местности, на участках с наиболее агрессивными, выдуваемыми и плохо проводящими грунтами</p>
4	<p>Измерение сопротивлений заземляющих устройств:</p> <p>1) опор ВЛЭП;</p> <p>2) электроустановок, кроме ВЛЭП</p>	К, Т, М	<p>Значения сопротивлений заземлителей опор приведены в табл. 1 прил. П10</p> <p>Значения сопротивлений заземляющих устройств электроустановок приведены в табл. 2 прил. П10</p>	<p>Производятся ежегодно на опорах с разъединителями, защитными промежутками, разрядниками, повторным заземлением нулевого провода и другим электрооборудованием и выборочно у 2 % металлических и железобетонных опор на участках в населенной местности. Измерения производятся, кроме того, после реконструкции и ремонта заземляющих устройств, а также при обнаружении разрушения или следов перекрытия изоляторов электрической дугой</p>

№ п/п	Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
5	Измерение напряжений прикосновения и шага	К	В системе с заземленной нейтралью при однофазном коротком замыкании напряжение прикосновения и шага не должно превышать 50 В, если для конкретных помещений не установлены другие значения	Измерение производится в животноводческих комплексах, банях с электронагревателями и на других объектах, где в целях предотвращения электротравматизма выполнено уравнивание и выравнивание потенциалов
6	Проверка наличия цепи между заземленными ЭУ и элементами заземленной ЭУ	К, Т, М	Не должно быть обрывов и неудовлетворительных контактов. Переходное сопротивление контактов должно быть 0,1 Ом	Производится на установках, на которых проверено срабатывание защиты
7	Проверка состояния пробивных предохранителей в установках напряжением до 1000 В	К, Т	Предохранители должны быть исправными и соответствовать номинальному напряжению сети	Производится не реже одного раза в 6 лет, а также при предположении о срабатывании
8	Проверка главной заземляющей шины	К, Т	Проверка затяжки болтовых и целостности сварных контактных соединений	Производится в соответствии с указаниями п. 1

**Примечания:**

1. Конкретные сроки испытаний и измерений параметров электрооборудования электроустановок при капитальном ремонте (К), при текущем ремонте (Т) и при межремонтных испытаниях и измерениях, т. е. при профилактических испытаниях, выполняемых для оценки состояния электрооборудования и не связанных с выводом электрооборудования в ремонт (М), определяет технический руководитель Потребителя на основе приложения 3 ПТЭЭП с учетом рекомендаций заводских инструкций, состояния электроустановок и местных условий.

2. Нормы испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок Потребителей, приведенные в приложении 3 ПТЭЭП, являются обязательными для Потребителей, эксплуатирующих электроустановки напряжением до 220 кВ. При испытаниях и измерениях параметров электрооборудования электроустановок напряжением выше 220 кВ, а также генераторов и синхронных компенсаторов следует руководствоваться соответствующими требованиями.

3. Результаты испытаний, измерений и опробований должны быть оформлены в виде протоколов или актов, которые хранятся вместе с паспортами на ЭО.



### **Визуальная проверка заземляющего устройства**

Визуальная проверка проводится с целью оценивания качества монтажа и соответствия сечения заземляющих проводников требованиям проекта и ПУЭ.

Измерение сечения проводников производится штангенциркулем. Измеренное сечение сравнивается с расчетным. Сечение заземляющих проводников  $S_{зп}$  должно быть не менее сечения, вычисленного по формуле

$$S_{зп} \geq \frac{I\sqrt{\tau + 0,1}}{60},$$

где  $I$  — ток замыкания на землю, А;

$\tau$  — время отключения замыкания на землю (время действия основной защиты и время работы выключателя), с.

Уменьшение сечения из-за коррозии происходит в первую очередь непосредственно под поверхностью грунта. Поэтому при контроле заземляющего устройства в процессе эксплуатации обязательна выборочная проверка заземлителя со вскрытием грунта на глубину примерно 20 см. Коррозионные повреждения проводников на большей глубине, а также в сварных соединениях выявляются при измерениях напряжений прикосновения и проверке металlosвязей.

При визуальном контроле ЗУ производится также проверка болтовых соединений, которые должны быть надежно затянуты, снабжены контргайкой и пружинной шайбой.

### **Проверка контактных соединений и металlosвязей оборудования с заземляющим устройством**

Контактные соединения необходимо проверять:

— в цепи заземления нейтралей трансформаторов и короткозамыкателей;

— в местах соединения грозозащитных тросов с опорами и конструкциями ОРУ и заземляемого оборудования с заземляющим устройством.

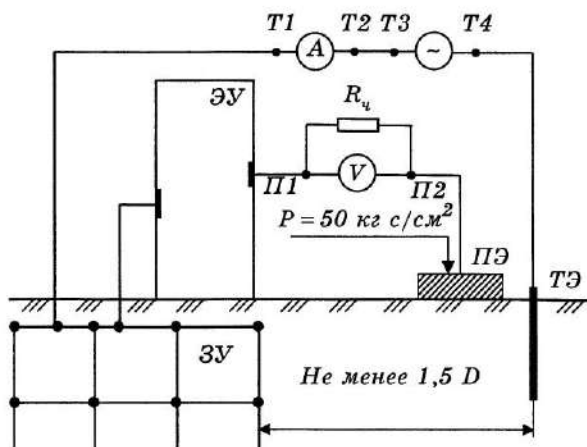


Рис. 6.1. Принципиальная схема измерения напряжения прикосновения методом «амперметра-вольтметра» на рабочем месте

Контактные соединения проверяются осмотром, простукиванием, а также измерением переходных сопротивлений мостами, микроомметрами и по методу «амперметра-вольтметра».

При массовых измерениях удобно пользоваться измерителями МС-07 и МС-08, а также приборами ЭКО-200 или ЭКЗ-01.

Значение сопротивления контактов не нормируется, но практикой установлено, что качественное присоединение к заземлителю обеспечивается при переходном сопротивлении не более 0,05 Ом.

Проверка металlosвязей оборудования с ЗУ как на рабочих, так и на нерабочих местах производится по схеме, представленной на рис. 6.1. Если заземляющий проводник не подсоединен к ЗУ, измеренное значение напряжения во много раз отличается от значений, измеренных на соседних корпусах оборудования.

На подстанциях напряжением 220 кВ и выше рекомендуется проверять сопротивление металlosвязи между заземлителем ОРУ и местом заземления нейтрали трансформатора. Это измерение в случае применения измерителя напряжения прикосновения производится по схеме, при которой выводы Т2, П2 прибора соединяются с точкой заземления нейтрали трансформатора, а выводы Т1, П1 соединяются с заземлителем ОРУ. Связь считается удовлетворительной, если сопротивление не превышает значения 0,2 Ом.

## Оценивание коррозионного состояния

Локальные коррозионные повреждения заземляющих проводников выявляются при осмотрах (в основном со вскрытием грунта), а также при измерениях напряжения прикосновения и проверке металlosвязи.

Для сплошной поверхностной коррозии характерно равномерное, по всей поверхности проводника, проникновение вглубь металла с соответствующим уменьшением размеров поперечного сечения элемента. После механического удаления продуктов коррозии поверхность металла оказывается шероховатой, но без очевидных язв, точек коррозии или трещин.

Местная коррозия характеризуется появлением на поверхности проводника отдельных, иногда множественных повреждений в форме язв или кратеров, глубина и поперечные размеры которых соизмеримы и колеблются в пределах от долей миллиметра до нескольких миллиметров.

Количественная оценка степени коррозионного износа производится выборочно по участкам контролируемого элемента заземляющего устройства путем измерения характерных размеров, зависящих от вида коррозии. Эти размеры определяются после удаления с поверхности элемента продуктов коррозии.

При сплошной поверхностной коррозии характерными размерами являются линейные размеры поперечного сечения проводника (диаметр, толщина, ширина), которые измеряются штангенциркулем.

При местной язвенной коррозии измеряется глубина отдельных язв, например, с помощью штангенциркуля, а также площадь язв на контролируемом участке.

Если разрушено более 50 % сечения элемента заземляющего устройства, он должен быть заменен.

### Проверка состояния пробивных предохранителей

Проверка состояния пробивных предохранителей заключается в проверке целостности фарфора, резьбовых соединений и крепления, качества заземления. Разрядные поверхности электродов должны быть чистыми и гладкими, без заусенцев и нагаров. Слюдяная пластинка должна быть целой и иметь толщину в пределах  $0,08 \pm 0,02$  мм при исполнении на 220–380 В и  $0,21 \pm 0,03$  мм — при исполнении на 500–660 В.

У собранного предохранителя измеряется сопротивление изоляции мегаомметром до 250 В, которое должно быть больше или равно 5–10 МОм.

Перед установкой предохранителя измеряется его пробивное напряжение. При исполнении на 220–380 В  $U_{\text{проб}} = 351 \div 500$  В; при исполнении на 500–660 В  $U_{\text{проб}} = 701 \div 1000$  В. Для ограничения после пробоя сопровождающего тока в цепь предохранителя включается токоограничивающее сопротивление 5–10 кОм.

Если пробивное напряжение соответствует норме, тогда подаваемое напряжение снижается и снова повышается до  $0,75 U_{\text{проб}}$ . Если при этом не наступает пробой, то испытательная установка отключается и повторно измеряется сопротивление изоляции. При существенном снижении сопротивления изоляции (более 30 %) необходимо разобрать предохранитель, зачистить подгоревшие разрядные поверхности и повторить испытания, увеличив балластное сопротивление.

---

### 6.3. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ

---

При измерениях в процессе приемо-сдаточных испытаний и при периодических испытаниях в эксплуатации рекомендуется применять метод «амперметра-вольтметра».

Метод «амперметра-вольтметра» при повторно-кратковременном приложении напряжения до 500 В промышленной частоты (длительность импульсов 0,05–0,1 с, длительность пауз 5–10 с) позволяет получить большое значение измерительного тока при обеспечении электробезопасности производства измерений без специально принимаемых мер. Сущность метода «амперметра-вольтметра» заключается в одновременном измерении тока (измерительного), стекающего с заземлителя, и напряжения прикосновения, обусловленного этим током (см. рис. 6.1).

Измерительная цепь состоит из источников питания (ЭДС или тока), испытуемого заземлителя ЗУ, токового электрода ТЭ, потенциального электрода ПЭ, проводов и измерительных приборов.

Напряжение прикосновения измеряется как разность потенциалов между доступными прикосновению заземленными

ми металлическими частями оборудования или конструкции и потенциальным электродом, имитирующим подошвы человека, стоящего в контрольной точке на земле (на полу). Сопротивление тела человека имитируется эквивалентным сопротивлением параллельно включенным вольтметру  $V$  и резистору  $R$ .

При использовании метода «амперметра-вольтметра» в качестве источника ЭДС могут применяться трансформатор собственных нужд, разделительный трансформатор с вторичным напряжением до 500 В и мощностью до 100 кВА. Питание разделительного трансформатора может осуществляться от трансформатора собственных нужд ЭУ или от автономного генератора.

Для осуществления повторно-кратковременного режима приложения напряжения рекомендуется применять бесконтактный тиристорный короткозамыкатель с регулируемой длительностью импульсов и пауз.

При использовании трансформатора собственных нужд схема токовой цепи собирается в соответствии с рис. 6.2, *а*. Нейтраль вторичной обмотки трансформатора при этом заземляется. Если имеется возможность изменять место заземления нейтрали, ее заземление следует выполнять в точке *А* в соответствии с указаниями для заземления вторичной обмотки разделительного трансформатора. При использовании электронного (тиристорного) короткозамыкателя, питающегося от трансформатора собственных нужд, он включается последовательно в токовую цепь трансформатора. При использовании разделительного трансформатора токовая цепь выполняется в соответствии с рис. 6.2, *б*.

Точка ввода тока в заземляющее устройство (точка *А*) располагается:

а) при измерениях на рабочих местах — непосредственно у места измерений;

б) при измерениях на остальной территории — по одному из двух вариантов: 1) при заземленных нейтральных силовых трансформаторов — у места заземления нейтрали одного из трансформаторов (предпочтительно с наибольшей мощностью); 2) при разземленной нейтрали силового трансформатора и наличии короткозамыкателя — в месте заземления короткозамыкателя.

Проводники токовой и потенциальной цепей должны подключаться к заземленному оборудованию отдельными струбцинами. При этом проводник токовой цепи может быть подсоединен к заземляющему проводнику, к которому присоединен

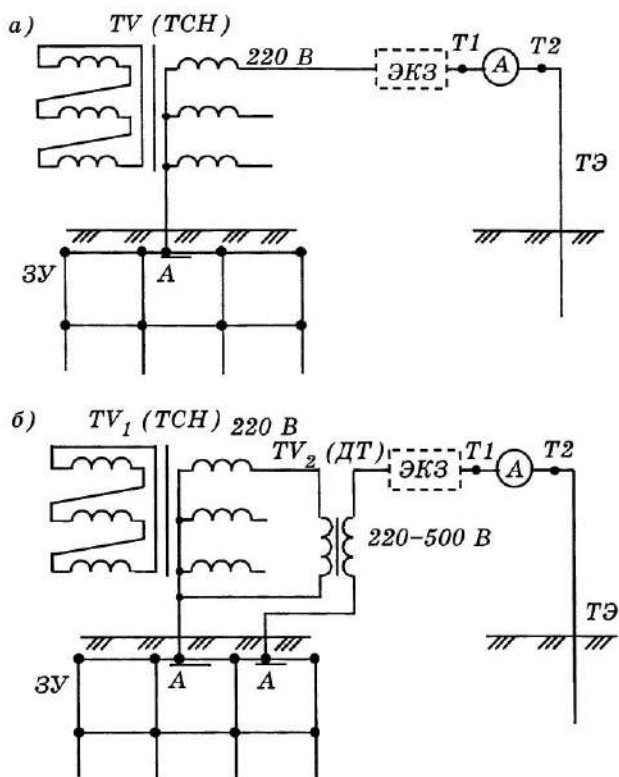


Рис. 6.2. Принципиальные схемы токовых цепей при измерениях напряжений прикосновения методом «амперметра-вольтметра»: а — при питании от фазы трансформатора собственных нужд  $TV_1 (TCH)$ ; б — при питании от дополнительного трансформатора  $TV_2 (ДТ)$

и потенциальный, или к любой точке металлоконструкции в месте измерения.

При измерении на нерабочем месте (рис. 6.3) вывод прибора Т1 присоединяется к заземляющей шинке корпуса ближайшей ЭУ, по которому может протекать ток короткого замыкания.

Потенциальная цепь от вывода П2 вольтметра подсоединяется к пластине размером  $25 \times 25 \text{ см}^2$  (рис. 6.4), имитирующей стопы ног человека, которая располагается примерно в одном метре от оборудования. Основание под пластиной должно быть выровнено и увлажнено 250 мл воды. Пластина должна быть выполнена таким образом, чтобы при измерениях на ней мог располагаться человек, создающий необхо-

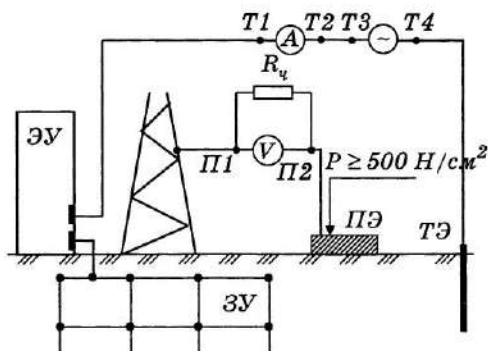


Рис. 6.3. Принципиальная схема измерения напряжения прикосновения методом «амперметра-вольтметра» на нерабочем месте

реключений могут возникнуть дуговые КЗ между ТВЧ конструкций, доступных для прикосновения производящему переключения персоналу).

Измерительный ток и точность измерения напряжений прикосновения зависят от сопротивления и расположения токового электрода.

Сопротивление токового электрода, как правило, не должно превышать сопротивление заземлителя, на котором проводятся измерения, более чем в 20 раз.

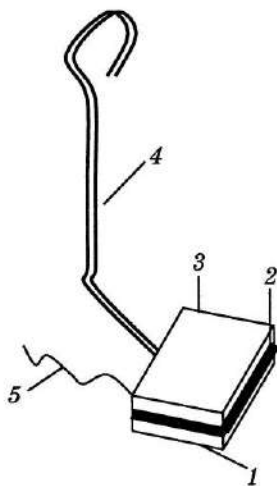
Расстояние между ближайшей частью испытываемого заземлителя и токовым электродом должно быть не менее  $1,5 D$  ( $D$  — большой линейный размер ЗУ в плане, но не

димое давление, которое должно быть не менее  $500 \text{ Н/см}^2$  ( $50 \text{ кг} \cdot \text{с/см}^2$ ).

Напряжение прикосновения необходимо измерять в контрольных точках, в которых эти значения определены расчетом при проектировании. Рекомендуется также производить измерения и на всех рабочих и нерабочих местах (к рабочим относятся места, где при выполнении оперативных пере-

Рис. 6.4. Потенциальный электрод, имитирующий две ступни человека:

1 — влажная суконная прокладка; 2 — медная пластина; 3 — пластина из изоляционного материала; 4 — рукоятка переноса электрода; 5 — проводник для подключения потенциального электрода к вольтметру



менее 20 м. Если ЗУ имеет внешний замкнутый контур, то  $D$  — большая его диагональ).

Токовый электрод не должен располагаться вблизи подземных металлических коммуникаций (трубопроводы, кабели с металлической оболочкой и броней) или железобетонных оснований и фундаментов, имеющих металлическую связь с испытываемым заземлителем или проходящих вблизи него.

В случае отсутствия заземлителей, которые могут быть использованы в качестве токового электрода, его рекомендуется выполнять в виде нескольких соединенных проводниками вертикальных стержневых заземлителей диаметром 10–12 мм и длиной 1,5–2,5 м, погружаемых в землю на глубине 1,2–2,2 м и на расстоянии 3,5 м один от другого. При удельном сопротивлении земли до 100 Ом·м в качестве токового электрода обычно достаточно использовать два или три вертикальных стержневых заземлителя, при большом удельном сопротивлении земли — четыре и более вертикальных заземлителей.

При измерении методом «амперметра-вольтметра» токовую цепь следует выполнять изолированным проводом, сечение которого выбирается исходя из ожидаемого значения измерительного тока, но не менее 2,5 мм<sup>2</sup>. Падение напряжения в токовом проводе, как правило, не должно превышать 10 % номинального напряжения источника питания. Потенциальная цепь должна выполняться изолированным проводом с сечением, выбранным по механической прочности.

Эквивалентные сопротивления включенных параллельно вольтметра и резистора не должны выходить за пределы  $1 \pm 0,05$  кОм (если входное сопротивление вольтметра  $R_v = 20$  кОм, то следует использовать резистор с сопротивлением 1 кОм).

Амперметр, трансформатор тока и вольтметр должны иметь класс точности не менее 2,5. Рекомендуется применять многопредельные вольтметры с пределами измерений от долей вольта до нескольких сотен вольт. Можно использовать находящиеся в эксплуатации многопредельные вольтметры, например Ц-430, Ц-433, Ц-434 и др.

При применении метода «амперметра-вольтметра» с повторно-кратковременным приложением напряжения к испытываемому заземлителю измерения действующих значений напряжения прикосновения и измерительного тока должны выполняться с помощью импульсных измерительных приборов (вольтметра и амперметра). Пределы измерений прибо-



ров рекомендуется выбирать так, чтобы при измерениях стрелка прибора отклонялась не менее чем на  $\frac{2}{3}$  шкалы.

На точность измерений могут оказывать значительное влияние посторонние токи в земле (блуждающие токи, а также обусловленные рабочим режимом ЭУ токи, стекающие с заземлителя в землю). Поэтому перед измерениями необходимо выяснить наличие посторонних токов, принять по возможности меры к их уменьшению или обеспечить условия, при которых напряжение на заземлителе от измерительного тока было бы, по крайней мере, в 10 раз больше, чем значение напряжения, обусловленное посторонними токами.

Напряжения помех следует определять по показанию вольтметра при отключенном источнике питания измерительной цепи.

Для сопоставления измеренных и расчетных значений напряжений прикосновения необходимо пересчитать измеренные значения на расчетный ток короткого замыкания с учетом сезонных изменений удельных сопротивлений грунта.

Программа измерений при КЗ должна включать схему первичных соединений, выделяемых для КЗ, схему измерений, порядок подготовки схем, перечень выделяемого оборудования, порядок измерений, перечень мер, обеспечивающих безопасность, перечень ответственных лиц.

Измеренные значения напряжений прикосновения должны быть приведены к расчетному току замыкания на землю и к сезонным условиям, при которых напряжения прикосновения имеют наибольшее значение, по формуле

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{изм}} \frac{I_{\text{к.расч}}}{I_{\text{изм}}} \frac{1000 + R_{\text{ст.изм.ср}}}{1000 + R_{\text{ст.min}}},$$

где  $U_{\text{изм}}$  — измеренное значение напряжения прикосновения при токе в измерительной цепи;

$I_{\text{к.расч}}$  — расчетный для заземляющего устройства ток короткого замыкания;

$R_{\text{ст.изм.ср}}$  — среднее значение сопротивлений потенциального электрода, измеренных по схеме рис. 6.4 в момент измерения напряжений прикосновения;

$R_{\text{ст.min}}$  — минимальное значение сопротивления потенциального электрода.

Сопротивление потенциального электрода  $R_{\text{ст.изм}}$  измеряется с помощью мегаомметра со шкалой от 100 Ом в четырех—шести точках, в которых измеряется напряжение прикосновения при существующей влажности грунта (при сухом

Значения удельного сопротивления земли  $\rho_z$  при невозможности увлажнения грунта

Грунт в месте измерения	Удельное сопротивление, Ом
Бетон, травяной покров на глинистом грунте, сушь без травы	250
Песок, песчано-гравийная смесь, очень мелкий загрязненный почвой щебень, травяной покров на песке	1200
Щебень, загрязненный почвой, метлахская плитка	10 000

грунте во время измерения  $U_{пр}$  производится увлажнение грунта под потенциальным электродом на глубину 2–3 см). Для пересчета используется среднее из измеренных значений  $R_{ст.изм}$ .

Минимальное значение сопротивления потенциального электрода  $R_{ст\ min}$  измеряется в одной из точек после измерения  $U_{пр}$  и  $R_{ст.изм}$  при искусственно увлажненном на глубину 20–30 см грунте.

При отсутствии возможности увлажнения грунта на глубину 20–30 см  $\rho_z$  принимается по значениям, представленным в табл. 6.2.

Если при измерениях  $R_{ст.изм}$  получилось меньше указанных значений, то  $R_{ст\ min}$  принимается равным  $R_{ст.изм}$ .

Если во время измерения напряжений прикосновения грунт на площадке подстанции (РУ) увлажнен на глубину 30–40 см и более, то вместо поправочного коэффициента

$$\frac{1000 + R_{ст.изм}}{1000 + R_{ст\ min}}$$

применяется коэффициент, равный 1,5.

Полученные при измерении данные вносятся в протокол (прил. П.2).

---

#### 6.4. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ РАСТЕКАНИЮ ТОКА С ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ЦЕПИ ФАЗА—НУЛЕВОЙ ЗАЩИТНЫЙ ПРОВОДНИК

---

Основными параметрами, характеризующими состояние ЗУ, являются: сопротивление растеканию (для ЭУ подстанций, электростанций и опор ВЛ), соответствие их конструктивного выполнения требованиям ПУЭ, напряжение на ЗУ

при стекании с него тока замыкания на землю и напряжени-е прикосновения (для электроустановок выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью, кроме опор ВЛ).

Дополнительными характеристиками заземляющих устройств, с помощью которых производится оценка их состояния в процессе эксплуатации, являются качество и надежность соединений элементов заземляющих устройств, соответствие сечения и проводимости элементов требованиям ПУЭ и проектным данным, интенсивность коррозионного разрушения.

В соответствии с требованиями ПТЭЭП при контроле состояния ЗУ в установках до 1000 В с изолированной нейтралью необходимо производить проверку пробивных предохранителей, а в установках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью — измерение сопротивления петли фаза—нулевой защитный проводник.

Для измерения сопротивления заземляющих устройств и определения напряжения прикосновения существует ряд приборов, различающихся областью применения, диапазонами измеряемых значений, схемами, помехоустойчивостью, частотой измерительного тока и т. д.

Области применения различных приборов приведены в табл. 6.3.

Т а б л и ц а 6.3

Приборы для измерения электрических параметров заземляющих устройств

Характеристика объекта	Измеряемый параметр			
	Сопротивление заземлителя $R_3$	Напряжение прикосновения $U_{пр}$		
		на территории электроустановки	вне территории электроустановки	проверка наличия метал-лосвязи
Подстанция 6–10/0,4 кВ, расположенная в городе или на территории промышленного предприятия	МС-08 М-416 Ф-4103 ЭКЗ-01	ПИНП ЭКЗ-01 АНЧ-3	ЭКЗ-01 АНЧ-3	ПИНП ЭКО-200 ЭКЗ-01 АНЧ-3
Подстанция 6–10/0,4 кВ, отдельно стоящая, питающаяся от ВЛ 6–10 кВ	МС-08 М-416 Ф-4103 ЭКЗ-01	Ф-4103 ПИНП ЭКЗ-01 АНЧ-3	ЭКЗ-01 АНЧ-3	ПИНП ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3
Подстанция 35/6–10 кВ глубокого ввода в кабельной сети	МС-08 М-416 Ф-4103 ЭКЗ-01	ПИНП ЭКЗ-01 ЭКО.200 АНЧ-3	ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3	ПИНП АНЧ-3

Характеристика объекта	Измеряемый параметр			
	Сопротивление заземлителя $R_z$	Напряжение прикосновения $U_{пр}$		
		на территории электроустановки	вне территории электроустановки	проверка наличия метал-лосвязи
Подстанция 35/6–10 кВ, отдельно стоящая, питающаяся от ВЛ 35 кВ	МС-08 М-416 Ф-4103 ЭКЗ-01	ПИНП АНЧ-3	ЭКЗ-01 АНЧ-3	ПИНП ЭКО-200 ЭКЗ-01 АНЧ-3
Подстанция 110–220 кВ глубокого ввода, расположенная на застроенной территории	МС-08 Ф-4103 ПИНП АНЧ-3	ПИНП ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3	ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3	ПИНП ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3
Подстанция 110 кВ с незаземленной нейтралью и 110–1150 кВ с током в нейтрали (в рабочем режиме) до 1 А	МС-08 Ф-4103 ПИНП ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3	ПИНП ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3	ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3	ПИНП ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3
Подстанция 110–1150 кВ с током в нейтрали (в рабочем режиме) от 1 до 10 А	Ф-4103 ПИНП АНЧ-3	ПИНП АНЧ-3	АНЧ-3	ПИНП ЭКЗ-01 ЭКО-200 АНЧ-3
Опоры ВЛ 6–1150 кВ при отсутствии грозозащитного троса или его изолированной подвески	Ф-4103 МС-08 М-416 АНЧ-3	—	—	—

Измерение сопротивления заземлителей подстанций, расположенных в городах, на застроенных территориях, на территории промышленных предприятий, следует выполнять до присоединения естественных заземлителей.

Вызвано это тем, что при подключенной кабельной сети, прокладке по территории подстанции подземных коммуникаций, различных трубопроводов и т. п. к заземлителю подстанции оказывается подключенной обширная сеть различных протяженных естественных заземлителей. При этом ни сопротивление испытуемого заземлителя, ни сопротивление всей заземляющей сети в силу ее обширных размеров достаточно точно измерить уже не представляется возможным. Сопротивление заземлителей таких подстанций можно измерить (с известными оговорками) после монтажа, капитального ремонта или переустройства заземляющих устройств до присоединения естественных заземлителей.

По измеренному значению сопротивления заземляющего устройства рассчитывается напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него тока замыкания на землю.

Расчет ведется по выражению

$$U_3 = K_c R_3 I_3,$$

где  $K_c$  — сезонный коэффициент сопротивления, рекомендации по выбору  $K_c$  представлены ниже;

$R_3$  — измеренное значение сопротивления заземляющего устройства;

$I_3$  — ток, стекающий с заземлителя в землю при однофазном замыкании на землю.

Прочие (неэлектрические) характеристики заземляющих устройств, а именно качество неразъемных соединений, целостность элементов, находящихся в земле, проверяются путем визуального осмотра (со вскрытием грунта в случае необходимости) и простукиванием молотком. Количественная оценка степени коррозионного износа производится выборочно по участкам контролируемого элемента заземлителя путем измерения характерных его размеров. Измерения производятся штангенциркулем, глубиномером после удаления с поверхности элемента продуктов коррозии.

### **Выбор сезонного коэффициента сопротивления растеканию тока с заземляющего устройства**

При определении сопротивления растеканию тока с ЗУ, расчете напряжения на заземляющем устройстве используется сезонный коэффициент сопротивления заземлителя, который обычно указывается в проекте подстанции. При наличии проектных данных значение сезонного коэффициента  $K_c$  принимается таким, каким он указан в проекте.

При отсутствии проектных данных сезонный коэффициент ориентировочно выбирается по табл. 6.4.

Сезонный коэффициент сопротивления зависит от следующих факторов:

- размеров заземляющего устройства, определяемых его площадью и длиной вертикальных электродов;
- электрического строения грунта;
- сезонного коэффициента удельного сопротивления грунта  $K_\rho$ ;
- географического расположения подстанции.

Сезонные коэффициенты сопротивления заземлителей

Значение $\sqrt{S}$ , м	Электрическое строение грунта	$K_p$ по табл. 6.5	Сезонные коэффициенты в географических районах								
			Европейская часть южнее 48-й параллели			Европейская часть и Западная Сибирь между 48 и 57-й параллелями, Ленинградская, Новгородская, Сахалинская обл., Приморский край			Остальная территория России		
			При длине вертикальных электродов, м								
			0	30	50	0	30	50	0	30	50
10	Грунтовые воды	3	1,4	1,3	1,0	1,5	1,5	1,1	1,1	1,9	1,2
		20	1,9	1,5	1,1	2,8	2,1	1,1	5,4	4,8	1,4
		50	2,0	1,6	1,1	4,0	2,2	1,1	10	8,5	1,4
	Однородный	3	1,1	1,1	1,0	1,4	1,1	1,0	2,0	1,4	1,0
		20	1,4	1,1	1,0	4,4	1,2	1,0	9,2	5,9	1,0
		50	1,8	1,1	1,0	9,5	1,3	1,0	22	14	1,0
	Подстилающие породы, скальные	3	1,2	1,0	1,0	2,3	1,0	1,0	2,7	2,6	2,0
		20	2,9	1,1	1,0	13	1,1	1,0	17	16	1,0
		50	5,7	1,1	1,0	32	1,1	1,0	43	40	1,0

Значения сезонных коэффициентов сопротивления, отсутствующие в табл. 6.4, определяются путем интерполяции.

Измерение сопротивления растеканию тока с заземлителей может быть проведено различными способами. Наиболее распространен метод «амперметра и вольтметра» (рис. 6.5, а).

Вспомогательный заземлитель  $R_B$  и зонд устанавливаются на таком расстоянии друг от друга и от испытуемого заземлителя  $R_X$ , чтобы поля растекания не накладывались.

Падение напряжения на этом заземлении измеряется вольтметром  $V$ , включенным между заземлителем  $R_X$  и зондом, а стекающий в землю ток — амперметром  $A$ . Таким образом, сопротивление растеканию испытуемого заземлителя  $R_X = U_3 / I_3$ .

Таблица 6.5

Сезонные коэффициенты удельного сопротивления грунта  $K_p$ 

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

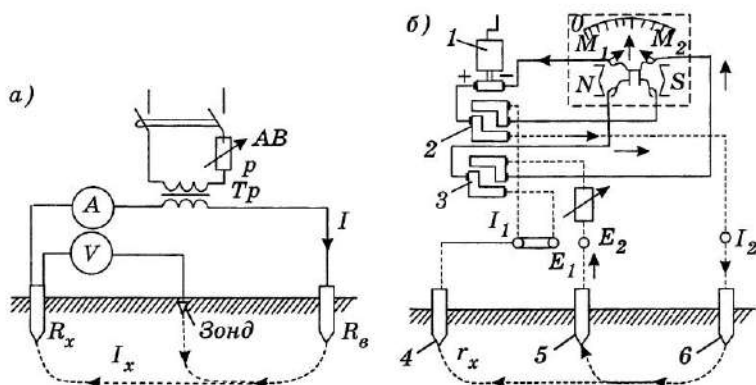


Рис. 6.5. Измерение сопротивления заземляющего устройства: а — измерение сопротивления заземления методом «амперметра и вольтметра»; б — упрощенная схема измерителя МС-08

Если сопротивление вольтметра окажется соизмеримым с сопротивлением растеканию тока с зонда, то это внесет погрешность. Поэтому для измерений следует применять вольтметр с большим внутренним сопротивлением, предпочтительно электростатический или электронный. Для измерения сопротивления заземления применяется измеритель заземления МС-08 (рис. 6.5, б).

В этом приборе амперметр и вольтметр заменены потенциальной и токовой рамками логометра. Постоянный ток генератора 1 прерывателями 2 и 3 преобразуется в переменный. Переменный ток через заземлители 6 и 4 возвращается в прерыватель, выпрямляется и через токовую рамку логометра проходит на «минус» генератора. При повороте вала генератора на  $180^\circ$  ток на участке заземлителей изменяет направление, а в рамке логометра проходит в прежнем направлении.

Напряжение испытуемого ЗУ относительно земли снимается зондом 5, выпрямляется и подается на потенциальную рамку логометра. Таким образом, через заземлители проходит переменный ток, через логометр — постоянный. Измерение производится при переменном токе, так как измерение постоянным током дает неверный результат вследствие поляризации влаги у заземлителей.

Измерение сопротивления заземляющих проводников можно производить любым прибором для измерения малых сопротивлений. Обычно это делается измерителями заземлений, так как они наиболее пригодны для этой цели.

Специально для измерения сопротивления заземляющих проводников выпускается омметр М-372.

Измеритель заземления М-416 имеет пределы измерений от 0,1 до 1000 Ом. Принцип действия прибора основан на компенсационном методе с применением вспомогательного заземлителя и зонда. Упрощенная схема прибора и его присоединение при измерении показаны на рис. 6.6.

При измерении выход преобразователя присоединяется к вспомогательному заземлителю  $R_B$  и измеряемому сопротивлению  $R_x$  через первичную обмотку трансформатора  $Tr_3$ . Во вторичную обмотку трансформатора  $Tr_3$  включен специальный калибровочный резистор  $R_K$ . При такой схеме включения помимо основной цепи тока через землю создается цепь тока через реохорд резистора  $R_5$ .

Схема обеспечивает равенство этих токов, что позволяет путем изменения значения сопротивления калибровочного резистора  $R_K$  изменять напряжение на резисторе  $R_5$ , включенном между движком резистора и зажимом потенциального электрода (зонда).

Разность напряжения резистора подается через усилитель на детектор и индикатор (миллиамперметр  $mA$ ).

Компенсация напряжений наступает при таком положении реохорда, при котором падение напряжения на корпусе прибора до подвижного контакта равно падению напряжения на измеряемом сопротивлении, при этом ток в цепи индикатора равен нулю.

Реохорд имеет шкалу, и это позволяет определять непосредственно измеряемое сопротивление.

Методы измерения электрических характеристик для ЗУ должны обеспечивать следующие основные требования:

- ошибки при измерениях не должны превышать 10 %;
- малая трудоемкость измерений;
- ЭБ персонала, выполняющего измерения, а также лиц, случайно прикасающихся во время измерений к заземленным частям ЗУ.

Экспериментальное определение сопротивления ЗУ сводится к одновременному измерению напряжения на нем и стекающего в землю тока. Для этого используют так называемую схему «амперметра-вольтметра».

Экспериментальное определение сопротивления ЗУ сводится к одновременному измерению напряжения на нем и стекающего в землю тока. Для этого используют так называемую схему «амперметра-вольтметра».

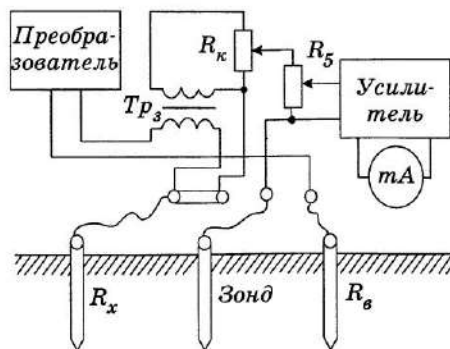


Рис. 6.6. Упрощенная схема прибора М-416



Схемы измерений сопротивления растекания одиночных заземлителей и ЗУ

№ п/п	Вид ЗУ	Схема измерения	Приборы-измерители	Расстояние между электродами
1	Одиночные вертикальные заземлители	<p>Трехпроводная схема</p>	М-416, МС-09, МС-07, Ф-4103, ЭКЗ-01, Т-4V, MPV-100	При $l \leq 6$ м $r_{3т} = 40$ м; $r_{3п} = 25$ м; при $l > 6$ м $r_{3т} > 6 l$ ; $r_{3п} = 0,5 r_{3т}$
2	Одиночные горизонтальные заземлители (полосы)	<p>Трехпроводная схема</p>	М-416, МС-09, МС-07, Ф-4103, ЭКЗ-01, Т-4V, MPV-100	При $l > 40$ м $r_{3т} = 24$ м; $r_{3п} = 4$ м; при $0 \leq l \leq 40$ м $r_{3т} \geq 80$ м; $r_{3п} = 0,5 r_{3т}$ ; при $l < 10$ м $r_{3т} = 40$ м; $r_{3п} = 20$ м
3	Одиночные вертикальные заземлители	<p>Четырехпроводная схема</p>	М-416, МС-09, МС-07, Ф-4103, ЭКЗ-01, Т-4V, MPV-100	При $l \leq 6$ м $r_{3т} = 40$ м; $r_{3п} = 25$ м; при $l > 6$ м $r_{3т} > 6 l$ ; $r_{3п} = 0,5 r_{3т}$
4	Сложный групповой заземлитель	<p>а)</p> <p>Трехпроводная схема</p> <p>б)</p> <p>Четырехпроводная схема</p>	М-416, МС-09, МС-07, Ф-4103, ЭКЗ-01, Т-4V, MPV-100	$r_{3п} = 5 a + 20$ м; $r_{нт} \geq 20$ м

Измерения сопротивления растеканию с одиночных заземлителей производят по схемам, указанным в табл. 6.6, № 1 и 2.

Для грубых измерений и измерений больших сопротивлений контакты 1 и 2 соединяют перемычкой, и прибор подсоединяют по трехпроводной схеме (см. табл. 6.6, № 1 и 2, 4 а).

Для точного измерения сопротивления снимают перемычку с контактов 1 и 2 и подключают прибор по четырехпроводной схеме (см. табл. 6.6, № 3, 4 б); расстояния между электродами остаются теми же. Такое соединение позволяет исключить погрешность, вносимую сопротивлением соединительных проводов и контактов.

Для измерения сопротивления ЗУ забивают в грунт электроды: потенциальный (ПЭ) и токовый (ТЭ) на расстояниях, указанных в табл. 6.6, в зависимости от выбранной схемы измерений. Глубина погружения в грунт заземлителей должна быть не менее 500 мм.

Во избежание увеличения переходного сопротивления электродов их забивают, не раскачивая, резкими ударами.

Измерения проводят по одной из схем, представленных в табл. 6.6, в зависимости от значений измеряемых сопротивлений и требуемой точности измерений.

При измерениях по трехпроводным схемам в результаты измерений входит сопротивление провода, соединяющего контакт 1 с заземлителем, поэтому такое включение допустимо при измерениях сопротивления более 5 Ом.

Для меньших значений измеряемого сопротивления прибор включают по четырехпроводным схемам.

При измерениях сопротивлений сложных заземлителей, выполненных в виде контура с протяженным периметром или электрически соединенной системы таких контуров, расстояние между вспомогательным заземлителем и ближайшим к нему заземлителем контура ЗУ (системы контуров), и расстояние между двумя наиболее удаленными заземлителями контура (системы контуров) должно быть не менее пятикратного плюс 20 м.

### **Измерение сопротивления цепи фаза—нулевой защитный проводник**

Зануление ОПЧ электроустановки проверяется при вводе электроустановки в эксплуатацию и периодически в процессе эксплуатации: один раз в 5 лет для наиболее удаленных и наиболее мощных электроприемников; но не более 10 % от их общего числа, и после ремонта.

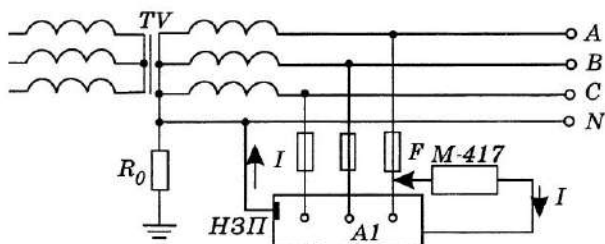


Рис. 6.7. Схема измерения полного сопротивления петли «фаза—нуль» с использованием прибора М-417

Проверку можно производить расчетом по формуле

$$Z_{\text{пет}} = Z_{\text{п}} + Z_{\text{т}} / 3,$$

где  $Z_{\text{пет}}$  — полное сопротивление петли «фаза—нуль»;

$Z_{\text{п}}$  — полное сопротивление проводов петли «фаза—нуль»;

$Z_{\text{т}}$  — полное сопротивление питающего трансформатора.

Для алюминиевых и медных проводов  $Z_{\text{п}} = 0,6 \text{ Ом/км}$ .

По  $Z_{\text{пет}}$  определяется ток однофазного КЗ на землю:

$$I_{\text{к}} = U_{\text{ф}} / Z_{\text{пет}}.$$

Если расчет показывает, что кратность тока однофазного замыкания на землю на 30 % превышает допустимые кратности срабатывания защитных аппаратов, указанные в ПУЭ, то можно ограничиться расчетом. В противном случае следует провести прямые измерения тока КЗ специальными приборами, например, типов ЭКО-200, ЭКЗ-01 или по методу «амперметра-вольтметра» на пониженном напряжении.

Чаще всего при эксплуатации зануления для измерения сопротивления петли «фаза—нуль» применяются следующие методы и приборы:

- метод «амперметра-вольтметра» с отключением и без отключения испытуемого оборудования;
- омметр М-372 и измеритель сопротивления М-417.

Сопротивления заземленной нейтрали и нулевого провода измеряются приборами МС-08, МС-07, М-416, схема подключения которых показана на рисунках в табл. 6.6.

Наибольшее распространение для измерения полного сопротивления петли «фаза—нуль» получил прибор М-417. Схема измерения полного сопротивления петли «фаза—нуль» с использованием прибора М-417 приведена на рис. 6.7.

Полученные показания прибора заносят в протокол, форма которого представлена в прил. 9.

## Измерение сопротивления заземляющего устройства трансформаторной подстанции

Измерение сопротивления ЗУ производится без отсоединения грозозащитных тросов, оболочек отходящих кабелей и других естественных заземлителей.

Принципиальная схема измерений приведена на рис. 6.8. Токовый и потенциальный электроды следует располагать на одной линии по территории, свободной от линий электропередачи и подземных коммуникаций. Расстояния от подстанции до токового и потенциального электродов выбираются в зависимости от размеров ЗУ и характерных особенностей территории вокруг подстанции.

Если заземлитель подстанции имеет небольшие размеры, а вокруг него имеется обширная площадь, свободная от линий электропередачи и подземных коммуникаций, то расстояния до электродов выбираются следующим образом:

$$r_{зт} \geq 5D;$$

$$r_{зп} \geq 0,5r_{зт},$$

где  $D$  — наибольший линейный размер ЗУ, характерный для данного типа ЗУ (для заземлителя в виде многоугольника — диагональ ЗУ, для глубинного ЗУ — длина глубинного электрода, для лучевого ЗУ — длина луча).

Если заземлитель имеет большие размеры и отсутствует возможность размещения электродов, как указано выше, токовый электрод следует разместить на расстоянии  $r_{зт} \geq D$ . Потенциальный электрод размещается последовательно на

расстоянии  $r_{зп} = 0,1 r_{зт}$ ,  $0,2 r_{зт}$ ,  $0,3 r_{зт}$ ,  $0,4 r_{зт}$ ,  $0,5 r_{зт}$ ,  $0,6 r_{зт}$ ,  $0,7 r_{зт}$ ,  $0,8 r_{зт}$ ,  $0,9 r_{зт}$  и производится измерение значений сопротивлений. Далее строится кривая зависимости значения сопротивления от расстояния  $r_{зп}$ . Если кривая монотонно возрастает и имеет в средней части горизонтальный участок (рис. 6.9), за истинное значение сопротивления принимается значение  $r_{зп} = 0,5 r_{зт}$ .

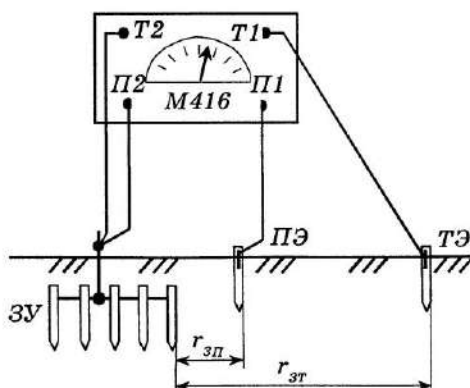


Рис. 6.8. Принципиальная схема измерения сопротивления растеканию тока с ЗУ трансформаторной подстанции

Если кривая немонотонная, что является следствием влияния различных коммуникаций (подземных и надземных), измерения повторяют при расположении электродов в другом направлении от ЗУ.

Если кривая сопротивления плавно возрастает, но не имеет горизонтального участка (разница сопротивлений, измеренных при  $r_{зп} = 0,4 r_{зт}$  и  $r_{зп} = 0,6 r_{зт}$ , превышает более чем на 10 % значение, измеренное при  $r_{зп} = 0,5 r_{зт}$ ) и отсутствует возможность перемещения токового электрода на большее расстояние, возможен следующий выход. Проводятся две серии измерений при  $r_{зт} = 2D$  и  $r_{зт} = 3D$ . Кривые наносятся на один график. Точка пересечения кривых принимается за истинное значение сопротивления заземлителя.

При использовании приборов М-416, ЭКЗ-01, ЭКО-200, АНЧ-3 кривые могут не пересечься. В этом случае рекомендуется использовать приборы МС-08, Ф-4103, ПИНП.

При производстве измерений в качестве вспомогательных электродов применяют стальные стержни или трубы диаметром до 50 мм. Стержни должны быть очищены от краски, а в месте присоединения соединительных проводников — и от ржавчины. Стержни забиваются или ввинчиваются в грунт на глубину 1,0–1,5 м. В случае необходимости токовый электрод выполняется из нескольких параллельно соединенных электродов, размещаемых по окружности, с расстоянием между электродами 1,0–1,5 м.

При выборе или сооружении токового электрода необходимо выполнить проверку соответствия сопротивления токовой цепи техническим данным прибора, с помощью которого предлагается провести измерения. Допустимое сопротивление токовой цепи (с электродом) у различных приборов имеет различные значения и зависит также от выбранного диапазона

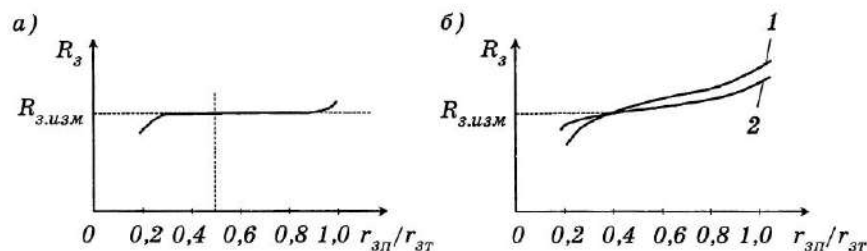


Рис. 6.9. Зависимость измеренного сопротивления от расстояния потенциального электрода до токового: а — при достаточном удалении токового электрода; б — при недостаточном удалении токового электрода:

1 — кривая  $r_{зт} = 3D$ ; 2 — кривая  $r_{зт} = 2D$

измерения сопротивления заземления. Для прибора Ф-4103, например, допустимое сопротивление токовой цепи в зависимости от выбранного диапазона измерений меняется от 1 до 6 кОм.

Для проверки сопротивления токовой цепи необходимо в начале всех измерений объединить выводы Т1 и П1 прибора, соединить их с токовым электродом и провести измерения сопротивления токовой цепи. Данные, полученные при измерениях, заносят в протокол (прил. 4).

### Измерение сопротивления заземлителей опор воздушных линий

Методика измерения сопротивления заземлителей опор ВЛ без грозозащитного троса или с отсоединенным грозозащитным тросом практически мало отличается от методики измерения сопротивления заземлителей подстанций.

Поскольку заземляющие устройства с большими размерами в плане редко применяются на опорах ВЛ, в большинстве случаев удовлетворительные результаты могут быть получены при расположении электродов по двухлучевой схеме при расстоянии между электродами, удовлетворяющем соотношениям:

$$r_{зп} = r_{зт} = 1,5D; r_{тп} = D.$$

Расстояние  $r_{зп}$  должно измеряться от края ЗУ и во всех случаях должно составлять не менее 30 м от конструкции опоры.

В случае невозможности или нецелесообразности отсоединения от тела опоры грозозащитного троса измерения сопротивления заземлителя опоры могут выполняться с помощью специально разработанных в некоторых организациях для этого приборов (импульсных и др.), с применением токоизмерительных клещей, а также по методу, разработанному СибНИИЭ (рис. 6.10).

Метод измерения с помощью токоизмерительных клещей заключается в измерении суммарного тока, протекающего по всем заземляющим спускам, ногам или стойкам опоры, и потенциала заземляющего спуска относительно вспомогательного электрода, помещенного в зону нулевого потенциала. Сопротивление заземлителей определяется как отношение потенциала к суммарному току. На нагруженных ВЛ

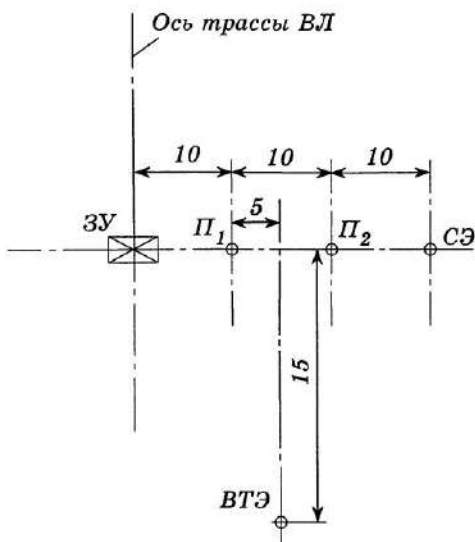


Рис. 6.10. Схема взаимного расположения электродов при измерении сопротивления опоры без отсоединения тросов по методу СибНИИЭ

геофизических комплектов. Учитывая очень малые значения измеряемых величин, может потребоваться дополнительное оснащение этих приборов специальными усилительными приставками.

Измерения производятся трижды с включением независимого источника тока и измерительных приборов по схемам, представленным на рис. 6.11. При этом определяются последовательно три значения  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , полученные при измерениях по соответствующим схемам измерения на рис. 6.11, а, б и в.

Искомое сопротивление заземлителя опоры  $R_x$  (при использовании прибора без усилительной приставки) определяется по формуле

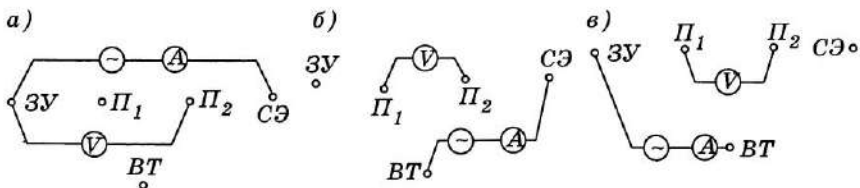


Рис. 6.11. Схемы трех последовательно используемых вариантов включения измерительных приборов при измерениях по методу СибНИИЭ

110 кВ токи, стекающие в землю по опорам, составляют от нескольких сот миллиампер до нескольких ампер.

Метод СибНИИЭ основан на использовании двух потенциальных ( $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ ) и двух токовых электродов (сравнительный СЭ и вспомогательный токовый ВТЭ). Взаимное расположение указанных электродов и контролируемого ЗУ представлены на рис. 6.10.

В качестве измерительных приборов при реализации этого метода могут быть использованы серийные измерители заземления, а также приборы из

$$R_x = R_1 \frac{R_2}{R_3} - R_2 \left( 1,33 \cdot \frac{R_2}{R_3} - 1 \right).$$

Измерения электрического (удельного) сопротивления грунта проводятся аналогично измерениям сопротивления ЗУ. При этом к контактам 1 и 2 вместо ЗУ подсоединяют дополнительный электрод в виде металлического стержня или трубы известных размеров. Потенциальный и токовый электроды забивают в землю на определенных расстояниях от вспомогательного электрода (см. табл. 6.6, № 4). В местах их забивки удаляют растительный покров или насыпной слой грунта.

Сроки контроля состояния ЗУ представлены в прил. П.5. В прил. П.7 и П.8 представлены технологические карты «Измерения величины сопротивления ЗУ и сопротивления заземляющего проводника» и «Измерения величины сопротивления цепи фаза—нулевой защитный проводник и проверка целостности нулевого провода».

---

#### 6.5. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗЕМЛИ (ГРУНТА)

---

Удельное электрическое сопротивление земли на различной глубине определяется методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) при помощи измерителя сопротивления заземления Ф 4103 или М-416 (рис. 6.12), а также МРV-100 или ИКС-50. К токовым электродам АВ подключаются токовые выводы прибора; напряжение между потенциальными электродами подается на потенциальные выводы прибора.

По измеренному значению сопротивления  $\rho_{\text{изм}}$  определяется кажущееся удельное сопротивление:

$$\rho_k = k\rho_{\text{изм}},$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от расстояния между электродами измерительной установки [32].

При равных расстояниях между электродами, т. е. при  $a = AB/3$ ,

$$k = 2\pi a,$$

где  $a$  принимается равным двойной глубине слоя грунта, до которого производится измерение  $\rho$ .



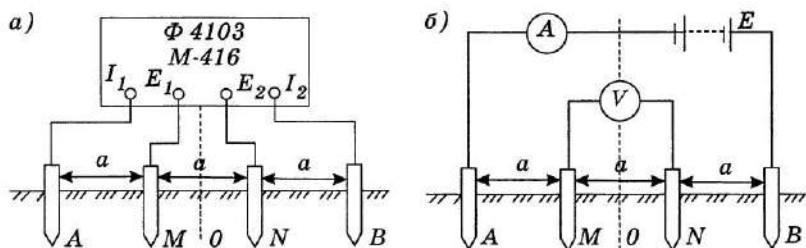


Рис. 6.12. Схема для определения удельного сопротивления грунта: а — измерителем заземления МС-08 (М-416); б — по методу «амперметра-вольтметра»

При исследовании изменения сопротивления грунта по глубине целесообразно провести 10–15 измерений при различных расстояниях между электродами. Центр установки 0 при этом остается неизменным. Трассу для измерений нужно выбирать на расстоянии 5–10 м от металлических коммуникаций. Значения  $k$  для соответствующих расстояний между электродами при проведении измерений с разном электродов следующие:

$AB$ , м . . . . .	20	30	45	60	90	120	150	200
$MN$ , м . . . . .	6,6	10	15	20	30	40	50	66
$k$ . . . . .	42,1	62,8	94,2	125,6	188,4	251,2	314	421

Рассчитанные значения кажущегося удельного сопротивления грунта  $\rho_k$  следует представить в виде графика, называемого кривой ВЭЗ, на логарифмической бумаге с логарифмической единицей, равной 6,25 см. По оси ординат графика, представленного на рис. 6.13, откладывают значения  $\rho_k$ , а по оси абсцисс —  $0,5 AB$  (м). Для определения параметров двухслойного грунта удельного сопротивления первого и второго слоев  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  и мощности верхнего слоя  $h_1$  пользуются расчетными кривыми-палетками (см. рис. 6.13).

Полученную экспериментальную кривую калькулируют вместе с осями координат и накладывают на набор палеток. Перемещая кальку по набору палеток, добиваются наилучшего совпадения кривой с одной из теоретических кривых. Оси координат при этом должны оставаться параллельными. Затем, отсчитав ординату эмпирической кривой  $\rho'_k$ , отсекаемую осью абсцисс палетки  $\lambda$ , получают удельное сопротивление верхнего слоя грунта (Ом · м). Ось ординат палетки  $\rho_k$  отсекает на оси абсцисс эмпирической кривой  $\lambda'$  отрезок  $h_1$ , определяющий глубину границы раздела слоев, т. е. толщину верхнего слоя. Сопротивление второго слоя

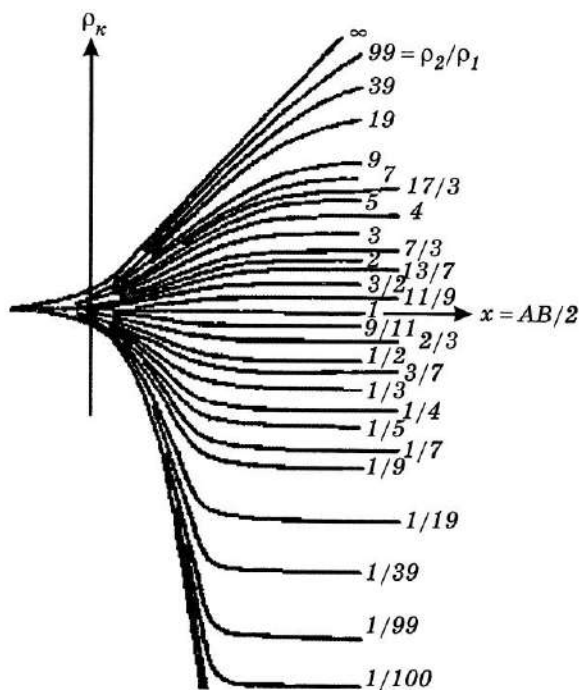


Рис. 6.13. Палетка вертикального электрического зондирования

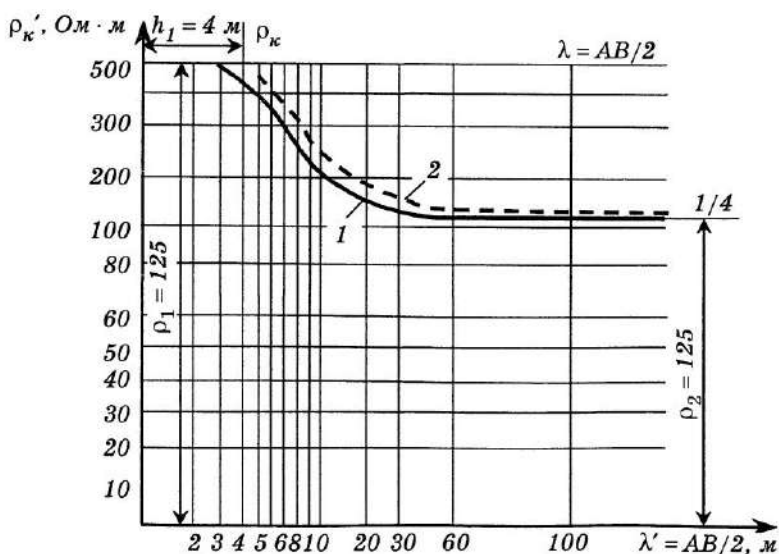


Рис. 6.14. Определение параметров электрической структуры грунта:  
1 — кривая палетки ВЭЗ; 2 — экспериментальная кривая ВЭЗ

определяется асимптотой эмпирической кривой при больших значениях  $AB/2$  [33].

На рис. 6.14 приведен пример определения параметров грунта. В рассматриваемом примере экспериментальная кривая ВЭЗ (штриховая линия 2) совпадает с кривой палетки  $\rho_1/\rho_2 = 1/4$ . Палетка строится в осях координат:  $\rho_k$  — ось ординат;  $\lambda$  — ось абсцисс; а оси координат экспериментальной кривой  $\rho'_k$  и  $\lambda'$ .

При совмещении кривой ВЭЗ с палеткой ось ординат палетки  $\rho_k$  отсекает на оси абсцисс экспериментальной кривой  $\lambda'$  отрезок, определяющий толщину верхнего слоя  $h_1 = 4$  м. Ось абсцисс палетки 1 отсекает на оси ординат эмпирической кривой  $\rho'_k$  ординату  $\rho'_k$ , определяющую сопротивление верхнего слоя грунта.

Для рассматриваемого примера  $\rho_1 = 500$  Ом · м. Сопротивление второго слоя  $\rho_2 = \rho_1/4 = 125$  Ом · м.

## РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

7.1. РАСТЕКАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ТОКА С ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

При замыкании одной из фаз ЭУ на заземленный корпус электрооборудования (ОПЧ) ток замыкания растекается в земле с элементов ЗУ; при этом появляется потенциал как на корпусе ЭУ, так и вокруг ЗУ. Персонал, обслуживающий ЭУ, может попасть под действие напряжений прикосновения и шага (рис. 7.1).

Для выявления электрических зависимостей в зоне растекания тока в земле рассмотрим упрощенное ЗУ в виде металлической полусферы, размещенной на границе земли в однородном грунте. Электрический ток растекается с заземлителя равномерно в радиальных направлениях (рис. 7.2, а). Этот ток создает в грунте с удельным электрическим сопротивлением  $\rho$  электрическое поле напряженностью  $E$ .

Величину этой напряженности можно определить на основании закона Ома в дифференциальной форме:

$$E = \rho j,$$

где  $j$  — плотность электрического тока в зоне растекания в земле;

$\rho$  — удельное сопротивление грунта.

При равномерном распределении тока его плотность убывает по мере удаления от заземлителя:

$$j = \frac{I_3}{2\pi x^2},$$

где  $x$  — расстояние от заземлителя;

$I_3$  — ток, стекающий с заземлителя.

Падение напряжения на участке грунта можно определить, зная расстояние до заземлителя  $x$ :

$$U = \int_{D/2}^x E dx = \frac{\rho I_3}{2\pi} \left( \frac{2}{D} - \frac{1}{x} \right),$$

где  $D$  — диаметр заземлителя.

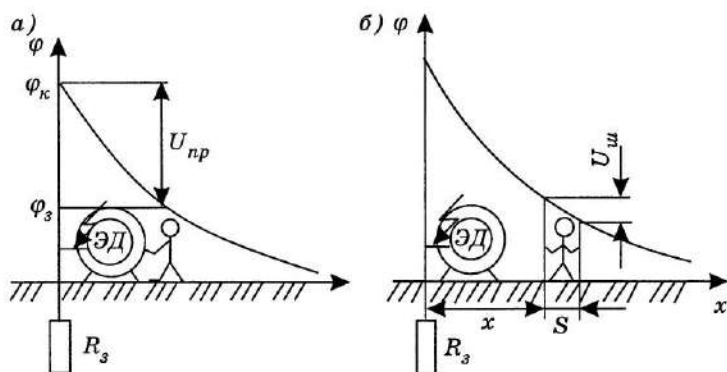


Рис. 7.1. Напряжения, под которые попадает человек в зоне растекания тока с заземляющего устройства: а — напряжение прикосновения  $U_{пр}$ ; б — напряжение шага  $U_{ш}$

При расстояниях от заземлителя, значительно превышающих его размеры ( $x \gg D$ ), можно пренебречь вторым членом в скобках:

$$U = \frac{\rho I_z}{\pi D} = R_z I_z,$$

где  $R_z = \rho/(\pi D)$  — сопротивление заземлителя.

Следовательно, сопротивление заземлителя прямо пропорционально удельному электрическому сопротивлению грунта и обратно пропорционально геометрическим размерам

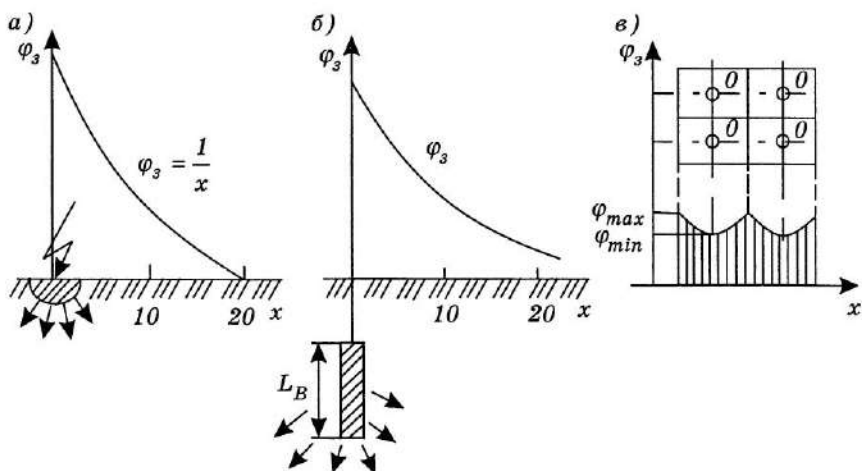


Рис. 7.2. Распределение потенциалов в зоне растекания тока с заземлителями различной формы: а — точечный заземлитель; б — вертикальный заземлитель; в — заземляющая сетка

заземлителя, поэтому небольших значений сопротивления заземлителя можно добиваться увеличением его геометрических размеров либо уменьшением удельного сопротивления грунта. Этот вывод применим к любой форме заземлителя, так как заземлитель любой формы можно привести к расчетному, определяя его эквивалентный диаметр. Для расчета сопротивления основных типов заземлителей, применяющихся при сооружении ЗУ, российские ученые предложили выражения, позволяющие учитывать неоднородность электрической структуры грунта. Сопротивление вертикального заземлителя рассчитывается по формуле

$$R_B = 0,366 \frac{\rho_{эв}}{l_B} \lg \frac{2l_B}{d}, \quad (7.1)$$

где  $l_B, d$  — длина и диаметр вертикального заземлителя, м;  
 $\rho_{эв}$  — эквивалентное удельное сопротивление грунта для вертикального заземлителя, Ом · м (табл. 7.1).

Для расчета сопротивления горизонтального заземлителя (заземляющей полосы) рекомендуется выражение

$$R_T = 0,366 \frac{\rho_{эг}}{l_T} \lg \frac{l_T^2}{d \cdot t},$$

где  $l_T, d$  — длина и диаметр горизонтального заземлителя, м;

$\rho_{эг}$  — эквивалентное удельное сопротивление грунта для расчета горизонтального заземлителя, Ом · м (табл. 7.2);

$t$  — глубина заложения.

Опасность поражения человека при однофазных замыканиях на заземленные элементы ЭО определяется величиной напряжений, под которые он попадает. При прикосновении к заземленным элементам человек попадает под напряжение прикосновения, обусловленное различными потенциалами заземлителя (корпуса) и точки на поверхности земли, в которой стоит человек (см. рис. 7.1, а),

$$U_{пр} = \varphi_k - \varphi_3,$$

где  $\varphi_k$  — потенциал элементов ЭО, имеющих металлическую связь с заземлителем (падением напряжения в соединительных проводниках пренебрегаем);

$\varphi_3$  — потенциал площадки земли в зоне растекания электрического тока, на которой стоит человек.

Потенциал заземлителя (В) определяется величинами тока однофазного замыкания и сопротивлением ЗУ

Т а б л и ц а 7.1

Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли  $\rho_{эв} / \rho_2$  для расчета сопротивления одиночного вертикального электрода в двухслойной земле

$\rho_1/\rho_2$	$\rho_{эв}/\rho_2$ для относительной толщины верхнего слоя с учетом глубины заложения заземления														
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0	1,25	2	4
0,01	0,22	0,125	0,08	0,045	0,037	0,032	0,027	0,024	0,032	0,02	0,019	0,018	0,017	0,015	0,013
0,05	0,5	0,35	0,25	0,18	0,14	0,12	0,105	0,094	0,084	0,08	0,076	0,074	0,073	0,068	0,062
0,1	0,63	0,5	0,4	0,3	0,24	0,21	0,186	0,165	0,15	0,143	0,14	0,137	0,135	0,13	0,12
0,2	0,78	0,7	0,59	0,45	0,38	0,35	0,315	0,285	0,260	0,255	0,25	0,245	0,243	0,235	0,22
0,3	0,88	0,79	0,69	0,59	0,51	0,47	0,43	0,4	0,37	0,362	0,355	0,35	0,348	0,34	0,33
0,5	0,95	0,9	0,84	0,77	0,72	0,69	0,65	0,62	0,59	0,57	0,55	0,54	0,538	0,53	0,52
2	1,01	1,03	1,06	1,12	1,2	1,25	1,32	1,4	1,5	1,6	1,7	1,75	1,95	1,98	2,0
3	1,03	1,05	1,1	1,2	1,3	1,4	1,52	1,68	1,86	2,1	2,3	2,4	2,9	2,97	3,0
5	1,05	1,08	1,16	1,25	1,4	1,58	1,75	2,0	2,4	2,9	3,3	3,6	4,6	4,85	5,0
10	1,06	1,12	1,24	1,35	1,52	1,74	2,0	2,4	3,1	4,1	5,1	6,2	9,0	9,8	10,0
30	1,08	1,17	1,3	1,46	1,7	2,0	2,5	3,1	4,15	6,2	9,2	1,49	27,0	29,7	30,0
50	1,1	1,2	1,35	1,52	1,74	2,1	2,65	3,5	4,7	7,4	12,5	22,1	45,0	48,5	50,0
100	1,12	1,23	1,41	1,61	1,85	2,2	2,9	4,0	5,4	9,2	18,0	38,5	90,0	98,0	100,0

Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли  $\rho_{\text{эг}} / \rho_2$  для расчета сопротивления горизонтального электрода

$\rho_1/\rho_2$	Относительное эквивалентное удельное сопротивление при относительной толщине верхнего слоя с учетом глубины заложения электрода $\frac{h-t}{l}$						
	0,01	0,03	0,05	0,1	0,125	0,5	1,0
0,01	0,082	0,057	0,042	0,033	0,026	0,0185	0,0135
0,05	0,225	0,166	0,130	0,115	0,098	0,076	0,060
0,1	0,34	0,255	0,210	0,19	0,165	0,135	0,115
0,2	0,50	0,41	0,345	0,32	0,29	0,250	0,225
0,3	0,60	0,52	0,46	0,44	0,40	0,360	0,320
0,5	0,76	0,68	0,64	0,60	0,54	0,360	0,320
2	1,50	1,62	1,70	1,75	1,85	1,94	1,96
3	2,0	2,2	2,45	2,60	2,80	2,9	2,95
5	3,0	3,48	4,0	4,2	4,50	4,8	4,9
10	9,4	6,4	7,6	8,0	8,75	9,6	9,8
30	15,5	18,5	21,3	23,0	25,0	27,5	29,0
50	25,5	30,0	33,5	36,5	40,5	46,0	49,0
100	47,5	54,5	62,0	70,5	79,5	96,0	98,0

$$\varphi_3 = I_3 R_3. \quad (7.2)$$

Для ЭУ напряжением выше 1000 В с большими токами замыкания на землю допустимый потенциал заземлителя принимается равным 10 000 В.

Помимо напряжения прикосновения человек в зоне растекания электрического тока в земле попадает под шаговое напряжение, обусловленное различными потенциалами земли на площадках под ногами человека (см. рис. 7.1, б):

$$U = \int_x^{x+S} E dx = \frac{\rho I_3}{2\pi} \frac{S}{x(x+S)}.$$

На расстояниях от заземлителя  $x$  больших, чем длина шага, шаговое напряжение уменьшается пропорционально квадрату расстояния:

$$U_{\text{ш}} = \frac{\rho I_3}{2\pi} \frac{S}{x^2}.$$

Очевидно, что величина шагового напряжения зависит от крутизны кривой распределения напряженности электрического поля в зоне растекания тока. При прочих равных условиях шаговое напряжение всегда меньше по величине, чем напряжение прикосновения, поэтому оценку эффективности ЗУ производят по величине напряжений прикоснове-



ния. При этом, учитывая одинаковую зависимость напряжений шага и прикосновения от характера кривой распределения напряженности электрического поля, любые мероприятия по снижению напряжений прикосновения автоматически снижают и шаговые напряжения.

Рассмотрим подробнее зависимость напряжений прикосновения от параметров ЗУ.

Потенциалы земли в зоне растекания тока определяются характером изменения напряженности электрического поля, определяемой, в свою очередь, конструкцией ЗУ и параметрами электрической структуры земли. Очевидно, что потенциал земли при прочих равных условиях убывает по мере удаления от заземлителей.

При однородном грунте потенциал земли при растекании тока с точечного заземлителя, расположенного на поверхности земли, распределяется по гиперболическому закону и практически снижается до нуля в радиусе 20 м от заземлителя (см. рис. 7.2, а).

По мере углубления заземлителя зона растекания электрического тока увеличивается, поэтому радиус распространения напряженности электрического поля в земле возрастает и соответственно уменьшается крутизна кривой распределения напряженности (рис. 7.2, б). При групповом заземлителе наименьшие потенциалы наблюдаются в точках земли, наиболее удаленных от элементов ЗУ. Для распространенного заземляющего устройства — заземляющей сетки — точки с наименьшими потенциалами находятся в центре ячеек сетки (рис. 7.2, в). Очевидно, что для уменьшения напряжений прикосновения необходимо стремиться к максимальному выравниванию потенциалов в зоне ЗУ и на подходах к нему, уменьшая тем самым разность потенциалов  $\varphi_k - \varphi_3$ .

Одним из методов такого выравнивания является увеличение частоты ячеек заземляющей сетки и увеличение длины вертикальных электродов. Другими словами, для уменьшения напряжений прикосновения в однородном грунте необходимо добиваться такой конструкции заземляющего устройства, при которой

$$\frac{t}{\sqrt{S}} \rightarrow \max, \quad \frac{l_b}{\sqrt{S}} \rightarrow \max, \quad m = \frac{\sqrt{S}}{b} \rightarrow \max,$$

где  $t$  — глубина заложения горизонтальных заземлителей, м;  
 $b$  — линейный размер (ширина) ячейки заземляющей сетки, м;

$S$  — площадь ЗУ, м<sup>2</sup>;

$l_B$  — длина вертикальных заземлителей, м;

$m$  — число ячеек в заземляющей сетке.

Неоднородность грунта вносит существенные изменения в распределение напряженности электрического поля в земле. В этом случае плотность электрического тока и напряженность поля распределяются пропорционально проводимости различных слоев грунта. Так, при большем удельном электрическом сопротивлении поверхностного слоя (что может объясняться его высыханием летом и промерзанием зимой) основная часть электрического тока рассеивается в глубь почвы, и на поверхности земли возникают менее опасные потенциалы.

Этот принцип снижения напряжений прикосновения и шага используется на подстанциях высокого напряжения, где используется гравийные и щебеночные покрытия толщиной 0,2 м с удельным сопротивлением  $\rho \approx (6-8) \times 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Обратная ситуация может возникнуть при уменьшении удельного сопротивления поверхностного слоя земли (так называемого слоя сезонных изменений). Поэтому при расчете напряжений прикосновения необходимо учитывать неоднородность электрической структуры грунта в зависимости от его сезонных изменений.

Для количественной оценки величины напряжений прикосновения вводят специальный коэффициент прикосновения  $\alpha$ , показывающий, во сколько раз напряжение прикосновения меньше напряжения на корпусе относительно земли:

$$\alpha = \frac{U_{\text{пр}}}{U_K} = \frac{\varphi_K - \varphi_3}{\varphi_K} = 1 - \frac{\varphi_3}{\varphi_K} \leq 1.$$

Иногда напряжение прикосновения заметно уменьшается за счет падения напряжения на переходном сопротивлении ног человека, которое принимается равным  $1,5 \rho_S$ . Это уменьшение учитывается в расчете введением коэффициента напряжения шага —  $\beta$

$$\beta = \frac{R_{\text{ч}}}{R_{\text{ч}} + 1,5 \rho_S},$$

где  $\rho_S$  — удельное сопротивление поверхности земли, Ом · м.

С учетом изложенного напряжение прикосновения для заземляющих сеток с вертикальными электродами можно рассчитать по соотношению:

$$U_{\text{пр}} = U_K \alpha \beta = I_3 R_3 \alpha_{\text{пр}} \beta, \quad (7.3)$$

где  $\alpha_{\text{пр}}$  — наибольшее значение коэффициента прикосновения, рассчитываемое по известным геометрическим размерам заземляющего устройства и параметрам электрической структуры грунта,

$$\alpha_{\text{пр}} = M \left( a\sqrt{S} / l_{\text{в}} l_{\text{г}} \right)^{0,45};$$

$a$  — расстояние между вертикальными заземлителями, м;

$M$  — коэффициент, определяемый отношением  $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ ;

$\frac{\rho_1}{\rho_2}$	...	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M$	...	0,36	0,5	0,62	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,8	0,8	0,82

$l_{\text{г}}, l_{\text{в}}$  — длина горизонтальных и вертикальных заземлителей, м.

Аналогично рассчитывается напряжение прикосновения для заземляющих сеток:

$$U_{\text{пр}} = D \frac{I \rho_{\text{эк}}}{\sqrt{S}},$$

где

$$D = \left( 0,22 \lg \frac{0,88\sqrt{S}}{\sqrt{dt}} \right) \left( \frac{b}{\sqrt{S}} \right)^{0,6};$$

$d$  — эквивалентный диаметр горизонтальных элементов (для полосы с шириной, равной диаметру, принимается равным  $0,5c$ ), м;

$t$  — глубина заложения сетки, м;

$b$  — ширина ячейки заземляющей сетки, м;

$\rho_{\text{эк}}$  — эквивалентное удельное сопротивление земли для расчета наибольшего напряжения прикосновения заземляющей сетки (табл. 7.3).

Т а б л и ц а 7.3

Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли  $\rho_{\text{эк}} / \rho_2$  для расчета напряжения прикосновения заземляющей сетки, расположенной в двухслойной земле

$\rho_1/\rho_2$	Плотность сетки $h/\sqrt{S}$	Значение $\rho_{\text{эк}}/\rho_2$ при $h/\sqrt{S}$ или $(h-t)/\sqrt{S}$							
		0,00625	0,0125	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	1,0
0,125	4	0,32	0,25	0,18	0,15	0,13	0,13	0,125	0,125
0,125	6	0,32	0,26	0,20	0,17	0,15	0,14	0,130	0,125
0,125	10	0,32	0,27	0,22	0,20	0,17	0,15	0,135	0,125
0,125	18	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,16	0,140	0,125

$\rho_1/\rho_2$	Плотность сетки $h/\sqrt{S}$	Значение $\rho_{\text{ЭК}}/\rho_2$ при $h/\sqrt{S}$ или $(h-t)/\sqrt{S}$							
		0,00625	0,0125	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	1,0
0,25	4	0,48	0,39	0,33	0,30	0,26	0,25	0,25	0,25
0,25	6	0,48	0,41	0,35	0,32	0,28	0,27	0,25	0,25
0,25	10	0,48	0,42	0,37	0,34	0,30	0,28	0,26	0,25
0,25	18	0,48	0,43	0,37	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25
0,5	4	0,70	0,65	0,58	0,55	0,52	0,51	0,50	0,50
0,5	6	0,70	0,64	0,60	0,57	0,54	0,53	0,51	0,50
0,5	18	0,70	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53	0,50
2,0	4	1,60	1,65	1,75	1,85	1,95	2,00	2,00	2,00
2,0	6	1,55	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,00	2,00
2,0	10	1,55	1,60	1,70	1,77	1,85	1,90	2,00	2,00
2,0	18	1,55	1,60	1,70	1,77	1,85	1,90	2,00	2,00
4,0	4	2,60	2,90	3,30	3,60	3,85	3,90	4,00	4,00
4,0	6	2,50	2,80	3,20	3,40	3,65	3,80	4,00	4,00
4,0	10	2,40	2,70	3,10	3,30	3,50	3,70	3,90	4,00
4,0	18	2,40	2,60	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00
8,0	4	4,30	5,00	5,80	6,30	7,70	7,30	8,00	8,00
8,0	6	4,00	4,70	5,40	6,20	7,30	7,60	7,90	8,00
8,0	10	3,80	4,50	5,20	5,80	6,90	7,40	7,80	8,00
8,0	8	3,60	4,20	5,00	5,40	6,30	7,00	7,70	8,00

Для расчета ЗУ в ЭУ напряжением выше 1000 В с большими токами замыкания на землю приняты следующие допустимые напряжения прикосновения:

Длительность тока однофазного замыкания, с .....	1,5	0,6	0,5	0,2	0,1
Расчетное напряжение прикосновения, В .....	65	200	225	400	500

## 7.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА

Электрические характеристики грунта (земли) оказывают решающее влияние на сопротивление ЗУ, а значит, и на электробезопасность персонала, обслуживающего ЭУ. Сопротивление ЗУ, выполненного в виде одиночного вертикального заземлителя, определяется по формуле

$$R_3 = \rho / (\pi D).$$

Проводимость поверхностного слоя существенно влияет на величину напряжений прикосновения и шага.

Удельное электрическое сопротивление грунта изменяется в очень широком диапазоне в зависимости от геологической структуры земли. Однако даже на площадке, выбранной для сооружения ЗУ, грунты отличаются чаще всего значительной неоднородностью в вертикальном и горизонтальных разрезах, поэтому удельное сопротивление, удовлетворяющее высокой точности расчета, можно получить только путем непосредственных измерений. В случаях, когда не требуется высокой точности расчета, можно использовать табличные значения удельного сопротивления грунта.

Известно, что все вещества по своим электропроводящим свойствам разделяются на проводники ( $\rho \leq 10^{-5}$  Ом · м), изоляторы ( $\rho \geq 10^{+8}$  Ом · м) и полупроводники ( $10^{-5}$  Ом · м  $< \rho < 10^{+8}$  Ом · м). Горные породы, различные структуры земли и естественные водные среды, как правило, относятся к полупроводникам.

Удельное электрическое сопротивление различных горных пород (табл. 7.4), измеренное при температуре 15–30 °С и при промышленной частоте 50–60 Гц, приведено в табл. 7.5. Значения удельного сопротивления для отдельного минерала в ряде случаев отличаются на несколько порядков. Эти изменения

Т а б л и ц а 7.4

Классификация наиболее распространенных обломочных и глинистых пород

Структура пород	Размеры зерен, мм	Несцементированные породы			Сцементированные породы
		Несвязные		Связные	
		Неокатанные	Окатанные		
Крупнообломочная	1000–500 100–40 40–2	Глыбы Дресва Щебень	Валуны Галька Гравий	— — —	Конгломерат
Среднеобломочная	2–0,05	Песок различной крупности		—	Песчаник
Мелкообломочная, пылеватая	0,05–0,005	—	—	Супесь, лёсс, алевроит	Алевролит
Тонкая	0,005	—	—	Суглинок, глина	Аргиллит, глинистый сланец

Удельное электрическое сопротивление горных пород  $\rho$ 

Горная порода	Удельное сопротивление $\rho$ , Ом · м											
	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$
Графит		■	■									
Магнетит				■	■							
Сульфиды					■	■						
Уголь антрацит					■	■	■					
Вода морская, подземная						■	■	■				
Песок с соленой водой							■	■	■			
Песчаник рыхлый							■	■	■			
Глина							■	■	■			
Доломит								■	■	■		
Вода речная								■	■	■		
Известняк рыхлый, ракушечник								■	■	■		
Мергель								■	■	■		
Песок с пресной водой								■	■	■	■	
Уголь бурый								■	■	■	■	
Уголь каменный								■	■	■	■	
Песчаник плотный								■	■	■	■	
Сланец глинистый								■	■	■	■	
Известняк плотный								■	■	■	■	
Вода дождевая									■	■	■	■
Гнейс									■	■	■	■
Базальт										■	■	■
Габбро											■	■
Гранит												■
Диабаз												■
Каменная соль												■

обусловлены влиянием примесей и различной структурой минеральных зерен, на которых проводились измерения. Микроскопические трещины и окисления поверхности в пределах индивидуальных зерен вызывают значительные изменения значений измеряемых сопротивлений.

В табл. 7.6 приведены удельные сопротивления водосодержащих пород. Эти данные также относятся к температуре порядка 20 °С и к промышленной частоте проводимых измерений. Электропроводность породы, если она не содержит высоких концентраций проводящих минералов, при обычных температурах определяется количеством присутствующей в ней воды, минерализацией воды и характером распределения воды в породе.

Сопротивление  $\rho$  водосодержащих пород можно сопоставить с содержанием воды, используя эмпирическую формулу

$$\rho = a\rho_w \Phi^{-m} S^{-n},$$

где  $\rho_w$  — удельное электрическое сопротивление содержащейся в породе воды;

$\Phi$  — пористость;

$S$  — доля порового объема, заполненного водой;

$a, m, n$  — эмпирические параметры.

Параметр  $m$  принимает значения от 1,3 для рыхлого песка до 2,5 для плотно сцементированной зернистой породы. В табл. 7.7 приведены значения  $\Phi$ ,  $a$  и  $m$ . Значение  $n$  в уравнении очень близко к 20 для случая, когда вода

Т а б л и ц а 7.6  
Пределы электрического удельного сопротивления водосодержащих пород  $\rho$

Геологический возраст пород	Удельное сопротивление $\rho$ , Ом · м				
	Морской песок, глинистый сланец	Континентальные пески, песчаник	Вулканические породы (базальты, туфы)	Граниты, габбро	Известняки, доломиты, ангидриты, соль
Третичный, четвертичный	1-10	15-20	10-2×10 <sup>2</sup>	5×10 <sup>2</sup> -2×10 <sup>3</sup>	50-5×10 <sup>3</sup>
Мезозойский	5-20	25-10 <sup>2</sup>	20-5×10 <sup>2</sup>	5×10 <sup>2</sup> -2×10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>
Карбоновый	10-40	50-3×10 <sup>2</sup>	50-10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -5×10 <sup>3</sup>	2×10 <sup>2</sup> -10 <sup>5</sup>
Докарбонный палеозой	40-200	10 <sup>2</sup> -5×10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -2×10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -5×10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>
Докембрийский	10 <sup>2</sup> -2×10 <sup>3</sup>	3×10 <sup>2</sup> -5×10 <sup>3</sup>	2×10 <sup>2</sup> -5×10 <sup>3</sup>	5×10 <sup>3</sup> -20×10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>

Таблица 7.7

Значения пористости  $\Phi$ , параметров  $a$  и  $m$  для водонасыщенных пород

Формации водонасыщенных пород	$\Phi$	$a$	$m$
Песок (девон, мел, эоцен)	0,15–0,367	0,62	2,15
Песчаник (юра)	0,14–0,23	0,62	2,10
Чистый миоценовый песчаник	0,11–0,26	0,78	1,92
Чистый меловой песчаник	0,08–0,25	0,47	2,23
Чистый ордовикский песчаник	0,07–0,15	1,30	1,71
Сланцевый песчаник (эоцен)	0,09–0,22	1,80	1,64
Сланцевый песчаник (олигоцен)	0,07–0,26	1,70	1,65
Сланцевый песчаник (мел)	0,07–0,31	1,70	1,80
Оолитовый известняк (мел)	0,07–0,19	2,30	1,64
Оолитовый известняк (юра)	0,09–0,26	0,73	2,10
Кремнистый известняк (девон)	0,07–0,30	1,20	1,88
Известняк (мел)	0,08–0,30	2,20	1,65

заполняет более 30 % порогового пространства. Для пород, у которых вода не смачивает зерна минералов, параметр  $n$  может достигать 10.

Значения удельного электрического сопротивления грунтовых вод приведены в табл. 7.8.

Удельное электрическое сопротивление породы зависит также от температуры. Для водосодержащих пород влияние температуры на сопротивление породы такое же, как и влияние температуры на электрическое сопротивление находящейся в породе воды в интервале температур между точками ее замерзания и кипения. Изменения сопротивления, вызванные температурными изменениями в растворе электролита, приближенно выражаются формулой

Таблица 7.8

Удельное электрическое сопротивление грунтовых вод

Образец породы	Сопротивление при 20 °С, Ом · м	
	Пределы изменения	Среднее значение
Изверженные породы	3–40	7,60
Современные и плейстоценовые континентальные осадки	1–27	3,90
Третичные осадки	0,7–3,5	1,40
Мезозойские осадочные породы	0,31–47	2,50
Палеозойские осадочные породы	0,29–7,1	0,93
Хлоридные воды нефтяных месторождений	0,049–0,95	0,16
Сульфатные воды нефтяных месторождений	0,43–5	1,20
Бикарбонатные воды нефтяных месторождений	0,24–10	0,98



Таблица 7.9

Температурная зависимость удельного электрического сопротивления породы вблизи 0 °С

Горная порода	Пористость, Ф	$\rho(t = -12 \text{ }^\circ\text{C}) / \rho(t = 20 \text{ }^\circ\text{C})$	Горная порода	Пористость, Ф	$\rho(t = -12 \text{ }^\circ\text{C}) / \rho(t = 20 \text{ }^\circ\text{C})$
Песчаник	0,119	184	Доломит	0,204	237
	0,068	80	Гранит	0,034	430
Конгломерат	0,018	87	Красный порфир	0,122	343
	0,21	73		0,1	100
Ортокварцит	0,038	76	Сиенит Нефелиновый сиенит	0,049	27
	0,041	175		0,008	62
	0,087	375			
Глинистый сланец	0,101	255	Мариуполит	0,008	47
Известняк тонкозернистый	0,22	17	Пироксенит	0	32
			Базальт	0,064	21
Известняк	0,011	4	Метакварцит	0,098	10
	0,073	178		0,071	40

$$\rho_T = \rho_{20} \cdot e^{-0,022(T-20)},$$

где  $\rho_T$ ,  $\rho_{20}$  — удельные сопротивления при температурах  $T$  и 20 °С, соответственно.

Из данных табл. 7.9 видно резкое возрастание удельного электрического сопротивления горных пород при замерзании поровой влаги.

В табл. 7.10 приведены рекомендуемые для использования в проектных расчетах значения удельного электрического сопротивления верхнего слоя земли мощностью до 50 м.

Для измерения параметров электрической структуры земли — толщины слоев и удельного электрического сопротивления каждого слоя рекомендуется два способа: пробного вертикального электрода и вертикального электрического зондирования. Выбор способа измерения зависит от характеристики грунтов и необходимой точности измерения.

Метод пробного вертикального электрода может применяться в ЭУ до 20 кВ, если грунт в районе ЭУ отличается относительно невысоким удельным сопротивлением. Как правило, в таких ЭУ заземляющее устройство рассчитывается по допустимому сопротивлению, причем значительные

Т а б л и ц а 7.10

Рекомендуемые расчетные значения удельного электрического сопротивления верхнего слоя земли (мощностью не более 50 м)

Слой земли	Сопротивление земли, Ом · м
Песок (при температуре выше 0 °С): сильно увлажненный грунтовыми водами умеренно увлажненный влажный слегка влажный сухой	10–60 60–130 130–400 400–1500 1500–4200
Суглинок: сильно увлажненный грунтовыми водами (при температуре выше 0 °С) промерзший слой (при температуре –5 °С)	10–60 60–190
Глина (при температуре выше 0 °С)	20–60
Торф: при температуре около 0 °С при температуре выше 0 °С	40–50 10–40
Солончаковые почвы (при температуре выше 0 °С)	15–25
Щебень: сухой мокрый	Не менее 5000 Не менее 3000
Дресва (при температуре выше 0 °С)	5500
Гранитное основание (при температуре выше 0 °С)	22 500

по величине нормированные допустимые сопротивления можно получить при сравнительно невысокой точности определения удельного сопротивления грунта. Метод основан на измерении сопротивления пробного электрода, геометрические размеры которого соответствуют принятым для проектирования ЗУ, погружаемого на расчетную глубину в различных точках выбранной площадки. Для измерения может применяться любой из методов, используемых для контроля за сопротивлением ЗУ с соблюдением соответствующих условий размещения электродов. Удельное электрическое сопротивление определяется на основании формул, характеризующих сопротивление заземлителя соответствующей формы. Например, для стержневого пробного заземлителя удельное сопротивление рассчитывается по формуле

$$\rho = \frac{Rl}{0,366 \cdot \lg \frac{2l}{d}},$$

где  $R$  — сопротивление заземлителя в виде пробного электрода, полученное измерением, Ом;

$l$  — глубина заложения пробного электрода, м;

$d$  — диаметр пробного электрода, м.

Полученное в результате измерения удельное сопротивление представляет некоторую усредненную величину, учитывающую неоднородность грунта по вертикали. Чтобы учесть неоднородность грунта по горизонтали, рекомендуется провести несколько измерений в различных точках выбранной площадки и для расчетов использовать среднее арифметическое результатов измерений:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n}{n},$$

где  $\rho_1, \rho_2, \rho_n$  — удельное сопротивление, полученное в результате измерения в различных точках площадки, Ом · м;

$n$  — количество измерений.

При небольших размерах площадок изменение удельного сопротивления по горизонтали незначительно и можно ограничиваться проведением одного замера. Климатические условия в районе сооружения ЗУ вызывают, как правило, существенные колебания удельного сопротивления грунта в течение года в результате промерзания, увлажнения и высыхания почвы, поэтому измеренное удельное сопротивление (Ом · м) необходимо приводить к расчетным условиям посредством сезонного коэффициента:

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_{\text{ср}} k, \quad (7.4)$$

где  $\rho_{\text{эк}}$  — расчетное эквивалентное удельное сопротивление (соответствует наиболее неблагоприятному климатическому состоянию грунта);

$k$  — сезонный коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления грунта под влиянием климатических условий.

Сезонные изменения удельного сопротивления грунта зависят от климатических условий в районе ЗУ и глубины залегания слоев грунта. Для учета сезонных изменений вся территория РФ разделена на четыре климатические зоны (табл. 7.11).

Сезонные коэффициенты выбираются в зависимости от климатических условий в период, предшествующий измерениям. При этом принимаются различные коэффициенты

## Климатические зоны РФ

Характеристики климатической зоны	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая температура воздуха (январь), С°	-20 ÷ -15	-14 ÷ -10	-10 ÷ 0	0 ÷ +5
Средняя многолетняя высшая температура воздуха (июль), С°	16-18	18-22	22-24	24-26
Среднегодовое количество осадков, см	40	50	50	30-50
Продолжительность замерзания воды, дней	190-170	150	100	0

для вертикальных (табл. 7.12) и горизонтальных (табл. 7.13) заземлителей.

Тем самым учитывается различное влияние климатических условий на поверхностный и углубленные слои грунта.

Метод пробного электрода отличается простотой измерений, а также требует использования минимального количества измерительной аппаратуры и расчетов. Основной его недостаток — сложность погружения пробных электродов на расчетную глубину, особенно в условиях твердых грунтов. Однако метод практически неприемлем для измерений на площадках с высоким удельным сопротивлением поверхностных слоев грунта (скальные, многолетнемерзлые и т. д.). В таких условиях может возникнуть необходимость погружать заземлители на значительную глубину и для определения расчетного удельного сопротивления необходимо применять метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).

Т а б л и ц а 7.12

Сезонные коэффициенты для приведения к расчетным условиям удельного сопротивления, измеренного вертикальным пробным электродом

Климатические зоны	Значение коэффициента $k$ при глубине погружения электрода					
	2-3 м			4-5 м		
	для влажности почвы или количества осадков в период перед измерениями					
	повышенной	средней	пониженной	повышенной	средней	пониженной
I	1,85	1,65	1,50	1,45	1,35	1,30
II	1,60	1,45	1,30	1,30	1,25	1,20
III	1,45	1,30	1,20	1,25	1,15	1,10
IV	1,30	1,10	1,00	1,20	1,10	1,00

Сезонные коэффициенты для приведения к расчетным условиям удельного сопротивления при расчете сопротивления горизонтальных заземлителей

Климатические зоны	Значение коэффициента $k$ при длине заземлителя					
	2–3 м			4–5 м		
	для влажности почвы или количества осадков, выпавших в период перед измерениями					
	повышенной	средней	пониженной	повышенной	средней	пониженной
I	5,4	3,2	2,3	4,3	2,6	2,0
II	3,8	2,2	1,7	3,2	2,0	1,5
III	3,1	1,7	1,4	2,6	1,5	1,3
IV	2,0	1,3	1,1	1,8	1,2	1,0

Для измерений используется четыре электрода (рис. 7.3), погружаемые на небольшую глубину 40–50 мм. Измеряя величину тока  $I$ , проходящего от источника через токовые электроды 1, 4, и напряжение между потенциальными электродами 2, 3, определяем сопротивление

$$R = U/I,$$

равное сопротивлению некоторого объема грунта, примыкающего к измерительной установке. Условно этот объем принимают равным полусфере с диаметром, определяемым расстоянием между токовыми электродами, а измеренное таким способом удельное сопротивление относят к точке грунта на вертикальной оси полусферы на глубине, равной четверти ее диаметра. Следовательно, для измерения удельного сопротивления на глубине  $h$  необходимо, чтобы расстояние между токовыми электродами составляло  $l_{1-4} = 4h$ . Если при этом потенциальные электроды

разделяют расстояние между токовыми на равные части  $l_{2-3} = 1/3 l_{1-4}$ , удельное сопротивление ( $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ) можно вычислить по формуле

$$\rho_{\text{ВЗЗ}} = 2\pi Ra,$$

где  $a = l_{1-2} = l_{2-3} = l_{3-4}$  — расстояние между соседними электродами, м;  
 $R$  — измеренное сопротивление, Ом.

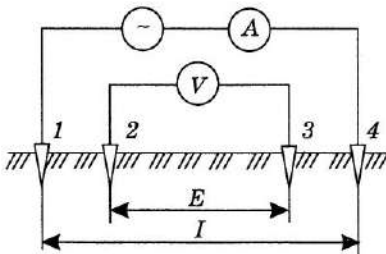


Рис. 7.3. Размещение электродов для измерения удельного сопротивления грунта методом вертикального электрического зондирования

Изменяя расстояние между токовыми электродами, измеряют условное удельное сопротивление  $\rho$  на различной глубине  $h$  для различных слоев грунта. Если при этом расстояние между потенциальными электродами составляет  $l_{2-3} < 1/3 l_{1-4}$ , можно переставлять только токовые электроды, оставляя потенциальные неизменными.

Величина удельного сопротивления вычисляется в этом случае по формуле

$$\rho_{ВЭЗ} = \frac{\pi}{2} R \left( \frac{l_{1-4}^2 - l_{2-3}^2}{2l_{2-3}^2} \right).$$

Для получения минимальной погрешности расстояние между потенциальными электродами нельзя принимать слишком малым. Рекомендуется принимать  $l_{2-3} = (0,41 + 0,43) l_{1-4}$ .

Измеренное методом вертикального электрического зондирования удельное сопротивление является условной величиной. Для приведения его к расчетному пользуются специальными графиками — теоретическими палетками для многослойных грунтов, применяемыми в геофизике. При этом необходимо стремиться свести результаты вертикального электрического зондирования к наиболее меньшему числу слоев.

Вертикальное электрическое зондирование для площадок размером не более  $50 \times 50 \text{ м}^2$  рекомендуется проводить, разнося электроды во взаимноперпендикулярных направлениях из центра площадки. Для площадок больших размеров электрическое зондирование проводят, разнося электроды во взаимноперпендикулярных направлениях из нескольких центров, выбираемых в центре площадки и в центрах ограничивающих ее сторон. При этом результаты измерений в разных направлениях отличаются и для каждого слоя необходимо пользоваться средним значением удельного сопротивления  $\rho_{\text{ср}}$  и толщины слоя  $h_{\text{ср}}$ :

$$\left. \begin{aligned} \rho_{\text{ср ВЭЗ}} &= \frac{\rho_1 \text{ ВЭЗ} + \rho_2 \text{ ВЭЗ} + \dots + \rho_n \text{ ВЭЗ}}{n}, \\ h_{\text{ср ВЭЗ}} &= \frac{h_1 \text{ ВЭЗ} + h_2 \text{ ВЭЗ} + \dots + h_n \text{ ВЭЗ}}{n}, \end{aligned} \right\}$$

где  $\rho_1 \text{ ВЭЗ}, \dots, \rho_n \text{ ВЭЗ}$  — удельное сопротивление рассматриваемого слоя по результатам каждого из выполненных  $n$  ВЭЗ, Ом · м;

$h_{1ВЭЗ}, \dots, h_n ВЭЗ$  — толщина рассматриваемого слоя по результатам каждого из выполненных  $n$  ВЭЗ, м.

Влияние сезонных колебаний сопротивления грунта учитывается посредством толщины слоя сезонных изменений и сезонного коэффициента (табл. 7.14).

Приведение измеренных параметров электрической структуры к расчетным осуществляется в зависимости от соотношения между толщиной верхнего слоя, полученной в результате усреднения результатов измерений методом ВЭЗ  $h_{1ВЭЗ}$ , и толщиной слоя сезонных изменений  $h_c$ .

Если  $h_{1ВЭЗ} < h_c$ , параметры слоев определяются из соотношений:

для первого слоя  $\rho_1$  и  $h_1$

$$\frac{kh_c}{\rho_1} = \frac{h_{1ВЭЗ}}{\rho_{1ВЭЗ}} - \frac{h_c - h_{1ВЭЗ}}{\rho_{2ВЭЗ}}; \quad h_1 = h_c;$$

для второго слоя

$$\rho_2 = \rho_{2ВЭЗ}; \quad h_2 = h_{1ВЭЗ} + h_{2ВЭЗ} - h_c.$$

Если  $h_{1ВЭЗ} > h_c$ , для определения приведенных параметров слоев рекомендуются соотношения:

для первого слоя  $\rho_1 = k\rho_{1ВЭЗ}; \quad h_1 = h_c;$

для второго слоя  $\rho_2 = \rho_{1ВЭЗ}; \quad h_2 = h_{1ВЭЗ} - h_c;$

для третьего слоя  $\rho_3 = \rho_{2ВЭЗ}; \quad h_3 = h_{2ВЭЗ}.$

Если в результате приведения к расчетным условиям структура земли насчитывает несколько слоев, ее приводят к двухслойной. Для этого выбирается ориентировочная глубина заложения горизонтальных ( $t$ ) и вертикальных ( $l_v$ ) проводников ЗУ, причем необходимо выбирать длину вертикальных

Т а б л и ц а 7.14

Сезонные коэффициенты  $k$  и толщина слоя сезонных изменений  $h_c$  для приведения к расчетным условиям параметров электрической структуры земли, измеренных методом вертикального электрического зондирования

Климатические зоны	Сезонный коэффициент $k$ при влажности почвы или количестве осадков, выпавших перед измерением			Толщина слоя сезонных изменений $h_c$ , м
	повышенной	средней	пониженной	
I	7,0	4,0	2,7	2,2
II	5,0	2,7	1,9	2,0
III	4,0	2,0	1,5	1,8
IV	2,5	1,4	1,1	1,6

Таблица 7.15

Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли  $\rho_{\text{эк}}/\rho_2$  для расчета сопротивления заземляющих сеток

$\rho_1/\rho_2$	Плотность сетки $h/\sqrt{S}$	Относительное эквивалентное удельное сопротивление при $h/\sqrt{S}$ или $(h-t)/\sqrt{S}$							
		0,00625	0,0125	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	1,0
0,125	4	0,57	0,51	0,45	0,38	0,30	0,24	0,19	0,125
0,125	6	0,64	0,58	0,51	0,44	0,36	0,28	0,21	0,125
0,125	10	0,73	0,64	0,59	0,50	0,41	0,32	0,23	0,125
0,125	18	0,68	0,72	0,64	0,56	0,45	0,35	0,25	0,125
0,25	4	0,67	0,62	0,57	0,51	0,45	0,39	0,33	0,25
0,25	6	0,74	0,69	0,63	0,57	0,50	0,43	0,35	0,25
0,25	10	0,80	0,75	0,69	0,63	0,55	0,46	0,38	0,25
0,25	18	0,85	0,81	0,74	0,58	0,60	0,50	0,40	0,25
0,5	4	0,81	0,77	0,72	0,71	0,66	0,61	0,58	0,5
0,5	6	0,86	0,83	0,79	0,75	0,71	0,66	0,59	0,5
0,5	10	0,90	0,87	0,83	0,80	0,74	0,68	0,61	0,5
0,5	18	0,92	0,89	0,86	0,83	0,77	0,70	0,63	0,5
2,0	4	1,28	1,38	1,45	1,55	1,67	1,73	1,82	2,0
2,0	6	1,23	1,29	1,40	1,43	1,51	1,64	1,72	2,0
2,0	10	1,16	1,20	1,30	1,33	1,45	1,57	1,67	2,0
2,0	18	1,11	1,15	1,19	1,25	1,35	1,46	1,65	2,0
4,0	4	1,88	2,18	2,37	2,56	2,85	3,10	3,40	4,0
4,0	6	1,67	1,92	2,00	2,24	2,48	2,80	5,20	4,0
4,0	10	1,47	1,60	1,70	1,94	2,20	2,50	3,00	4,0
4,0	18	1,27	1,37	1,50	1,70	1,95	2,35	2,85	4,0
8,0	4	3,16	3,88	4,25	4,75	5,30	5,85	6,40	8,0
8,0	6	2,50	2,90	3,40	3,90	4,45	5,20	5,90	8,0
8,0	10	2,06	2,30	2,80	3,14	3,70	4,50	5,50	8,0
8,0	18	1,65	1,85	2,20	2,54	3,16	4,05	5,25	8,0

Таблица 7.16

Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли  $\rho_{\text{эк}}/\rho_2$  для расчета сопротивления заземляющих сеток с вертикальными электродами

$\rho_1/\rho_2$	Относительное расстояние между электродами $a/l$	Относительное эквивалентное удельное сопротивление при $h/l_{\text{в}}$ или $(h-t)l_{\text{в}}$						
		0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,95
0,125	0,5-4	0,95	0,90	0,80	0,70	0,62	0,54	0,52
0,25	0,5-4	0,97	0,93	0,85	0,78	0,71	0,65	0,64
0,5	0,5-4	0,99	0,96	0,92	0,88	0,83	0,79	0,77
2,0	1	1,02	1,03	1,05	1,10	1,15	1,30	1,40
2,0	2	1,03	1,07	1,10	1,13	1,15	1,32	1,50
2,0	4	1,05	1,17	1,13	1,15	1,20	1,38	1,60
5,0	1	1,05	1,10	1,15	1,22	1,35	1,36	2,40
5,0	2	1,22	1,26	1,35	1,43	1,54	2,12	2,70
5,0	4	1,33	1,41	1,50	1,65	1,83	2,60	3,50
10,0	1	1,10	1,19	1,28	1,38	1,62	2,50	3,70
10,0	2	1,30	1,40	1,50	1,60	1,80	2,75	5,50
10,0	4	1,52	1,70	1,88	2,08	2,33	3,52	6,00



электродов пропорционально глубине залегания слоев грунта с высокой проводимостью. За первый эквивалентный слой принимается грунт, в котором размещено ЗУ, т. е. слой, в который проникают вертикальные электроды. Все остальные слои грунта относят ко второму эквивалентному слою. Параметры слоев приближенно определяются по следующим соотношениям:

для первого эквивалентного слоя

$$h_{1э} = h_1 + h_2 + \dots + h_k = l_B + t,$$

где  $h_1, h_2, \dots, h_k$  — толщина слоев, в которые проникают вертикальные электроды, м;

$$\frac{h_{1э}}{\rho_{1э}} = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \dots + \frac{h_k}{\rho_k};$$

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k$  — удельные сопротивления слоев грунта, в которые проникают вертикальные электроды, Ом · м;

для второго эквивалентного слоя

$$h_{2э} = H_n - h_{1э} + 10;$$

$$H_{n-1} = h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1};$$

$$\frac{h_{2э}}{\rho_{2э}} = \frac{h_{k+1}}{\rho_{k+1}} + \frac{h_{k+2}}{\rho_{k+2}} + \dots + \frac{10}{\rho_n},$$

где  $\rho_{k+1}, \dots, \rho_n$  — удельные сопротивления слоев грунта, лежащих ниже вертикальных электродов, Ом · м.

Однако полученные эквивалентные удельные сопротивления двухслойной структуры нельзя использовать непосредственно для расчета сопротивления ЗУ. В самом деле, ЗУ состоят из различного рода заземлителей, занимающих разное положение относительно эквивалентных слоев грунта расчетной двухслойной структуры земли, определяющее их сопротивление. Поэтому для основных видов заземлителей и ЗУ разработаны таблицы и графики, позволяющие определять расчетное эквивалентное удельное сопротивление в зависимости от отношений удельных сопротивлений двухслойной структуры  $\rho_1/\rho_2$  и относительного положения в ней заземлителей.

Для вертикального и горизонтального одиночного заземлителя расчетные эквивалентные удельные сопротивления земли приведены в табл. 7.1, 7.2, для основных видов ЗУ — в табл. 7.15, 7.16.

### 7.3. РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННОГО ЗАЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ВИДЕ ЗАЕМЛЯЮЩЕЙ СЕТКИ

Целью расчета ЗУ является определение их геометрических размеров, позволяющих обеспечить выполнение нормативных требований к ЗУ — нормированное сопротивление стеканию тока либо допустимое напряжение прикосновения на ЗУ.

Конструктивно ЗУ выполняются в виде заземляющих секток и заземляющих сеток с вертикальными электродами. ЗУ в виде горизонтальных полосовых заземлителей, связанных в сетку (рис. 7.4, а), рекомендуется сооружать, если удельное сопротивление грунта увеличивается с увеличением глубины либо если под ЭУ отведены значительные площади, позволяющие разместить заземлитель значительных размеров (более  $100 \times 100 \text{ м}^2$ ). При этом рекомендуется глубина заложения заземлителей 0,5–0,8 м. Сопротивление ЗУ рассчитывается из соотношения

$$R = 0,44 \frac{\rho_{\text{эк}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{эк}}}{L}, \quad (7.5)$$

где  $S$  — площадь заземлителя,  $\text{м}^2$ ;

$L$  — суммарная длина горизонтальных заземлителей, м;

$\rho_{\text{эк}}$  — эквивалентное удельное сопротивление грунта,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ .  
Для однородных электрических структур земли  $\rho_{\text{э}}$  определяется по (7.4), для двухслойной структуры — по табл. 7.16.

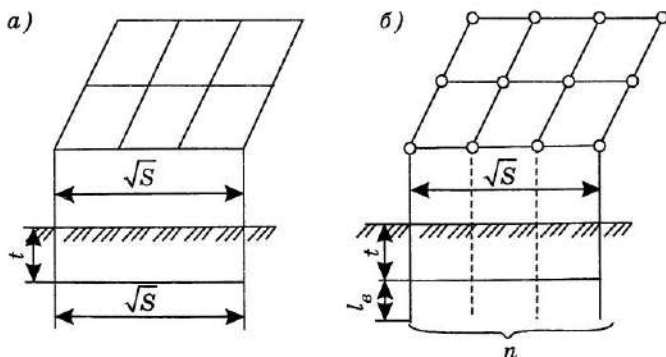


Рис. 7.4. Основные виды заземляющих устройств: а — заземляющая сетка; б — заземляющая сетка с вертикальными электродами

ЗУ в виде сетки с вертикальными электродами (рис. 7.4, б) применяется при небольших площадях, отведенных под заземление, либо при уменьшении удельного сопротивления земли с увеличением глубины. При этом рациональная длина вертикальных электродов зависит от глубины залегания слоя грунта с высокой проводимостью, возможностей механизированного погружения электродов и т. п. Во всех случаях не рекомендуется применение вертикальных электродов длиной менее 5 м. Если же удельное сопротивление верхнего слоя грунта значительно превышает удельное сопротивление нижнего слоя, целесообразно применять длинные вертикальные электроды (до 20 м). В отдельных случаях возможно применение вертикальных электродов длиной до 30 м. Вертикальные электроды размещаются по контуру заземлителя, причем рекомендуется отношение расстояния между электродами к их длине  $a/l_B = 0,5 \div 3$ .

Сопротивление (Ом) заземляющей сетки с вертикальными электродами определяется по формуле

$$R = A \frac{\rho_{\text{ЭК}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{ЭК}}}{L + nl_B}, \quad (7.6)$$

где  $l_B$  — длина вертикального электрода, м;

$n$  — число вертикальных электродов, шт.;

$\rho_{\text{ЭК}}$  — эквивалентное удельное сопротивление, величина которого определяется по (7.4) для однородной структуры и по табл. 7.16 для двухслойной структуры;

$A$  — коэффициент, учитывающий влияние вертикальных электродов:

$l_B / \sqrt{S}$ . . . . .	0,03	0,06	0,12	0,24	0,5
$A$ . . . . .	0,42	0,39	0,36	0,32	0,26

Иногда нормированное сопротивление ЗУ можно обеспечить более простыми конструкциями, например, применением заземляющей полосы с вертикальными электродами в ряд. Сопротивление (Ом) такого заземлителя рассчитывается по формуле:

$$R = 0,366 \delta \frac{\rho_{\text{ЭК}}}{l_T} \lg \frac{l_B}{dt},$$

где  $\delta$  — коэффициент, учитывающий влияние длины вертикальных электродов ( $l_B/l_T$ ) и расстояние между ними ( $a/l_B$ ), находится из рис. 7.5;

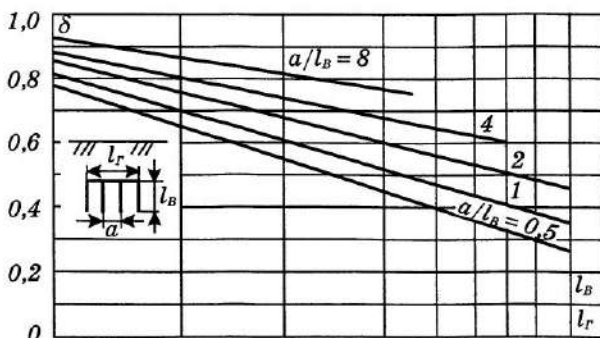


Рис. 7.5. График для определения коэффициента  $\delta$

- $l_r, l_B$  — длина горизонтальных и вертикальных заземлителей, м;  
 $d, t$  — диаметр и глубина заложения горизонтального заземлителя, м;  
 $\rho_{\text{эк}}$  — эквивалентное удельное сопротивление для расчета сопротивления заземляющей полосы с вертикальными электродами в ряд, Ом · м. При измерении  $\rho_{\text{эк}}$  пробным электродом коэффициент сезонности принимается таким же, как и для вертикальных заземлителей. При измерении методом ВЭЗ  $\rho_{\text{эк}}$  определяют по табл. 7.16.

Важным параметром, определяющим сопротивление ЗУ, является площадь ( $S$ ), на которой они размещаются. Как правило, за расчетную принимают площадь, на которой размещена ЭУ. Однако бывают случаи, когда на площади, занимаемой ЭУ, невозможно добиться нормированного сопротивления ЗУ. Поэтому рекомендуется до начала расчета геометрических размеров ЗУ определять минимальную площадь  $S_{\text{min}}$  ( $\text{м}^2$ ), на которой можно разместить искусственный заземлитель с сопротивлением, равным допустимому  $R_{\text{и. доп}}$ :

$$S_{\text{min}} = \left( \frac{\rho_{2\text{э}} B}{R_{\text{и. доп}} T^\beta} \right), \quad (7.7)$$

где  $B, \beta$  — параметры, зависящие от отношения  $\rho_{1\text{э}}/\rho_{2\text{э}}$  (табл. 7.17–7.18);

$$T = 40 \text{ при } 0,5 \leq \rho_{1\text{э}}/\rho_{2\text{э}} \leq 2;$$

$$T = 40 \left( 1 - \frac{h_{1\text{э}} - t}{t_B} \right) \text{ при } 2 \leq \rho_{1\text{э}}/\rho_{2\text{э}} \leq 20.$$

Таблица 7.17

Зависимость параметра  $B$  от  $\rho_1/\rho_2$  и  $h$

$\rho_1/\rho_2$	Значения $B$ при $h$ , м								
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,5	0,104	0,103	0,101	0,100	0,098	0,097	0,095	0,094	0,093
1,0	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149
1,5	0,174	0,175	0,177	0,178	0,180	0,182	0,183	0,185	0,186
2,0	0,194	0,197	0,200	0,203	0,206	0,209	0,212	0,215	0,218
2,5	0,214	0,210	0,205	0,199	0,194	0,188	0,171	0,174	0,166
3,0	0,227	0,223	0,219	0,215	0,209	0,204	0,198	0,191	0,183
3,5	0,233	0,235	0,232	0,228	0,224	0,219	0,213	0,206	0,199
4,0	0,248	0,246	0,244	0,241	0,237	0,232	0,227	0,221	0,210
4,5	0,257	0,256	0,255	0,252	0,249	0,245	0,240	0,235	0,228
5,0	0,266	0,266	0,265	0,263	0,260	0,257	0,253	0,248	0,241
5,5	0,274	0,274	0,273	0,271	0,269	0,265	0,265	0,260	0,254
6,0	0,482	0,283	0,283	0,283	0,282	0,279	0,276	0,272	0,264
6,5	0,289	0,290	0,292	0,292	0,291	0,289	0,287	0,284	0,279
7,0	0,295	0,298	0,300	0,301	0,301	0,300	0,298	0,295	0,290
7,5	0,302	0,305	0,307	0,309	0,310	0,309	0,308	0,305	0,301
8,0	0,308	0,312	0,315	0,317	0,318	0,319	0,317	0,315	0,312
8,5	0,314	0,318	0,322	0,325	0,327	0,328	0,327	0,325	0,322
9,0	0,320	0,324	0,329	0,332	0,335	0,336	0,336	0,335	0,332
9,5	0,991	1,003	1,01	1,03	1,04	1,06	1,06	1,07	1,08
10,0	1,000	1,016	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,09	1,10
10,5	1,020	1,030	1,04	1,06	1,06	1,08	1,10	1,11	1,12
11,0	1,03	1,042	1,06	1,07	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14
11,5	1,04	1,055	1,07	1,03	1,10	1,11	1,13	1,14	1,16
12,0	1,05	1,067	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17
12,5	1,06	1,078	1,09	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19
13,0	1,07	1,090	1,11	1,12	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21
14,0	1,09	1,110	1,13	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24
15,0	1,11	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27
16,0	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,30
17,0	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,26	1,28	1,30	1,32
18,0	1,165	1,19	1,21	1,23	1,26	1,28	1,30	1,33	1,35
19,0	1,180	1,20	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,35	1,37
20,0	1,200	1,22	1,25	1,07	1,30	1,32	1,35	1,37	1,40

Рассмотрим последовательность расчета ЗУ для различных ЭУ.

ЭУ напряжением до 1000 В. При расчете заземляющих устройств ЭУ до 1000 В необходимо обеспечить только выполнение нормы на величину сопротивления, поэтому нет необходимости рассчитывать величину напряжений прикосновения. ЗУ, как правило, размещаются на значительных

Зависимость параметра  $\beta$  от  $\rho_1/\rho_2$  и  $h$ 

$\rho_1/\rho_2$	Значения $B$ при $h, м$								
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,5	0,453	0,446	0,438	0,431	0,424	0,417	0,411	0,404	0,398
1,0	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520
1,5	0,589	0,598	0,606	0,615	0,623	0,632	0,641	0,650	0,659
2,0	0,649	0,660	0,676	0,692	0,709	0,726	0,744	0,762	0,780
2,5	0,706	0,704	0,702	0,699	0,697	0,694	0,691	0,688	0,685
3,0	0,740	0,739	0,738	0,737	0,736	0,734	0,733	0,731	0,729
3,5	0,769	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,769	0,769
4,0	0,796	0,797	0,799	0,800	0,802	0,803	0,804	0,804	0,804
4,5	0,820	0,823	0,825	0,828	0,830	0,833	0,835	0,836	0,838
5,0	0,842	0,846	0,850	0,853	0,857	0,860	0,863	0,866	0,869
5,5	0,863	0,863	0,877	0,877	0,882	0,886	0,890	0,894	0,898
6,0	0,882	0,888	0,894	0,899	0,905	0,910	0,915	0,920	0,925
6,5	0,900	0,907	0,914	0,920	0,926	0,933	0,939	0,945	0,951
7,0	0,917	0,925	0,932	0,940	0,947	0,955	0,962	0,969	0,976
7,5	0,933	0,942	0,950	0,959	0,967	0,975	0,983	0,991	0,999
8,0	0,979	0,958	0,967	0,977	0,986	0,994	1,004	1,01	1,02
8,5	0,963	0,973	0,984	0,994	1,003	1,01	1,02	1,03	1,04
9,0	0,977	0,988	0,999	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06
9,5	0,325	0,331	0,335	0,339	0,348	0,345	0,345	0,345	0,342
10,0	0,330	0,336	0,360	0,346	0,360	0,353	0,354	0,354	0,352
10,5	0,335	0,342	0,366	0,353	0,358	0,361	0,362	0,363	0,361
11,0	0,340	0,348	0,371	0,359	0,365	0,368	0,371	0,371	0,370
11,5	0,345	0,353	0,360	0,366	0,372	0,376	0,379	0,380	0,380
12,0	0,350	0,358	0,366	0,373	0,379	0,383	0,387	0,388	0,388
12,5	0,334	0,363	0,371	0,379	0,385	0,390	0,394	0,397	0,397
13	0,358	0,368	0,377	0,385	0,392	0,398	0,402	0,405	0,406
14	0,367	0,377	0,387	0,396	0,404	0,411	0,417	0,420	0,422
15	0,375	0,386	0,397	0,407	0,416	0,424	0,434	0,436	0,438
16	0,382	0,395	0,407	0,418	0,428	0,437	0,444	0,450	0,454
17	0,390	0,403	0,416	0,428	0,439	0,449	0,458	0,464	0,469
18	0,397	0,411	0,425	0,438	0,450	0,461	0,471	0,478	0,484
19	0,403	0,419	0,433	0,447	0,461	0,473	0,483	0,492	0,496
20	0,410	0,426	0,442	0,457	0,471	0,484	0,495	0,505	0,512

площадях (больше  $100 \times 100 \text{ м}^2$ ), поэтому в большинстве случаев нормированное сопротивление можно обеспечить заземляющими сетками без вертикальных электродов. Исключение составляют ЭУ, размещенные на площадках с удельным сопротивлением наружного слоя, значительно превышающим удельное сопротивление углубленных слоев грунта ( $\rho_1 > 4\rho_2$ ), для которых обеспечить нормированное сопротив-

ление ЗУ можно только посредством вертикальных электродов. Рекомендуются следующая последовательность проектирования:

1) определяется необходимое сопротивление искусственного заземляющего устройства с учетом сопротивления естественных заземлителей, найденного расчетом или измерением:

$$R_{\text{н}} = \frac{R_3 R_e}{R_e - R_3}, \quad (7.8)$$

где  $R_3$  — суммарное сопротивление заземляющего устройства, равное 4 Ом;

$R_e$  — сопротивление естественных заземлителей, Ом;

2) на основании результатов измерения параметров электрической структуры земли и размеров площадки, занимаемой ЗУ, принимается решение о конструктивном выполнении ЗУ. Как правило, за исключением случаев с очень высоким удельным сопротивлением поверхностного слоя грунта, принимается вариант заземляющей сетки;

3) определяются геометрические размеры ЗУ. Размер площади, на которой планируется сооружение заземления, определяется размерами ЗУ. Длина горизонтальных электродов определяется из (7.5):

$$L = \frac{\rho_{\text{ЭК}}}{R_{\text{н}} - 0,44\rho_{\text{ЭК}}/\sqrt{S}}; \quad (7.9)$$

4) составляется эскиз размещения горизонтальных заземлителей сетки с учетом размещения оборудования. Если при этом окажется, что расчетную длину горизонтальных электродов невозможно уложить в размеры площадки (например, при сооружении ЗУ для построенных зданий, когда заземляющую полосу можно размещать только по периметру здания), переходят к варианту ЗУ с вертикальными электродами. Принимая длину заземляющей полосы ( $L'$ ) равной допустимой по условиям размещения на площадке и выбирая длину вертикальных электродов  $l_{\text{в}}$ , рассчитывают их количество из выражения (7.6):

$$n = \frac{\rho_{\text{ЭК}}}{(R_{\text{н}} - A\rho_{\text{ЭК}}/\sqrt{S})l_{\text{в}}} - \frac{L'}{l_{\text{в}}}.$$

Дальнейшего уменьшения сопротивления ЗУ добиваются путем увеличения длины вертикальных электродов.

*ЗУ напряжением выше 1000 В с малыми токами замыкания на землю.* В соответствии с принятыми нормами ЗУ

должно обладать нормированным сопротивлением и обеспечивать выравнивание потенциалов на поверхности земли вблизи ЭУ. Поэтому принимается следующая последовательность расчета:

1) определяют допустимое сопротивление искусственного заземляющего устройства  $R_{\text{и}}$  (аналогично предыдущему случаю);

2) определяют минимальную площадь  $S_{\text{min}}$ , на которой можно разместить ЗУ, обеспечивающее необходимое минимальное сопротивление по формуле (7.7);

3) если  $S_{\text{min}}$  меньше или равно площади, занимаемой ЭУ  $S_0$ , для расчета принимают площадь  $S_0$ . При  $S_{\text{min}} > S_0$  для сооружения ЗУ с заданным сопротивлением площади ЭУ недостаточно, поэтому при дальнейших расчетах исходят из площади  $S_{\text{min}}$ ;

4) в зависимости от параметров электрической структуры грунта выбирают вид ЗУ и рассчитывают его геометрические размеры. В дальнейшем последовательность расчета та же, что и для ЭУ до 1000 В.

*ЭУ напряжением выше 1000 В с большими токами замыкания на землю.* Заземляющие устройства рассчитываются на допустимое по нормам сопротивление или на допустимые напряжение прикосновения и потенциал заземлителя. Рекомендуется, однако, проводить расчет ЗУ на соблюдение той и другой нормы, останавливаясь на экономически наиболее рациональном варианте. Принимается следующая последовательность расчета:

1) проводят расчет искусственного ЗУ по допустимому сопротивлению аналогично ЭУ с малыми токами замыкания на землю. Однако, если при этом искусственный заземлитель с необходимым сопротивлением не размещается на площади, занятой ЭУ ( $S_{\text{min}} > S_0$ ), необходимо проверить его соответствие нормам на допустимое напряжение прикосновения и допустимый потенциал заземлителя по формулам (7.1), (7.2) и (7.3). Если напряжение прикосновения или потенциал заземлителя превышают допустимые нормы, необходимо размещать ЗУ на площади, превышающей площадь ЭУ (т. е. на площади  $S_{\text{min}}$ ). В противном случае (при  $U_{\text{пр}} < U_{\text{пр. доп}}$  и  $\varphi_{\text{з}} \leq \varphi_{\text{з. доп}}$ ) останавливаются на площади  $S_0$ ;

2) уточняют геометрические размеры ЗУ с целью получения оптимального варианта. Для этого в пределах площади  $S_0$  или  $S_{\text{min}}$  принимают конструкцию ЗУ в соответствии с рекомендациями по сооружению. Рассчитывают сопро-



тивление полученного ЗУ, напряжение прикосновения и максимальный потенциал заземлителя. При этом возможны следующие варианты:

а) в результате расчета выясняется, что не удовлетворяется норма на сопротивление и на напряжение прикосновения или на потенциал заземлителя. При этом необходимо добавиться уменьшения сопротивления до величины нормированного увеличением количества и длины вертикальных электродов;

б) сопротивление ЗУ превышает нормированное, однако нормы на напряжение прикосновения и потенциал заземлителя выполняются. Для уменьшения стоимости ЗУ рекомендуется увеличивать расстояние между горизонтальными заземлителями до тех пор, пока напряжение прикосновения или потенциал заземлителя не станут равными допустимому. Полученный вариант ЗУ и будет оптимальным;

в) сопротивление ЗУ удовлетворяет норме, однако напряжение прикосновения и потенциал заземлителя ниже нормированных значений. Рекомендуется увеличивать расстояние между горизонтальными заземлителями (но не более 32 м), пока напряжение прикосновения или потенциал заземлителя не возрастут до нормированного значения. Оставшиеся на полученном варианте, даже если сопротивление заземляющего устройства превысит нормированное.

В практике проектирования ЗУ возможны случаи, когда сопротивление естественных заземлителей удовлетворяет норме для проектируемой ЭУ. При этом искусственное ЗУ сооружается для присоединения оборудования, подлежащего заземлению, а в ЭУ выше 1000 В — и для выравнивания потенциалов. ЗУ выполняются без вертикальных электродов и их сопротивление не рассчитывается.

*Пример.* Рассчитать ЗУ для цеха площадью  $80 \times 80 \text{ м}^2$ , расположенного во II климатической зоне. Удельное электрическое сопротивление грунта, измеренное методом пробного электрода,  $100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . В период, предшествовавший измерению, выпало много осадков. Сопротивление естественных заземлителей по данным измерений составило  $16 \text{ Ом}$ .

Мощность питающего трансформатора  $560 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ ; к заземляющему устройству присоединяется только ЭО до  $1000 \text{ В}$ .

1. Определяем нормированное сопротивление ЗУ:

$$U < 1000 \text{ В}; P > 100 \text{ кВ} \cdot \text{А}; R_3 \leq 4 \text{ Ом}.$$

2. Определяем расчетное эквивалентное удельное сопротивление грунта по (7.5):

$$\rho_{\text{зк}} = \rho_{\text{изм}} k = 100 \times 3,2 = 320 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Значение коэффициента  $k$  выбираем из предположения, что ЗУ будет выполнено из горизонтальных заземлителей.

3. Определяем площадь ЗУ по размерам цеха  $\sqrt{S} = 80$  м.

4. Рассчитываем необходимое сопротивление искусственного заземления по (7.9):

$$R_{\text{н}} = \frac{4 \cdot 16}{16 - 4} = 5,3 \text{ Ом.}$$

5. Выбираем тип ЗУ в виде заземляющей сетки и определяем необходимую длину горизонтальных заземлителей по (7.9):

$$L = \frac{320}{5,3 - 0,44 \frac{320}{80}} = 90 \text{ м.}$$

Следовательно, полосовой заземлитель, уложенный по периметру здания, с избытком удовлетворяет требованиям к сопротивлению ЗУ.

---

#### 7.4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ И ЗАНУЛЯЮЩИХ ПРОВОДНИКОВ

---

Собственное сопротивление заземляющего проводника в диапазоне частот до  $5 \cdot 10^3$  Гц с погрешностью, не превышающей 5 %, Ом/км, определяется по формуле

$$Z = r_a + j\omega \left( L - \frac{\mu}{2} 10^{-4} \right), \quad (7.10)$$

где  $r_a$  — активное сопротивление проводника, Ом/км; в тех случаях, когда в качестве токопроводящих элементов проводника используется медь или алюминий, активное сопротивление принимается равным сопротивлению проводника постоянному току;

$\omega$  — круговая частота,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\mu$  — магнитная проницаемость проводника (для медных и алюминиевых проводников  $\mu = 1$ );

$L$  — коэффициент самоиндукции проводника, Гн/км.

Коэффициент самоиндукции бесконечно длинного проводника, расположенного на высоте  $h$  над поверхностью однородной земли, рассчитывается по формуле

$$L = \left( 2 \ln \frac{2}{\gamma |k| R} + 1 - j \frac{\pi}{2} - \frac{8jkh}{3} \right) 10^{-4}, \quad (7.11)$$

где  $k$  — физический параметр, характеризующий электромагнитные свойства системы ( $k^2 = -4\pi J\omega\sigma$ ); величина  $3/k$  определяет глубину зоны растекания обратного тока в земле, см;

$\sigma$  — удельная проводимость земли в единицах  $\mu_0$  системы СГС; в электромагнитной системе СГС единица удельной проводимости имеет размерность  $\text{с/см}^2$  ( $1 \text{ с/см}^2 = 10^{11} \text{ См/м}$ );

$\gamma$  — постоянная Эйлера ( $\gamma = 1,781$ );

$R$  — расчетный радиус провода, см;

$h$  — высота провода над поверхностью земли, см.

В дальнейшем параметры заземляющих проводников определены для промышленной частоты 50 Гц. В этом случае при расчете самоиндукции проводников последним членом выражения (7.11) можно пренебречь ввиду его малости, и (7.10) запишется в окончательном виде так:

$$Z_k = r_a + 0,05 - j0,144 \left[ 1,42 + \lg(R\sqrt{\sigma}) \right].$$

Значения собственных сопротивлений проводников приведены в табл. 7.19. Данные относятся к сопротивлению земли  $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Входящие в табл. 7.19 величины связаны соотношением

$$Z_0 = r_0 + jx_0 = |Z_0| e^{j\varphi_0}.$$

Т а б л и ц а 7.19

Сопротивление заземляющих проводников

Марка провода	$q, \text{ мм}^2$	$2R, \text{ см}$	$r_0, \text{ Ом/км}$	$x_0, \text{ Ом/км}$	$Z_0, \text{ Ом/км}$	$\varphi_0, \text{ град}$
МФ100	100	1,23	0,229	0,762	0,795	73°15'
МФ85	85	1,13	0,26	0,767	0,81	71°15'
МФ85	72	1,13	0,297	0,767	0,823	68°50'
М120	113	1,4	0,208	0,753	0,782	74°35'
М95	90	1,25	0,25	0,761	0,802	71°50'
АС185	105	1,85	0,22	0,726	0,759	73°10'
АС 120	66	1,52	0,32	0,748	0,813	66°50'
АС 95	54	1,35	0,38	0,756	0,845	63°20'
АС 70	39	1,14	0,51	0,767	0,92	56°25'
ПБСМ1 95	32	1,25	0,613	0,761	0,978	51°05'
ПМСМ2 95	25	1,25	0,754	0,761	1,07	45°15'
ПБСМ1 70	25	1,1	0,781	0,769	1,095	44°35'
А 185	105	1,75	0,22	0,746	0,772	73°25'
А1М	85	1,58	0,26	0,753	0,79	70°45'
А 120	68	1,4	0,32	0,769	0,817	66°55'

П р и м е ч а н и е.  $q$  — сечение проводника в медном эквиваленте;  $R$  — радиус проводника.

Взаимное сопротивление двух заземляющих проводников

$$Z_M = j\omega M, \quad (7.12)$$

где  $M$  — коэффициент взаимной индукции проводников.

Коэффициент взаимной индукции между двумя бесконечно длинными проводниками, расположенными над поверхностью земли, рассчитывается по формуле

$$M = \left[ 2 \ln \frac{2}{\gamma |k| a} + 1 - j \frac{\pi}{2} - \frac{4jk}{3} (h_1 + h_2) \right] 10^{-4}, \quad (7.13)$$

где  $a$  — расстояние между проводниками;  
 $h_1, h_2$  — высоты расположения проводников над поверхностью земли, см.

При расчете коэффициентов взаимоиндукции между заземляющими проводниками последним членом выражения (7.13) ввиду его малости можно пренебречь. Тогда формула (7.12) запишется в виде

$$Z_M = 0,05 - j0,144 \left[ 1,53 + \lg(a\sqrt{\sigma}) \right]. \quad (7.14)$$

Для среднего значения сопротивления земли, равного 100 Ом · м, взаимное сопротивление между заземляющими проводниками ( $a = 130$  см) составляет  $0,34 e^{j81^\circ}$  Ом/км. При изменении сопротивления земли в 10 раз модуль взаимного сопротивления меняется всего лишь на  $\pm 20\%$ , а угол на  $\pm 2^\circ$ . На этом основании во всех дальнейших расчетах, кроме особо оговоренных случаев, взаимные сопротивления относятся к  $\rho = 100$  Ом · м.

Эквивалентное сопротивление пучка проводников может выражаться через собственные и взаимные сопротивления отдельных проводников, образующих пучок. Эквивалентное сопротивление двухпроводной системы, состоящей из двух заземляющих проводников, рассчитывается по формуле

$$Z = \frac{Z_1 Z_2 - Z_{1,2}}{Z_1 + Z_2 - 2Z_{1,2}},$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  — сопротивления первого и второго заземляющего проводника, соответственно;

$Z_{1,2}$  — взаимное сопротивление между проводниками.

Токораспределение между первым и вторым проводниками определяется выражением

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_2 - Z_{1,2}}{Z_1 - Z_{1,2}},$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — токи первого и второго заземляющих проводников.

При большем числе проводников задача определения эквивалентного сопротивления может быть решена последовательной заменой каждых двух проводников эквивалентным. Этот способ дает приемлемую точность при симметричном расположении однородных проводников, образующих систему. Обычно им пользуются при замене рельсов нескольких путей одним эквивалентным рельсом.

*Сопротивление рельсов* (массивных стальных проводников). Эквивалентное сопротивление двух рельсов  $Z_{2p}$  определяется по формуле

$$Z_{2p} = \frac{Z'_p Z''_p - Z_{pa}^2}{Z'_p + Z''_p - 2Z_{pa}},$$

где  $Z'_p$  и  $Z''_p$  — сопротивления первого и второго рельса, соответственно;

$Z_{pa}$  — взаимное сопротивление между рельсами.

Взаимное сопротивление  $Z_{pa}$  можно определить по формуле (7.14), в которой  $a = a_p$  означает расстояние между рельсами. Если  $Z'_p = Z''_p = Z_p$ , то

$$Z_{p1} = \frac{r_{pa}}{2} + 0,05 - j0,144 \left[ 1,53 - 5,2 \frac{r_{pa}}{2} + \lg(\sqrt{Ra_p} \sqrt{\sigma}) \right].$$

Эквивалентное сопротивление рельсов  $n$  путей

$$Z_{pn} = \frac{1}{2^{n-1}} (Z_{p1} + Z_{a1}) + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{1}{2^{n-i}} Z_{ai},$$

где  $Z_{a1}$  — взаимное сопротивление между рельсами первого и второго путей;

$Z_{ai}$  — взаимное сопротивление между эквивалентным рельсом предыдущих путей и рельсами  $i$ -го пути.

Эквивалентное сопротивление четырех рельсов двухпутевого участка

$$Z_{p2} = \frac{r_{pa}}{4} + 0,05 - j0,144 \left[ 1,53 - 5,2 \frac{r_{pa}}{4} + \lg \left( \sqrt[4]{Ra_p a_M^2} \sqrt{\sigma} \right) \right],$$

где  $a_M$  — ширина междупутья.

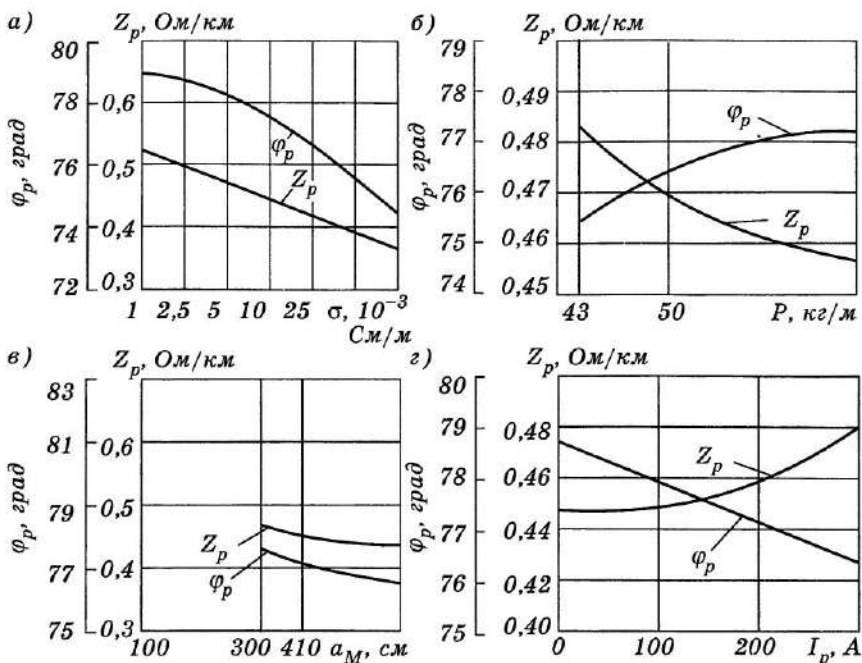


Рис. 7.6. Зависимость сопротивлений рельсов двухпутевого участка  $Z_p$ : а —  $Z_p$  от проводимости земли  $\sigma$ ; б — от погонного веса рельсов  $P$ ; в — от ширины междупутья  $a_M$ ; г — от тока в рельсе  $I_p$

В реальном диапазоне изменения проводимости земли ( $5 \cdot 10^{-3}$ – $30 \cdot 10^{-3}$  См/м) модуль полного сопротивления рельсов отклоняется от среднего значения 0,45, соответствующего  $\sigma = 10 \cdot 10^{-3}$  См/м, на  $\pm 5\%$ , а максимальное отклонение угла  $\varphi_p = \pm 30'$ .

Возможное изменение ширины междупутья (360–500 см) не оказывает заметного влияния на эквивалентное сопротивление рельсов двухпутевого участка. Изменение массы рельсов (43–65 кг/м) также не оказывает заметного влияния на сопротивления рельсов.

В диапазоне изменения тока рельса 0–300 А модуль сопротивления рельсов отклоняется от среднего значения на  $\pm 0,015$ , а максимальное отклонение угла  $\varphi_p \approx 1^\circ$ .

Принимая во внимание сравнительно слабое влияние возможного изменения проводимости земли, ширины междупутья, веса рельса и тока в нем на  $Z_{p2}$ , в расчетах сопротивлений рельсов параметры  $\sigma$ ,  $a_M$ ,  $P$ ,  $I_p$  принимались постоянными и равными:  $\sigma = 10 \cdot 10^{-3}$  См/м,  $a_M = 410$  см,  $P = 65$  кг/м,  $I_p = 200$  А (рис. 7.6).

## 7.5. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА С ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ В НЕОДНОРОДНОЙ ЗЕМЛЕ

Как уже указывалось ранее, ЗУ промышленных предприятий состоят из комбинаций сосредоточенных и протяженных заземлителей. В качестве сосредоточенных заземлителей используются контурные и глубинные заземлители, железобетонные фундаменты производственных зданий, в качестве протяженных заземлителей — рельсовые сети, эстакады и галереи различного назначения.

Рассматривается модель ЗУ, состоящего из комбинаций трех сосредоточенных заземлителей, имеющих сопротивление растеканию  $Z_1, Z_2, Z_3$  соответственно (рис. 7.7). Приняты следующие допущения:

1) сопротивления растеканию  $Z_1, Z_2, Z_3$  не зависят от тока во всем возможном диапазоне его изменения в длительном режиме и при коротком замыкании;

2) взаимные сопротивления между  $i$ -м и  $j$ -м заземлителями

$$Z_{ij} = \frac{\sqrt{\rho_i \rho_j}}{2\pi a_{ij}},$$

где  $\rho_i, \rho_j$  — эквивалентное удельное сопротивление земли на площадках  $i$ -го и  $j$ -го заземлителя, соответственно;

$a_{ij}$  — расстояние между «центрами тяжести»  $i$ -го и  $j$ -го заземлителя.

Общий ток заземляющего устройства

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3.$$

Токи  $I_1, I_2, I_3$  связаны следующими уравнениями:

$$I_1 = \beta (Z_2 - Z_{12}) I_3;$$

$$I_2 = \beta (Z_2 - Z_{12}) I_3;$$

$$\beta = \frac{Z_3 - Z_{13}}{(Z_1 - Z_{13})(Z_2 - Z_{13}) - (Z_{12} - Z_{13})^2},$$

из которых следует

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(Z_2 - Z_{12})}{(Z_1 - Z_{12})}.$$

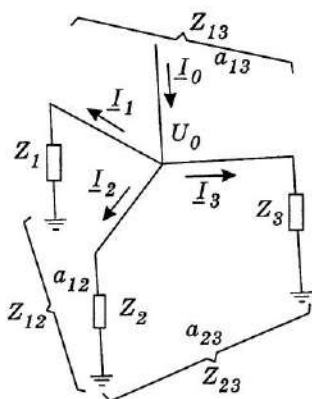


Рис. 7.7. Расчетная схема цепи обратного тока, состоящей из трех сосредоточенных заземлителей

Выражения относительных токов каждого элемента цепи обратного тока:

$$\alpha_1 = K^{-1}(Z_2 - Z_{12})(Z_3 - Z_{13});$$

$$\alpha_2 = K^{-1}(Z_1 - Z_{12})(Z_3 - Z_{13});$$

$$\alpha_3 = K^{-1}[(Z_1 - Z_{13})(Z_2 - Z_{13}) - (Z_{12} - Z_{13})^2],$$

где

$$K = (Z_1 - Z_{13})(Z_2 - Z_{13}) + (Z_3 - Z_{13})(Z_1 + Z_2 - 2Z_{12}) - (Z_{12} - Z_{13})^2;$$

$$\alpha_1 = I_1 / I_0; \quad \alpha_2 = I_2 / I_0; \quad \alpha_3 = I_3 / I_0.$$

Эквивалентное входное сопротивление ЗУ

$$Z_{\text{вх}} = K^{-1}\{(Z_3 - Z_{13})[Z_2(Z_1 - Z_{12}) + Z_{12}(Z_2 - Z_{12})] + Z_{23}[(Z_1 - Z_{13})(Z_2 - Z_{13}) - (Z_{12} - Z_{13})^2]\}.$$

Особенности расчета предельных моделей заземлителей рассмотрены ниже.

*Сложный заземлитель в земле с резко выраженной горизонтальной неоднородностью.* Сложный заземлитель в общем случае может состоять из комбинации контурных и скважинных заземлителей. Приняты следующие допущения:

1) имеющая место горизонтальная неоднородность земли позволяет разбить сложный заземлитель на отдельные части, в пределах каждой из которых можно пренебречь горизонтальной неоднородностью;

2) сопротивление растеканию каждой составной части заземлителя не зависит от тока во всем возможном диапазоне его изменения в длительных режимах и при коротких замыканиях;

3) взаимное сопротивление между отдельными частями сложного заземлителя определяется выражением

$$R_{ij} = \frac{\sqrt{\rho_i \rho_j}}{2\pi a_{ij}},$$

где  $\rho_i, \rho_j$  — эквивалентные удельные сопротивления земли  $i$ -й и  $j$ -й частей сложного заземлителя;

$a_{ij}$  — расстояние между «центрами тяжести»  $i$ -й и  $j$ -й частей сложного заземлителя;

4) взаимное сопротивление  $R_{13}$  равно взаимному сопротивлению  $R_{23}$ .



Введены следующие обозначения:  $R_1, R_2, R_3$  — сопротивления растеканию 1–3-го заземлителей, соответственно;  $I_1, I_2, I_3$  — токи, стекающие в землю 1–3-го заземлителей, соответственно;  $R_{12}, R_{13}, R_{23}$  — взаимные сопротивления между 1–2, 1–3, 2–3-м заземлителями, соответственно.

Соответствующая принятым допущениям модель сложного заземлителя в земле с резко выраженной горизонтальной неоднородностью представлена на рис. 7.8.

Общий ток, стекающий с заземлителя, равен

$$I_1 = \sum_{j=1}^3 I_j.$$

Сопротивление растеканию сложного заземлителя

$$Z_1 = M^{-1} \{ (R_3 - R_{13}) [R_2(R_1 - R_{12}) + R_{12}(R_2 - R_{12})] + \\ + R_{23} [(R_1 - R_{13})(R_2 - R_{13}) - (R_{12} - R_{13})^2] \},$$

где

$$M = (R_1 - R_{12})(R_2 - R_{13}) + (R_3 - R_{13})(R_1 + R_2 - 2R_{12}) - \\ - (R_{12} - R_{13})^2.$$

Токи каждой части сложного заземлителя определяются выражениями

$$I'_1 = M^{-1} (R_2 - R_{12})(R_3 - R_{13}) I_1;$$

$$I''_1 = M^{-1} (R_1 - R_{12})(R_3 - R_{13}) I_1;$$

$$I'''_1 = M^{-1} [(R_1 - R_{13})(R_2 - R_{13}) - (R_{12} - R_{13})^2] I_1.$$

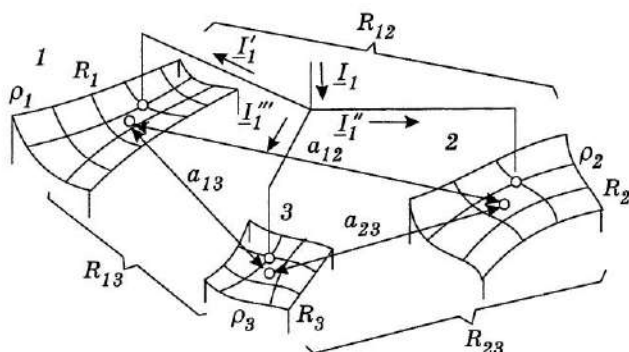


Рис. 7.8. Расчетная схема сложного заземлителя в земле с резко выраженной горизонтальной неоднородностью

Отметим, что даже при отсутствии скважинных заземлителей сопротивления  $R_1, R_2, R_3$  и  $Z_1$  являются комплексными величинами, что обусловлено влиянием собственного продольного сопротивления полос сетки.

*Контурный заземлитель в двухслойной земле.* Приняты следующие допущения:

1) земля, в которой расположен заземлитель, является идеальным бесконечным полупространством, состоящим из двух слоев; толщина верхнего слоя  $h_1$  конечна, нижний слой имеет неограниченную мощность ( $h_2 = \infty$ ); в пределах каждого слоя удельное сопротивление земли постоянно и равно  $\rho_1$  и  $\rho_2$  соответственно; поверхность земли и граница раздела между слоями горизонтальны;

2) контурный заземлитель, образованный из горизонтальных полос и вертикальных электродов, целиком расположен в верхнем слое земли;

3) продольное сопротивление полос и вертикальных электродов переменному току частотой 50 Гц пренебрежимо мало.

Кроме того, сохраняется силу допущение, сформулированное ранее.

Расчетная модель контурного заземлителя в двухслойной земле, соответствующая принятым допущениям, представлена на рис. 7.9.

Сопротивление растеканию контурного заземлителя (рис. 7.9)

$$R = 0,52\rho_{\text{эк}} / \sqrt{S},$$

где  $\rho_{\text{эк}}$  — эквивалентное удельное электрическое сопротивление двухслойной земли.

Для определения  $\rho_{\text{эк}}$  Р. Н. Карякиным и В. И. Солнцевым в 1975 г. была предложена эвристическая формула

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_1(1 - e^{-\alpha h / \sqrt{S}}) + \rho_2(1 - e^{-\beta \sqrt{S} / h}), \quad (7.15)$$

где  $\alpha, \beta$  — безразмерные коэффициенты.

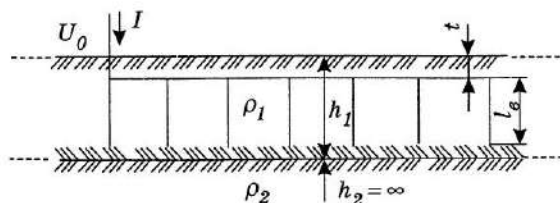


Рис. 7.9. Расчетная схема контурного заземлителя в двухслойной земле (поперечный разрез)

Эвристическое выражение (7.15) моделирует процесс формирования  $\rho_3$  в двухслойной земле с учетом влияния параметра  $\Delta = h/\sqrt{S}$ . Если  $\Delta \rightarrow 0$ , то  $\rho_{\text{эк}} \rightarrow \rho_2$ ; если  $\Delta \rightarrow \infty$ , то  $\rho_{\text{эк}} \rightarrow \rho_1$ .

Предельное значение (7.15) при  $\rho_1 = \rho_2 = \rho_{\text{эк}}$

$$e^{-\alpha\Delta} + e^{-\beta/\Delta} = 1.$$

Для условия  $\rho_1 > \rho_2$

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_1(1 - e^{-3,7\Delta}) + \rho_2(1 - e^{-\beta'_i/\Delta}), \quad (7.16)$$

где  $\beta'_i = -2,3\Delta \lg(1 - e^{-3,7\Delta})$ ;

для условия  $\rho_1 < \rho_2$

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_1(1 - e^{-84\Delta}) + \rho_2(1 - e^{-\beta''_i/\Delta}), \quad (7.17)$$

где  $\beta''_i = -2,3\Delta \lg(1 - e^{-84\Delta})$ .

Ошибка расчета сопротивления растеканию при вычислении  $\rho_{\text{эк}}$  по (7.16)—(7.17) не превышает 30 % при доверительной вероятности, равной 0,999.

*Контурный заземлитель в многослойной земле.* Приняты следующие допущения:

1) земля, в которой расположен заземлитель, является идеальным бесконечным полупространством, состоящим из произвольного числа слоев. Толщины каждого из  $n-1$  слоя конечны. Подстилающий  $n$ -й слой имеет неограниченную мощность ( $h_n = \infty$ ). В пределах каждого  $i$ -го слоя удельное сопротивление земли постоянно и равно  $\rho_i$ . Поверхность земли и границы раздела между слоями горизонтальны;

2) сопротивление растеканию рассматриваемого контурного заземлителя с погрешностью, не превышающей 20 %, равно сопротивлению растекания полусферического заземлителя в многослойной земле, в которой поверхности раздела слоев образованы полусферами с радиусами, равными глубинам расположения поверхностей раздела горизонтальных слоев, а удельные сопротивления слоев земли, образованных полусферами, равны удельным сопротивлениям соответствующих горизонтальных слоев земли. Радиус эквивалентного полусферического заземлителя  $r_0$ , найденный из условия равенства сопротивления растеканию контурного заземлителя сопротивлению растеканию полусферического заземлителя в однородной земле

$$R = \rho/(2\pi r_0),$$

определяется выражением

$$r_0 = 0,307\sqrt{S}.$$

Расчетная модель эквивалентного полусферического заземлителя в  $n$ -слойной земле представлена на рис. 7.10.

Для рассматриваемых условий сопротивление растеканию сферического заземлителя

$$R = \frac{1}{2\pi} \left[ \rho_n \frac{1}{r + \sum_{i=1}^{i-1} h_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \rho_i \frac{h_i}{(r + \sum_{j=1}^{i-1} h_j)(r + \sum_{k=1}^i h_k)} \right]. \quad (7.18)$$

Под эквивалентным удельным сопротивлением неоднородной многослойной земли с полусферическими поверхностями раздела  $\rho_{\text{эк}}$  понимают такое удельное сопротивление однородной земли, при котором рассматриваемый полусферический заземлитель будет иметь то же сопротивление растеканию  $R$ , определяемое по (7.18):

$$R = \rho_{\text{эк}} / (2\pi r_0),$$

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_n \left[ \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n-1} \eta_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\rho_i \eta_i}{\rho_n (1 + \sum_{j=1}^{i-1} \eta_j)(1 + \sum_{k=1}^i \eta_k)} \right];$$

$$\eta_i = h_i / r_0.$$

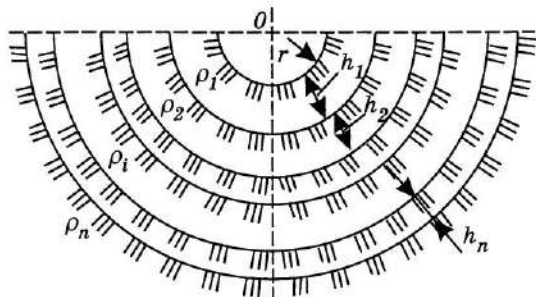


Рис. 7.10. Расчетная схема эквивалентного полусферического заземлителя в  $n$ -слойной земле

Применительно к двухслойной горизонтальной структуре

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_2 \left( \frac{1}{1 + \eta} + \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{\eta}{1 + \eta} \right),$$

где  $\eta = 3,26 / \sqrt{S}$ .

*Контурный заземлитель в земле с непрерывным изменением удельного сопротивления по глубине.* Приняты следующие допущения:

1) земля, в которой расположен заземлитель, является идеальным бесконечным полупространством, удельное сопротивление которого изменяется в зависимости от глубины погружения в грунт

$$\rho = \rho_0 e^{-kz},$$

где  $\rho_0$  — удельное сопротивление земли на ее поверхности;  
 $k$  — вещественное положительное число, характеризующее скорость изменения удельного сопротивления по глубине в направлении вертикальной оси  $z$ .

Поверхность земли горизонтальна;

2) сопротивление растеканию рассматриваемого контурного заземлителя с погрешностью, не превышающей 20 %, равно сопротивлению растекания полусферического заземлителя в идеальном бесконечном полупространстве, удельное сопротивление которого изменяется в радиальном направлении по закону

$$\rho_r = \rho_0 e^{-kr},$$

где  $\rho_0$  — удельное сопротивление земли на границе с полусферическим заземлителем ( $r = r_0$ );

$r$  — радиус—вектор, характеризующий рассматриваемую точку идеального бесконечного полупространства.

Радиус полусферического заземлителя

$$r_0 = 0,307\sqrt{S}.$$

Расчетная модель эквивалентного полусферического заземлителя для рассматриваемых условий представлена на рис. 7.11. Из рисунка следует, что

$$R = \frac{\rho_0}{2\pi} \left[ \frac{e^{-kr_0}}{r_0} + kE_i(-kr_0) \right],$$

где  $E_i(-kr_0)$  — интегральная показательная функция [27].

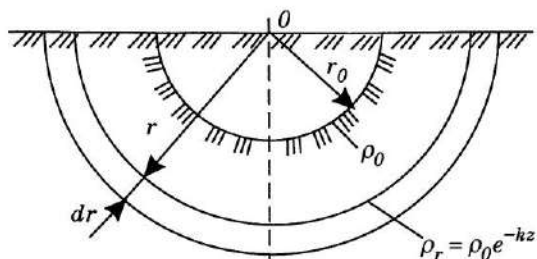


Рис. 7.11. Расчетная схема эквивалентного полусферического заземлителя при непрерывном изменении удельного сопротивления земли по глубине

Выражение эквивалентного удельного сопротивления для рассматриваемой задачи

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_0 \left[ e^{-kr_0} + kr_0 E_i(-kr_0) \right]. \quad (7.19)$$

*Пример.* Пусть  $\sqrt{S} = 100$  м,  $k = 100^{-2}$  м $^{-1}$ . Тогда находим  $r_0 = 30,7$  м. Подставляя значения  $k$  и  $r_0$  в (7.19), получаем

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_0 \left[ e^{-0,307} + 0,307 E_i(-0,307) \right].$$

После подстановки значения  $E_i(-0,307) = -0,887$  [40] находим  $\rho_{\text{эк}} = 0,463 \rho_0$ .

*Скважинный неоднородный заземлитель в многослойной земле.* Приняты следующие допущения:

1) земля, в которой расположен заземлитель, является идеальным бесконечным полупространством, состоящим из произвольного числа слоев. Толщина каждого из  $n-1$  слоя конечна. Подстилающий  $n$ -й слой имеет неограниченную мощность ( $h_n = \infty$ ). В пределах каждого  $i$ -го слоя удельное сопротивление земли постоянно и равно  $\rho_i$ . Поверхность земли и границы раздела между слоями горизонтальны;

2) труба, образующая скважинный заземлитель, может быть разбита на конечное число  $m$  отдельных частей, в пределах каждой из которых можно пренебречь неоднородностью ее электрических параметров — про-

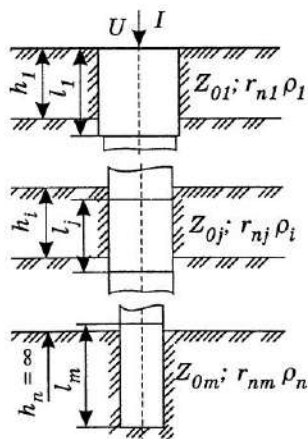


Рис. 7.12. Расчетная схема неоднородного скважинного заземлителя в многослойной земле

дольным сопротивлением  $Z_{0j}$  и переходным сопротивлением  $r_{nj}$ ;

3) электрические сопротивления скважинного заземлителя  $Z_{0j}$  и  $r_{nj}$  не зависят от тока во всем возможном диапазоне его изменения в длительных режимах и при коротких замыканиях.

Расчетная модель скважинного заземлителя для рассматриваемых условий представлена на рис. 7.12.

Входное сопротивление скважинного заземлителя определяется выражением

$$Z_{\text{вх}1} = Z_{\text{в}1} \frac{Z_{\text{вх}2} + Z_{\text{в}1} \text{th} \gamma_1 l_1}{Z_{\text{в}1} + Z_{\text{вх}2} \text{th} \gamma_1 l_1};$$

$$Z_{\text{вх}2} = Z_{\text{в}2} \frac{Z_{\text{вх}3} + Z_{\text{в}2} \text{th} \gamma_2 l_2}{Z_{\text{в}2} + Z_{\text{вх}3} \text{th} \gamma_2 l_2};$$

.....

$$Z_{\text{вх}j} = Z_{\text{в}j} \frac{Z_{\text{вх}(j+1)} + Z_{\text{в}j} \text{th} \gamma_j l_j}{Z_{\text{в}j} + Z_{\text{вх}(j+1)} \text{th} \gamma_j l_j};$$

.....

$$Z_{\text{вх}m} = Z_{\text{в}m} \text{cth} \gamma_m l_m;$$

где

$$Z_{\text{в}j} = \sqrt{Z_{0j} j r_{nj}};$$

$$\gamma_j = \sqrt{Z_{0j} / r_{nj}}.$$

Продольное сопротивление  $j$ -го участка трубы  $Z_{0j}$  определяется выражением (7.20), в котором следует принять  $\varphi = 2\pi$ ;  $\rho = \rho_j$ ;  $R_T = a_j$ , где  $a_j$  — наружный радиус трубы.

Переходное сопротивление  $j$ -го участка трубы  $r_{nj}$  определяется выражением (7.21), в котором следует принять  $\rho = \rho_j/2$ ;  $a = a_j$ ;  $\gamma = \gamma_j$ ;

$$Z = r_0 + \pi^2 f \cdot 10^{-4} - 29 \cdot 10^{-4} f \lg \frac{0,316}{R_T} \sqrt{\frac{\rho \cdot 10^{11}}{\varphi}}; \quad (7.20)$$

$$r_n = \frac{\rho}{\pi} \ln \frac{1,12}{a\gamma}. \quad (7.21)$$

Достаточно часто на практике в качестве естественных заземлителей используются строительные конструкции, при этом сооружения искусственного ЗУ не требуется.

Распространенной практикой является использование в качестве естественных заземлителей строительных конструкций. Рассмотрим способы их расчета.

*Расчет сопротивления растеканию строительных конструкций производственного здания.* Сопротивление растеканию железобетонных фундаментов производственного здания [26]

$$R = 0,52 \frac{\rho_{\text{эк}}}{\sqrt{S}}, \quad (7.22)$$

где  $S$  — площадь, ограниченная периметром здания,  $\text{м}^2$ ;

$\rho_{\text{эк}}$  — эквивалентное удельное электрическое сопротивление земли,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ .

Для расчета  $\rho_{\text{эк}}$  следует использовать формулу

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_1 \left(1 - e^{-\alpha h / \sqrt{S}}\right) + \rho_2 \left(1 - e^{-\beta \sqrt{S} / h}\right), \quad (7.23)$$

где  $\rho_1$  — удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;

$\rho_2$  — удельное электрическое сопротивление нижнего слоя земли,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;

$h$  — мощность (толщина) верхнего слоя земли;

$\alpha, \beta$  — безразмерные коэффициенты, зависящие от соотношения удельных электрических сопротивлений слоев земли:

если  $\rho_1 > \rho_2$ , то  $\alpha = 3,6$ ,  $\beta = 0,1$ ;

если  $\rho_1 < \rho_2$ , то  $\alpha = 1,1 \cdot 10^2$ ,  $\beta = 0,3 \cdot 10^{-2}$ .

Удельные электрические сопротивления  $\rho_1, \rho_2$  и мощность  $h$  верхнего слоя определяют по результатам ВЭЗ или по данным геологических изысканий. Многослойную структуру земли приводят к двухслойной. Под верхним слоем следует понимать слой земли, удельное сопротивление которого более чем в 2 раза отличается от удельного электрического сопротивления нижнего слоя.

По данным  $\rho_1, \rho_2, h, \sqrt{S}$  и по формуле (7.23) или по номограмме рис. 7.13 определяется  $\rho_{\text{эк}}$ . При отсутствии сведений об удельном электрическом сопротивлении слоев земли допустимо пользоваться данными табл. 7.10.



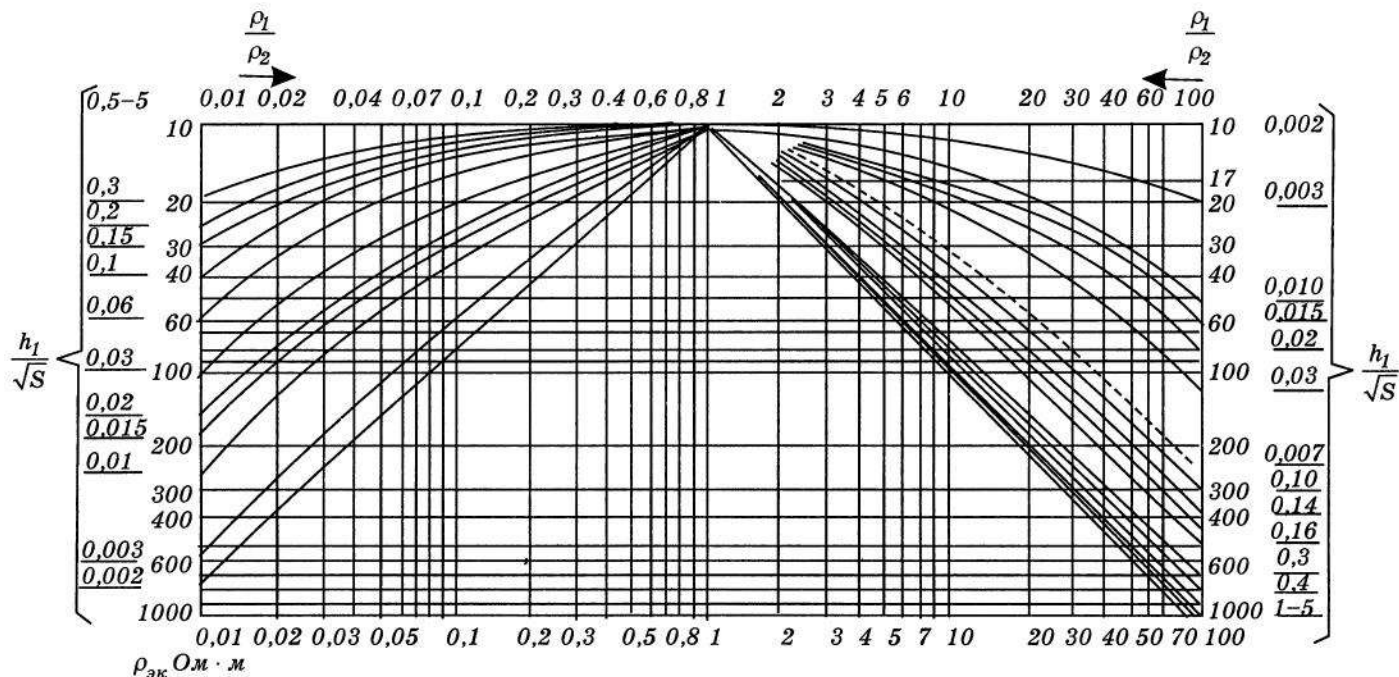


Рис. 7.13. Зависимость эквивалентного электрического сопротивления двухслойной земли от  $\rho_1/\rho_2$  и  $h_1/\sqrt{S}$ :

$\rho_1$  — электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом · м;  $\rho_2$  — электрическое сопротивление подстилающего слоя земли, Ом · м;  
 $h_1$  — толщина верхнего слоя земли, м;  $S$  — площадь нулевого цикла здания, м<sup>2</sup>

Для оценки возможности использования железобетонных конструкций зданий в качестве ЗУ можно воспользоваться следующими соотношениями:

а) в ЭУ напряжением выше 1000 В с заземленной нейтралью, расположенных внутри здания или примыкающих к промышленному зданию с железобетонными фундаментами, следует использовать эти фундаменты в качестве заземлителей, если выполняется соотношение

$$\sqrt{S} \geq K_1 \rho,$$

где  $K_1$  — коэффициент, значения которого даны ниже в зависимости от удельного сопротивления грунта ( $\rho_{\text{эк}}$ ):

Значения удельного электрического сопротивления земли  $\rho_{\text{эк}}$ , Ом·м

.....	$\rho_{\text{эк}} \leq 5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2 < \rho_{\text{эк}} < 5 \cdot 10^3$	$\rho_{\text{эк}} \geq 5 \cdot 10^3$
Значения $K_1$ .....	1	$500/\rho_{\text{эк}}$	0,1

При выполнении указанного выше неравенства сопротивление заземляющего устройства будет не более нормированных значений [42];

б) в ЭУ напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью, расположенных внутри промышленного здания с железобетонными фундаментами или примыкающих к нему, следует использовать эти фундаменты в качестве заземлителей, одновременно использующихся для ЭУ напряжением до 1000 В, без сооружения искусственных заземлителей, если выполняется соотношение

$$\sqrt{S} \geq \rho_{\text{эк}} I K_2,$$

где  $I$  — расчетный ток замыкания на землю, А;

$$K_2 = 2 \cdot 10^{-3} B^{-1}.$$

Сопротивление растеканию таких ЗУ будет не более требуемых ПУЭ;

в) в ЭУ напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью, расположенных внутри промышленного здания или примыкающих к зданию с железобетонными фундаментами, следует использовать железобетонные фундаменты в качестве заземлителей, если выполняется соотношение

$$S > S_0, \quad (7.24)$$

где  $S_0$  — критический параметр, значения которого в зависимости от линейного напряжения ЭУ и эквива-

лентного удельного электрического сопротивления земли приведены в табл. 7.20.

При соблюдении этих соотношений выполняются требования ПУЭ.

Если производственное здание имеет металлические колонны и необходимо определить возможность использования анкерных болтов в качестве заземлителей без их приварки к арматуре фундамента, расчет выполняется в следующей последовательности.

Сопротивление растеканию ЗУ

$$R = C \frac{\rho_{\text{ЭК}}}{\sqrt{S}},$$

где  $C$  — коэффициент, определяемый по формуле

$$C = \frac{\sqrt{S}}{2\pi l N} \left[ \ln \frac{8l}{D} - 1 + \frac{2kl}{\sqrt{S}} (\sqrt{N} - 1)^2 \right];$$

$S$  — площадь фундаментного поля;

$N$  — число фундаментов;

$l$  — длина анкерного болта;

$k = 1,37$  — безразмерный эмпирический коэффициент;

$D$  — эквивалентный диаметр анкерного болта, при котором его сопротивление равно сумме сопротивлений всех анкерных болтов  $\sum R_{\text{б}}$ ,

$$D = \frac{4l}{\exp\left(\frac{2\pi l \sum R_{\text{б}}}{\rho_{\text{ЭК}}}\right)}.$$

Суммарное сопротивление анкерных болтов

$$\sum R_{\text{б}} = \frac{1}{n_{\text{б}}} \left( \frac{\rho_1}{2\pi l} \ln \frac{n_{\text{б}}}{d_{\text{к}}} + \frac{\rho_1}{4\pi l} \ln k_{\text{п}} \right),$$

где  $k_{1i} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times \dots \times k_i$  — коэффициент, учитывающий взаимное влияние анкерных болтов,

Т а б л и ц а 7.20

Значения критического параметра  $S_0$

Удельное эквивалентное сопротивление земли $\rho_{\text{ЭК}}, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	Линейное напряжение, В		
	220	380	660
$\rho_{\text{ЭК}} \leq 10^3$	36	156	625
$\rho_{\text{ЭК}} > 10^3$	$0,36 \cdot 10^{-4} \rho_{\text{ЭК}}^2$	$1,56 \cdot 10^{-4} \rho_{\text{ЭК}}^2$	$6,25 \cdot 10^{-4} \rho_{\text{ЭК}}^2$

$$k_i = \frac{\sqrt{x_i^2 + l^2} + l}{\sqrt{x_i^2 + l^2} - l}.$$

Здесь  $x_i$  — расстояние между анкерными болтами;

$d_k$  — кажущийся диаметр электрода в земле, если бы роль электрода выполнял болт,

$$d_k = \frac{4l}{\exp\left(\frac{2\pi l R_6}{\rho_{\text{ЭК}}}\right)}.$$

Сопротивление анкерного болта

$$R_6 = \frac{\rho_6}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d_6} - \frac{\rho_6}{2\pi l} \ln \frac{4l}{D_6} + \frac{\rho_1}{2\pi l} \ln \frac{4l}{D_6},$$

где  $d_6$  — диаметр анкерного болта;

$D_6$  — диаметр анкерного болта вместе с наименьшим защитным слоем бетона.

*Расчет необходимости устройства выравнивающих полюсов для ЭУ напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью.* В ЭУ от 110 до 500 кВ не требуется прокладка выравнивающих проводников, в том числе у входов и въездов, кроме мест расположения нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей, вентильных разрядников и молниеотводов, если выполняется условие

$$I_{\text{кз}} \leq (5,4 + 7 \cdot 10^{-3} \rho_1) \frac{\sqrt{S}}{\rho_{\text{ЭК}}},$$

где  $I_{\text{кз}}$  — расчетный ток однофазного замыкания, стекающий в землю с фундаментов здания, кА.

*Расчет входного сопротивления эстакады.* Анализ конструктивного исполнения эстакад, а также проведенные расчеты показали, что все эстакады можно разделить на три группы в зависимости от значения продольного сопротивления, каждому из которых соответствует свое семейство кривых для определения входного сопротивления: технологические эстакады, на которых проложены:

- 1) одна или две трубы ( $Z_0 = 1,5$  Ом/км);
- 2) три или четыре трубы ( $Z_0 = 0,75$  Ом/км);
- 3) пять и более труб, а также кабельные галереи ( $Z_0 = 0,5$  Ом/км).

Переходное сопротивление эстакады определяется согласно [34] по формуле, Ом · км:

$$R_{\text{П}} = (R_0 a + 1,5 \rho_{\text{ЭК}}) \cdot 10^{-3}, \quad (7.25)$$

где  $R_0$  — сопротивление растеканию тока одного фундамента опоры;

$a$  — расстояние между соседними опорами;

$\rho_{\text{эк}}$  — эквивалентное удельное электрическое сопротивление земли.

Сопротивление растеканию тока одного фундамента опоры зависит от соотношения между его наибольшим горизонтальным размером  $D$  и глубиной заложения  $l$ :

если  $D < l$ , то

$$R_0 \approx \rho_{\text{эк}} / l, \quad (7.26)$$

если  $D \geq l$ , то

$$R_0 \approx 0,3\rho_{\text{эк}} / D.$$

Эквивалентное удельное электрическое сопротивление земли

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_1 \left(1 - e^{-\alpha h / L}\right) + \rho_2 \left(1 - e^{-\beta L / h}\right),$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  — удельные сопротивления верхнего и подстилающего слоев двухслойной земли, соответственно;

$\alpha$  и  $\beta$  — безразмерные коэффициенты;

$h$  — мощность верхнего слоя земли.

При  $\rho_1 > \rho_2$   $\alpha = 6,2$ ,  $\beta = 5,7 \cdot 10^{-2}$ ; при  $\rho_1 < \rho_2$   $\alpha = 3,5 \cdot 10^{-2}$ ,  $\beta = 0,1 \cdot 10^{-2}$ .

Семейства кривых  $Z_{\text{вх}} = f(L)$  параметра  $R_{\text{п}}$  для объектов с продольными сопротивлениями  $Z_0 = 1,5$ ;  $0,75$  и  $0,5$  Ом/км, соответственно, приведены на рис. 7.14. Для эстакады, на которой проложено более пяти труб и которая имеет продольное сопротивление  $0,5$  Ом/км, переходное сопротивление  $0,48$  Ом·км и длину  $3,7$  км, получаем входное сопротивление, равное  $0,48$  Ом.

Проведенные расчеты показали, что эстакады всех назначений можно применять в качестве ЗУ во всех климатических зонах РФ, включая зону многолетнемерзлых грунтов, при условии, что они расположены на неагрессивных и слабоагрессивных грунтах.

Расчет числа железобетонных опор в группе, арматура которых должна иметь металлическое соединение с арматурой траверс, балок и фундаментов, проводится в следующей последовательности.

1. Число железобетонных опор  $N$ , арматура которых должна иметь металлическое соединение с арматурой траверс,

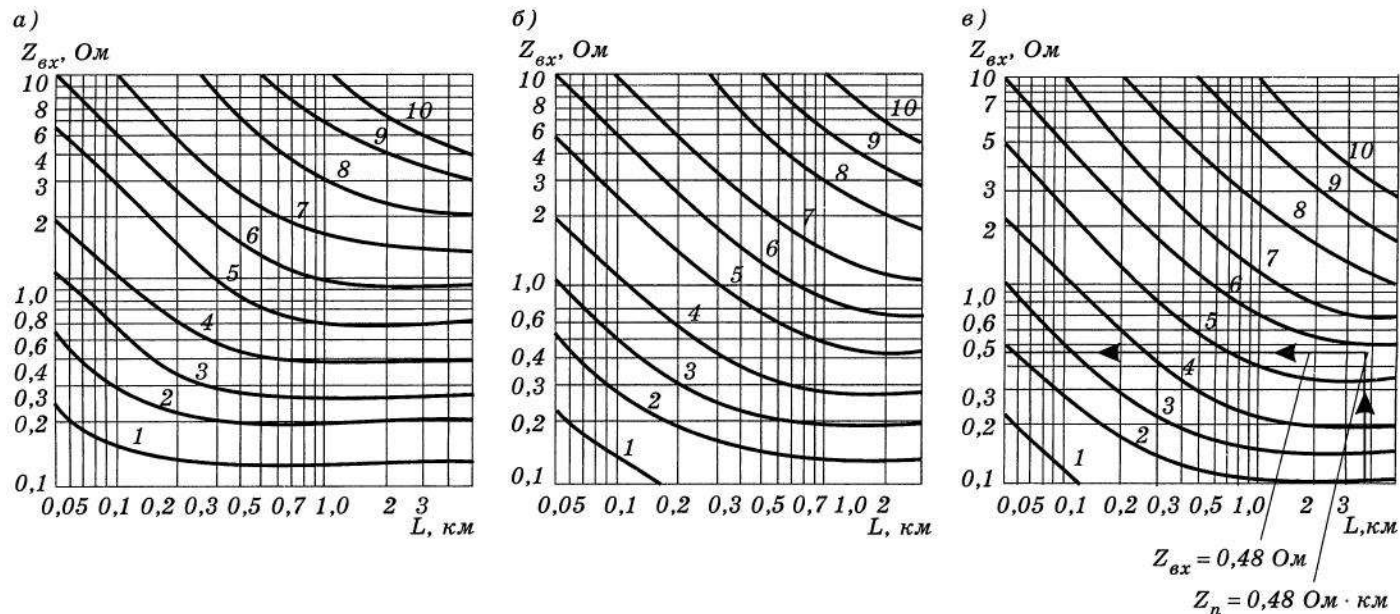


Рис. 7.14. Входное сопротивление технологической эстакады, на которой проложено: а — не более двух стальных труб ( $Z_0 = 1,5 \text{ Ом/км}$ ;  $R_{II} = 10 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ); б — три или четыре трубы ( $Z_0 = 0,75 \text{ Ом/км}$ ;  $R_{II} = 10 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ); в — пять и более стальных труб ( $Z_0 = 0,5 \text{ Ом/км}$ ;  $R_{II} = 10 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ):

1 —  $0,001 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ; 2 —  $0,0025 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ; 3 —  $0,05 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ; 4 —  $0,1 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ; 5 —  $0,25 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ; 6 —  $0,5 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ; 7 —  $1 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ; 8 —  $2,5 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ; 9 —  $5 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ ; 10 —  $10 \text{ Ом} \cdot \text{км}$

балок и фундаментов в целях молниезащиты и защиты от статического электричества, определяется из соотношения

$$N \geq L' / a, \quad (7.27)$$

где  $a$  — шаг опор эстакады, м;

$L'$  — длина участка железобетонной эстакады, арматура опор которого должна иметь указанное выше металлическое соединение.

Значение  $L'$  определяется из соотношения

$$L' \geq r_{\Pi} / [R_{\Pi}],$$

где  $[R_{\Pi}]$  — нормируемое значение сопротивления заземляющего устройства, в качестве которого используется эстакада. Это значение удовлетворяет требованиям пп. 2.126, 2.20, 2.27, 2.33 СН 305–77, а также п. 11.2.1 «Правил защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности».

2. Число железобетонных опор в грунте, арматура которых должна иметь металлическое соединение с арматурой траверс и балок в эстакадах, используемых для защитного заземления, определяется из соотношения (7.28).

Значение  $Z_{\text{вх}}$  определяется по рис. 7.14 с учетом входного сопротивления, которое должно удовлетворять требованиям ПУЭ к сопротивлению ЗУ, и значений переходного  $R_{\Pi}$  и продольного  $R_0$  сопротивлений.

*Совместное использование железобетонных фундаментов зданий и эстакады в качестве заземлителей.* При совместном использовании железобетонных фундаментов производственного здания и эстакады в качестве естественных заземлителей ЭУ не требуется сооружение искусственных заземлителей, если выполняется соотношение

$$\frac{R_{\Phi} |Z_{\text{вх}}|}{R_{\Phi} + |Z_{\text{вх}}|} \leq [R_{\Pi}],$$

где  $|Z_{\text{вх}}|$  — модуль входного сопротивления эстакады, Ом;

$R_{\Phi}$  — сопротивление растеканию железобетонных фундаментов производственного здания, Ом;

$[R_{\Pi}]$  — нормированное значение сопротивления ЗУ рассматриваемой ЭУ, определяемое требованиями ПУЭ, Ом.

Сопротивление растеканию железобетонных фундаментов здания определяется выражением

$$R_{\phi} = (0,52\rho_{\text{эк}}) / \sqrt{S},$$

где  $\rho_{\text{эк}}$  — эквивалентное удельное сопротивление земли фундаментного поля здания, Ом · м;

$S$  — площадь фундаментного поля, м<sup>2</sup>.

Номограмма для определения  $\rho_{\text{эк}}$  дана на рис. 7.13.

При совместном использовании железобетонных фундаментов здания и эстакады в качестве заземлителей ЭУ напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью возможен отказ от прокладки заземлителей для выравнивания потенциалов. Условие, при котором это возможно на территории, занятой ЭО (в том числе у входов и въездов, кроме мест расположения заземляемых нейтралей трансформаторов, короткозамыкателей, вентильных разрядников и молниеотводов), записывается в виде

$$I_{\text{кф}} \leq (5,4 + 7 \cdot 10^{-3} \rho'_1) \frac{\sqrt{S}}{\rho_{\text{эк}}}, \quad (7.28)$$

где  $I_{\text{кф}}$  — расчетный ток, стекающий в землю с фундаментов здания при однофазном коротком замыкании, кА;

$\rho'_1$  — удельное сопротивление верхнего слоя земли фундаментного поля здания, Ом · м.

Ток  $I_{\text{кф}}$  определяется по формуле

$$I_{\text{кф}} = I_{\text{кз}} \frac{|Z_{\text{вх}}|}{R_{\phi} + |Z_{\text{вх}}|},$$

где  $I_{\text{кз}}$  — ток, стекающий в землю при однофазном коротком замыкании в ЭУ напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью, кА.

Рассмотрим примеры расчетов сопротивления растеканию железобетонных фундаментов производственных зданий.

*Пример 1.* Исходные данные: площадь производственного здания из сборного железобетона  $S = 2500$  м<sup>2</sup>; ЭУ напряжением 380 В с заземленной нейтралью; эквивалентное удельное сопротивление земли  $\rho_{\text{эк}} = 185$  Ом · м. Требуется определить сопротивление фундаментов.

Оцениваем по (7.24) возможность использования железобетонных фундаментов в качестве заземлителей:

$$S > S_0,$$

где  $S_0$  определяем по табл. 7.20. Получаем  $2500 > 156$ . Определяем сопротивление растеканию фундаментов здания по (7.22):



$$R = 0,52 \cdot \frac{185}{\sqrt{2500}} = 1,92 \text{ Ом.}$$

Расчетное значение не превышает допустимого, равного 4 Ом.

*Пример 2.* Исходные данные: площадь машиностроительного завода  $S = 84\,100 \text{ м}^2$ ; каркас здания — стальной; напряжение ЭУ 10/0,4 кВ;  $\rho_1 = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;  $\rho_2 = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;  $h = 8 \text{ м}$ . Требуется определить сопротивление растеканию фундаментного поля.

По номограмме рис. 7.13 определяем  $\rho_{\text{эк. у}}$ :

$$\rho_{\text{эк}} = \rho_{\text{эк. у}} \frac{\rho_2}{10} = 14 \frac{100}{10} = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Эквивалентное удельное сопротивление можно определить и по (7.23):

$$\rho_{\text{эк}} = 500 (1 - e^{-3,6 \cdot 8 / 290}) + 100 (1 - e^{-0,1 \cdot 290 / 8}) = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Сопротивление растеканию фундаментного поля

$$R = 0,52 \frac{140}{290} = 0,26 \text{ Ом.}$$

*Пример 3.* Исходные данные: площадь производственного здания  $S = 49970 \text{ м}^2$ ; колонны стальные — 136 шт. На каждом фундаменте имеется восемь болтов для крепления колонн длиной 600 мм, диаметром 42 мм. Болты заделываются в бетон марки М150 ( $\rho_6 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ). Удельное сопротивление верхнего слоя земли  $\rho_1 = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , нижнего слоя  $\rho_2 = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Эквивалентное удельное сопротивление грунта  $\rho_{\text{эк}} = 193 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Требуется определить сопротивление фундаментного поля (заземлителями являются анкерные болты, не соединенные с арматурой фундаментов). Определяем сопротивление одного анкерного болта:

$$R_6 = \frac{200}{2\pi \cdot 0,6} \ln \frac{4 \cdot 0,6}{0,042} - \frac{200}{2\pi \cdot 0,6} \ln \frac{4 \cdot 0,6}{0,3} + \frac{80}{2\pi \cdot 0,6} \ln \frac{4 \cdot 0,6}{0,3} =$$

$$= 53,1 \cdot 4,04 - 53,1 \cdot 2,08 + 21,2 \cdot 2,08 = 148,2 \text{ Ом.}$$

Кажущийся диаметр электрода в земле с  $\rho_1$

$$d_k = \frac{4 \cdot 0,6}{\exp[(2\pi \cdot 0,6 \cdot 148,2) / 80]} = 0,0022 \text{ м.}$$

На рис. 7.15 показана схема расположения анкерных болтов. Суммарное сопротивление анкерных болтов

$$\sum R_6 = \frac{1}{8} \left( \frac{80}{2\pi \cdot 0,6} \ln \frac{4 \cdot 0,6}{0,0022} + \frac{80}{4\pi \cdot 0,6} \ln 41 \cdot 5,8 \cdot 44 \cdot 9 \cdot 4,5 \cdot 3,55 \right) = 37,4 \text{ Ом.}$$

Эквивалентный диаметр

$$D = \frac{4 \cdot 0,6}{\exp[(2\pi \cdot 0,6 \cdot 37,4) / 80]} = 0,41 \text{ м;}$$

$$C = \frac{\sqrt{49970}}{2\pi \cdot 136 \cdot 0,6} \left[ \ln \frac{8 \cdot 0,6}{0,41} - 1 + \frac{2 \cdot 1,37 \cdot 0,6 \cdot (\sqrt{136} - 1)^2}{\sqrt{49970}} \right] = 0,998.$$

Сопротивление фундаментного поля

$$R = 0,998 \frac{193}{\sqrt{49970}} = 0,86 \text{ Ом.}$$

Значение эквивалентного сопротивления растеканию заземляющего устройства рекомендуется вычислять по формуле

$$R_{\text{эк}} = \frac{R'R'' - R_a^2}{R' + R'' - 2R_a},$$

где  $R_a = \sqrt{\rho'_{\text{эк}} \rho''_{\text{эк}}} / 2\pi a$  — взаимное сопротивление, Ом;

$a$  — расстояние между геометрическими центрами площадей заземляющего устройства, м.

Рассмотрим примеры расчета заземлителей для молниезащиты.

*Пример 4.* Исходные данные: сопротивление растеканию одного фундамента  $R_{\text{ф}} = 37,4$  Ом; шаг колонн — 6 м; пролет — 24 м; колонны металлические; анкерные болты  $l = 600$  мм, диаметром  $d = 24$  мм, в одном фундаменте восемь болтов.

Расчетный случай — удар молнии в угол здания.

При шаге колонн 6 м и пролете 24 м в зону удара молнии будут входить пять фундаментов.

Сопротивление растеканию одного фундамента импульсному току равно:

$$R'_{\text{ф}} = \alpha R_{\text{ф}} = 0,9 \cdot 37,4 = 33,7 \text{ Ом.}$$

Сопротивление зоны равно:

$$R_3 = 33,7/6 = 5,6 \text{ Ом.}$$

Это сопротивление заземлителя молниезащиты удовлетворяет требованиям II категории.

*Пример 5.* Исходные данные: площадь фундамента  $3 \times 3 = 9 \text{ м}^2$ ; удельное эквивалентное сопротивление земли  $\rho_{\text{эк}} = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ; шаг колонн — 12 м; пролет — 24 м. Требуется определить возможность использования фундамента для молниезащиты.

Определяем сопротивление растеканию фундамента:

$$R = 0,52 \frac{500}{2} = 86,7 \text{ Ом.}$$

Сопротивление растеканию фундамента импульсному току равно:

$$R'_{\text{ф}} = 0,7 \cdot 86,7 = 60,7 \text{ Ом.}$$

В 25-метровую зону попадают четыре фундамента. Сопротивление зоны

$$R_3 = 60,7/4 = 15,2 \text{ Ом.}$$

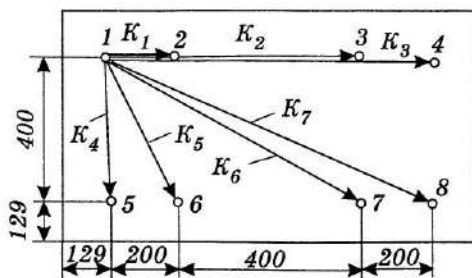


Рис. 7.15. Схема расположения анкерных болтов для определения коэффициентов  $k_{\Pi}$

Фундаменты данного здания можно использовать для молниезащиты III категории.

*Пример 6.* Расчет напряжения прикосновения при использовании железобетонных фундаментов в качестве заземлителей. Напряжение прикосновения равно:

$$U_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} I_3 R_3,$$

где  $k_{\text{пр}}$  — коэффициент напряжения прикосновения;

$I_3$  — ток, стекающий с фундаментов здания, А;

$R_3$  — сопротивление растеканию ЗУ, Ом.

Допустимое значение этого напряжения определяется из выражения

$$U_{\text{пр}} = U + (3/2)(I\rho_1),$$

где  $U$  и  $I$  — допустимые значения напряжения на теле человека и тока, проходящего через тело человека, зависящие от времени воздействия  $t$ ;

$\rho_1$  — удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли.

В качестве допустимых значений следует принять  $U = 250$  В,  $I = 0,25$  А для  $t = 0,2$  с для ЗУ с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

При длине производственного здания более 30 м  $k_{\text{пр}} = 0,1$ .

Тогда с учетом значений  $U$  и  $I$  при  $t = 0,2$  с имеем

$$U_{\text{пр}} = 250 + 0,375\rho_1.$$

Используя последнее равенство и выражение (7.28) получаем, кА:

$$I_{\text{кз}} \leq \frac{(250 + 0,375\rho_1)\sqrt{S}}{0,1 \cdot 0,5\rho_{\text{ЭК}}} \leq (5,4 + 7,5 \cdot 10^{-3} \rho_1) \frac{\sqrt{S}}{\rho_{\text{ЭК}}}. \quad (7.29)$$

Таким образом, при стекании с фундаментов производственного здания тока  $I_{\text{кз}}$ , удовлетворяющего неравенству (7.28), требование электробезопасности в соответствии с ГОСТ 12.1.038-87 будет обеспечено.

По (7.28) можно оценить возможность использования заземляющего устройства по норме на напряжение прикосновения, а также необходимость в сооружении выравнивающих проводников.

*Пример 7.* Исходные данные: производственное здание площадью 49970 м<sup>2</sup>; удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли  $\rho_1 = 80$  Ом · м; эквивалентное удельное сопротивление грунта 130 Ом · м; расчетный ток однофазного короткого замыкания  $I_{\text{кз}} = 5,6$  кА.

По формуле (7.28) определяем ток однофазного короткого замыкания, стекающий с фундаментов ЗУ:

$$I_{\text{кз}} \leq (5,4 + 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 80) \frac{\sqrt{49970}}{130} \leq 9,62 \text{ кА.}$$

Напряжение прикосновения не превышает допустимое значение, равное 250 В, при  $t = 0,2$  с ( $t$  — время срабатывания защиты).

*Пример 8.* Исходные данные: площадь подстанции 120 × 120 м<sup>2</sup>;  $\rho_1 = 500$  Ом · м;  $\rho_2 = 100$  Ом · м; расчетный ток однофазного короткого замыкания  $I_3 = 8$  кА; время отключения  $t = 0,2$  с. Требуется определить допустимый ток короткого замыкания по условию электробезопасности.

Используя формулу (7.28), получаем

$$I_{\text{кз}} \leq \left(5,4 + 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 500\right) \frac{120}{100} \leq 10,7 \text{ кА.}$$

Расчетный ток однофазного короткого замыкания не превышает допустимое значение. Следовательно, не требуется прокладка выравнивающих полос, в том числе у входов и въездов на территорию подстанции, кроме мест расположения короткозамыкателей, вентильных разрядников и молниеотводов.

Рассмотрим расчет входного сопротивления эстакады.

*Пример 9.* Исходные данные: длина эстакады  $L = 3,65$  км; расстояние между опорами  $a = 24$  м; глубина заложения фундамента  $l = 6$  м; наибольший горизонтальный размер фундамента  $D = 2,6$  м; эквивалентное удельное сопротивление  $\rho_{\text{эж}} = 100$  Ом·м. На эстакаде проложено более пяти технологических труб.

Так как  $D < 1$ , то по (7.26) определяем

$$R_0 = 100/6 = 16,6 \text{ Ом.}$$

По (7.25) получаем

$$R_{\text{п}} = (16,6 \cdot 24 + 1,5 \cdot 100) 10^{-3} = 0,43 \text{ Ом/км.}$$

Входное сопротивление определяется следующим образом. В зависимости от числа труб по  $Z_0$  выбирается семейство кривых (см. рис. 7.14).

Для данной эстакады продольное сопротивление принимаем  $Z_0 = 0,5$  Ом/км, как для эстакады с числом труб более пяти. На оси  $L$  откладывается длина эстакады, км. На оси  $Z_{\text{вх}}$  определяется искомое входное сопротивление. Для рассматриваемого случая  $Z_{\text{вх}} = 0,48$  Ом.

Очень часто проектировщикам для принятия того или иного решения при проектировании ЗУ необходимо провести предварительный упрощенный расчет.

---

## 7.7. УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

---

1. В соответствии с ПУЭ устанавливают необходимое сопротивление заземления  $R_3$ .

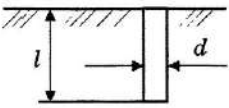
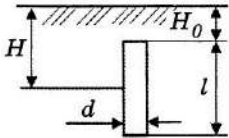
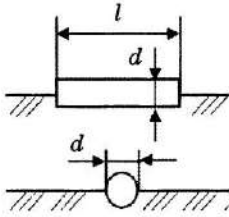
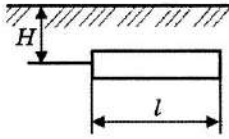
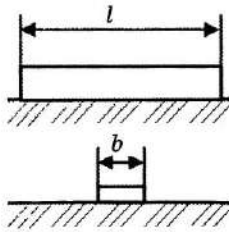
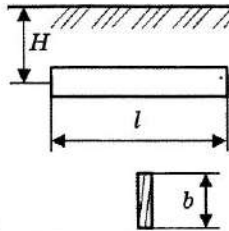
2. Определяют путем замера, расчета или на основе данных по работающим аналогично ЗУ возможное сопротивление растеканию естественных заземлителей  $R_e$  (табл. 7.21).

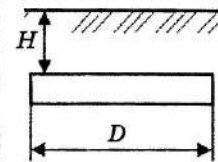
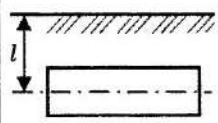
3. Если  $R_e \leq R_3$ , то устройство искусственного заземления не требуется. Если  $R_e > R_3$ , то необходимо устройство искусственного заземления.

Сопротивление растекания искусственного заземления, Ом

$$R_{\text{и}} = \frac{R_3 R_e}{R_e - R_3}.$$

Значения сопротивления растеканию естественных заземлителей

№ п/п	Тип заземлителя	Схема	Формула	Дополнительные указания
1	Трубчатый или стержневой у поверхности грунта		$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg d$
2	Трубчатый или стержневой в грунте		$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{5H-l} \right)$	$H_0 > 0,5 \text{ м}$
3	Протяженный круглого сечения — труба, кабель и т. д. на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$l \gg d$
4	Протяженный круглого сечения в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dH}$	$l/H \geq 5$
5	Протяженный полосовой на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{b}$	$l \gg b$
6	Протяженный — полоса в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bH}$	$l/H \geq 5$

№ п/п	Тип заземлителя	Схема	Формула	Дополнительные указания
7	Круглая пластинка в грунте		$R = \frac{\rho}{4D} \left( 1 + \frac{2}{\pi} \times \arcsin \frac{D}{\sqrt{16H^2 + D^2}} \right)$	$2H > D$
8	Пластинчатый в грунте		$R = \frac{\rho}{4\sqrt{\pi F}} \left( \frac{\pi}{2} \times \arcsin \sqrt{\frac{F}{4\pi H^2 + F}} \right)$	$H > \sqrt{F/\pi}$ , F — площадь пластины

Далее все расчеты ведутся по  $R_{и}$ .

4. Определяют  $\rho$  грунта (табл. 7.22) или замеряют непосредственно. При вычислении  $\rho$  умножаются на коэффициент сезонности, зависящий от климатических зон и вида заземлителя (табл. 7.23).

Расчетное  $\rho$  грунта для стержневых заземлителей:

- 1) вертикальных  $\rho_{расч. в} = k_c \rho$ ;
- 2) горизонтальных  $\rho_{расч. г} = k_c \rho$ , где  $k_c$  — коэффициент сезонности.

5. Определение сопротивления растекания одного вертикального заземлителя (рис. 7.16):

Таблица 7.22  
Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды  $\rho$ , Ом · м

Грунт и вода	Возможные пределы колебаний $\rho$
Глина	8–70
Суглинок	40–150
Песок	400–700
Супесок	150–400
Торф	10–30
Чернозем	9–53
Садовая земля	30–60
Каменистый грунт	500–800
Скалистый грунт	$10^3$ – $10^7$
Вода:	
морская	0,2–1
речная	10–100
прудовая	40–50
грунтовая	20–70
в ручьях	10–60

Коэффициент сезонности  $k_c$ 

Характеристики климатических зон	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая $t^\circ$ (январь)	От $-20^\circ\text{C}$ до $-15^\circ\text{C}$	От $-14^\circ\text{C}$ до $-10^\circ\text{C}$	От $-10^\circ\text{C}$ до $0^\circ\text{C}$	От $0^\circ\text{C}$ до $+5^\circ\text{C}$
Средняя многолетняя высшая $t^\circ$ (июль)	От $+16^\circ\text{C}$ до $+18^\circ\text{C}$	От $+18^\circ\text{C}$ до $+22^\circ\text{C}$	От $+22^\circ\text{C}$ до $+24^\circ\text{C}$	От $+24^\circ\text{C}$ до $+26^\circ\text{C}$
Среднегодовой уровень осадков, мм	~400	~500	~5000	~300-500
Продолжительность заморозания вод (дней)	190-170	150	100	0
$k_c$ стержневых электродов ( $l = 2-3$ м, глубина заземления 0,5-0,8 м)	1,8-2	1,5-1,8	1,4-1,6	1,2-1,4
$k_c$ протяженных электродов (глубина заземления 0,8 м)	4,5-7,0	3,5-4,5	2,0-2,5	1,5-2,0
$k_c$ при длине стержней 5 м и глубине заземления 0,7-0,8 м	1,35	1,25	1,15	1,1

— круглого стержневого сечения (трубчатый или уголко-  
вый) в земле

$$R_B = \frac{0,366\rho_{\text{расч. в}}}{l_B} \times \left[ \ln \left( \frac{2l_B}{d} \right) + \frac{1}{2} \ln \left( \frac{4t + l_B}{4t - l_B} \right) \right],$$

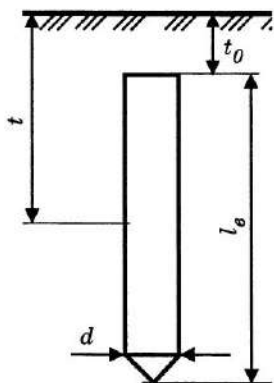


Рис. 7.16. Вертикальный заземлитель в грунте и его линейные размеры

где  $l_B$  — длина вертикального электрода, м;

$\rho$  — удельное сопротивление грунта, Ом · м;

$t$  — глубина заложения, равная расстоянию от поверхности земли до середины электрода, м;

$d$  — диаметр круглого стержневого электрода, м;

$$l_B \gg d, t_0 \gg 0,5;$$

— для уголка с шириной полки  $d = 0,5$  м (упрощенные формулы):

— для уголка  $50 \times 50 \times 5$  мм

$$R_B = 0,348\rho_{\text{расч. в}};$$

— для уголка  $60 \times 60 \times 6$  мм

$$R_B = 0,298\rho_{\text{расч. в}};$$

— для уголка  $75 \times 75 \times 8$  мм

$$R_B = 0,292\rho_{\text{расч. в}};$$

— для трубы диаметром 60 мм,  $l_B = 2 + 2,5$  м

$$R_B = 0,302\rho_{\text{расч. в}};$$

6. Установив характер расположения заземления (в ряд или контур), определяют число вертикальных заземлителей:

$$n_B = \frac{R_B}{\eta_B R_{\text{и}}},$$

где  $\eta_B$  — коэффициент использования вертикальных заземлителей (определяется по табл. 7.24, 7.25),  $\eta_B = f(a, l_B, n)$ ;

$a$  — расстояние между электродами;  
 $n = \frac{R_B}{R_{\text{и}}}$  — количество вертикальных заземлителей для определения  $\eta_B$ .

При устройстве простых заземлителей (короткий ряд вертикальных стержней) расчет на этом заканчивают, не учитывая проводимость соединяющей полосы, так как длина ее невелика.

Т а б л и ц а 7.24

Коэффициенты использования вертикальных заземлителей из труб, уголков или стержней, размещенных в ряд

Отношение расстояния между электродами к их длине $\frac{a}{l_B}$	Число электродов $n$	$\eta_B$
1	2	0,84–0,87
	3	0,76–0,80
	5	0,67–0,72
	10	0,56–0,62
	15	0,51–0,56
	20	0,47–0,50
2	2	0,50–0,92
	3	0,85–0,88
	5	0,79–0,83
	10	0,72–0,77
	15	0,66–0,73
	20	0,65–0,70
3	2	0,93–0,95
	3	0,90–0,92
	5	0,85–0,88
	10	0,79–0,83
	15	0,76–0,80
	20	0,74–0,79



Коэффициенты использования вертикальных заземлителей из труб, уголков или стержней, размещенных по контуру

Отношение расстояния между электродами к их длине $\frac{a}{l_B}$	Число электродов $n$	$\eta_B$
1	4	0,66–0,72
	6	0,58–0,65
	10	0,52–0,58
	20	0,44–0,50
	40	0,38–0,44
	60	0,36–0,42
	100	0,33–0,39
2	4	0,76–0,80
	6	0,71–0,75
	10	0,66–0,71
	20	0,61–0,66
	40	0,55–0,61
	60	0,52–0,58
	100	0,49–0,55
3	4	0,84–0,86
	6	0,78–0,82
	10	0,74–0,78
	20	0,68–0,73
	40	0,64–0,69
	60	0,62–0,67
	100	0,59–0,65

При устройстве контурных заземлителей необходимо учитывать и сопротивление растеканию полос горизонтального заземлителя  $R_r$ .

На площади размещения ЗУ намечают, как будут размещены вертикальные заземлители с учетом их числа  $n_B$ , и определяют длину соединительной полосы

$$l_r = 1,05 n_B a,$$

где  $a$  — расстояние между заземлителями, его обычно принимают как соотношение  $\frac{a}{l_B}$  заведомо 1, 2, 3.

7. Определяют  $R_r$  растекания горизонтального заземлителя:

1) круглого сечения (рис. 7.17):

$$R_r = \frac{0,366 \rho_{\text{расч. г}}}{l_r} \ln \left( \frac{l_r^2}{dt} \right), \quad l_r > d; \quad l_r \gg 4t;$$

2) полосового сечения (рис. 7.18):

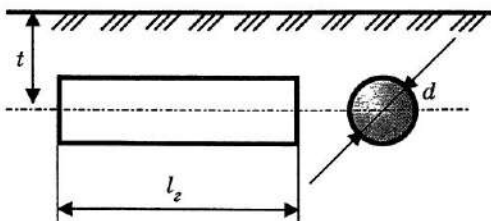


Рис. 7.17. Горизонтальный заземлитель круглого сечения в грунте и его линейные размеры

$$R_T = \frac{\rho_{\text{расч. г}}}{2\pi l_T} \ln \left( \frac{2l_T^2}{bt} \right), \quad l_T > b; \quad l_T \gg 4t.$$

8. С учетом коэффициента использования

$$R'_T = \frac{R_T}{\eta_T},$$

где  $\eta_T$  — коэффициент использования горизонтального заземлителя (табл. 7.26, 7.27).

9. Уточняется сопротивление растеканию вертикальных заземлителей  $R'_B$  с учетом горизонтальных заземлителей

$$R'_B = \frac{R'_T R_B}{(R'_T - R_B)}.$$

10. Определяются уточненные количества вертикальных заземлителей, при этом  $n'_B$  округляется в сторону увеличения:

$$n'_B = \frac{R_3}{\eta_B} n_B.$$

Согласно требованиям гл. 1.7 «Заземление и защитные меры электробезопасности» ПУЭ, сопротивление защитного заземления ЭО не должно превышать 10 Ом при мощности источника до 100 кВ · А и 4 Ом при большей мощности.

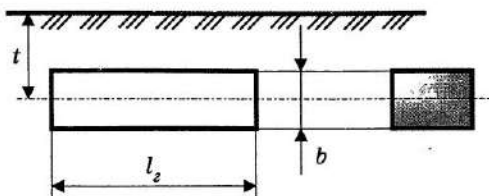


Рис. 7.18. Горизонтальный заземлитель прямоугольного сечения в грунте и его линейные размеры

Т а б л и ц а 7.26

Коэффициент использования горизонтального заземлителя (трубы, уголки, полосы и т. д.) при размещении вертикального заземлителя в ряд

Отношение расстояния между электродами к их длине $\frac{a}{l_b}$	$\eta_r$ , при числе электродов в ряд							
	4	5	8	10	20	30	50	65
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,20
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,34
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,47

Сопротивление  $R_3$  в сетях до 1000 В с системой заземления TN в зависимости от величины напряжения в любое время года должно быть не более 2, 4, 8 Ом в сетях трехфазного тока при линейных напряжениях соответственно 660, 380, 220 В или сетях однофазного тока при напряжениях соответственно 380, 220, 127 В.

Сопротивление естественных заземлителей  $R_e$  определяют путем замера в конкретной установке. Их значения могут быть приблизительно такими:

- 1) стальная водопроводная труба 2–4 Ом;
- 2) свинцовая оболочка кабеля 2–3 Ом;
- 3) система «трос—опора» 2,5–3 Ом.

Для расчета возьмем крайний случай. Пусть  $R_e \approx 8$  Ом. Если  $n_e > R_3$ , то необходимо соорудить искусственных заземлителей, сопротивление которых должно быть равно:

$$R_{и} = \frac{R_e R_3}{R_e - R_3} = \frac{8 \cdot 4}{8 - 4} = 8 \text{ Ом.}$$

Определим удельное сопротивление для горизонтальных и вертикальных заземлителей:

$$\rho_{расч. г} = k_c \rho = 3,5 \cdot 226 = 791 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{расч. в} = k_c \rho = 1,5 \cdot 226 = 339 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Т а б л и ц а 7.27

Коэффициент использования горизонтального заземлителя (трубы, уголки, полосы и т. д.) при размещении вертикального заземлителя по контуру

Отношение расстояния между электродами к их длине $\frac{a}{l_b}$	$\eta_r$ , при числе электродов в контуре заземления							
	4	5	8	10	20	30	50	65
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26
3	0,65	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35

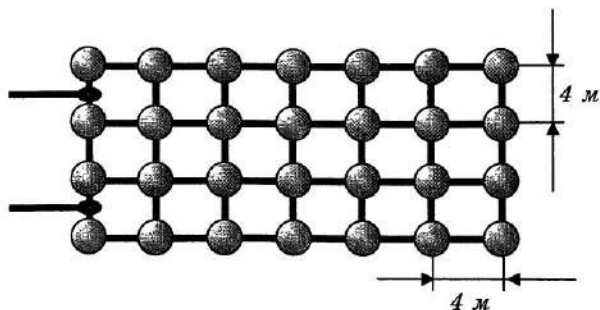


Рис. 7.19. Контур заземляющего устройства (вид сверху)

Наиболее вероятное удельное сопротивление грунта  $\rho = 226 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . В качестве искусственных заземлителей применяют вертикальные заземлители — стержни длиной 3–5 м, диаметром 12–20 мм и горизонтальные заземлители — стальные полосы  $40 \times 4 \text{ мм}$ .

Сопротивление растекания одного вертикального заземлителя равно

$$R_B = \frac{0,366\rho_{\text{расч. в}}}{l_B} \left[ \ln \left( \frac{2l_B}{d} \right) + \frac{1}{2} \ln \left( \frac{4t + l_B}{4t - l_B} \right) \right].$$

В качестве вертикального заземлителя имеем трубу с диаметром  $d = 60 \text{ мм}$ ,  $l_B = 2 \div 2,5 \text{ м}$ , тогда  $R_B = 153,58 \text{ Ом}$ .

Разместим вертикальные заземлители по контуру. Определим коэффициент использования для вертикального заземлителя. Для этого количества заземлителей  $n$  можно принять равным:

$$n = \frac{R_B}{R_H} = \frac{153,58}{8} \approx 20 \text{ шт.}$$

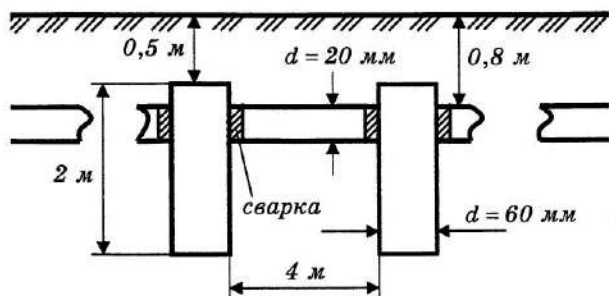


Рис. 7.20. Заземляющее устройство (вид сбоку)

Из табл. 7.25 определим коэффициент использования, приняв отношение между расстоянием электродов к их длине  $\frac{a}{l_B} = 2$ ,  $\eta_B = 0,63$ .

Тогда

$$n_B = \frac{R_B}{\eta_B R_{\text{и}}} = \frac{153,58}{0,63 \cdot 8} \approx 30 \text{ шт.}$$

При устройстве контурных заземлителей необходимо учитывать и сопротивление растекания полос горизонтального заземлителя. На площади размещения ЗУ размещаем вертикальные заземлители и определяем длину соединительной полосы

$$l_T = 1,05 \cdot n_B \cdot a = 1,05 \cdot 30 \cdot 4 = 126 \text{ м.}$$

В качестве горизонтального заземлителя рассчитываем пруты круглого сечения

$$R_T = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч. г}}}{l_T} \ln \left( \frac{l_T^2}{dt} \right) = 14,2 \text{ Ом.}$$

С учетом коэффициента использования горизонтального заземлителя  $\eta_T$  рассчитаем сопротивление растекания горизонтального заземлителя

$$R'_T = \frac{R_T}{\eta_T} = \frac{14,2}{0,3} = 47,3 \text{ Ом.}$$

Уточним сопротивление растекания вертикальных заземлителей с учетом горизонтального заземлителя

$$R'_B = \frac{R'_T R_B}{R'_T + R_B} = \frac{47,3 \cdot 8}{47,3 + 8} = 6,9 \text{ Ом.}$$

В таком случае число вертикальных заземлителей будет изменено:

$$n'_B = \frac{R'_B}{R_{\text{и}}} n_B = \frac{6,9}{8} 30 \approx 28 \text{ шт.}$$

Расчет и выбор данного ЗУ можно осуществлять с помощью ЭВМ.

Контур заземляющего устройства будет иметь вид, представленный на рис. 7.19, 7.20.

В приложении представлены некоторые формы документов по монтажу и эксплуатации ЗУ, приведены технологические карты некоторых видов измерений характеристик ЗУ, а также справочный материал.

_____	_____
(министерство и ведомство)	(город)
_____	_____
(трест)	(заказчик)
_____	_____
(монтажное управление)	(объект)
_____	« » 200 г.
(участок)	

**АКТ**  
**освидетельствования скрытых работ по монтажу**  
**заземляющих устройств и присоединений**  
**к естественным заземляющим устройствам**

Осмотром выполненных работ по монтажу заземляющего устройства установлено:

1) заземляющее устройство выполнено в соответствии с проектом \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_, разработанным \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ (название) \_\_\_\_\_ (проектная организация)  
 по чертежам \_\_\_\_\_;  
 \_\_\_\_\_ (номер)

2) отступления от проекта \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

согласованы с \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ (организация, должность, Ф.И.О.)

и внесены в чертежи \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ (номера)

3) характеристика заземляющего устройства

№ п/п	Элементы заземляющего устройства	Параметры элементов заземляющего устройства					При- ме- чание
		мате- риал	про- филь	разме- ры, мм	коли- чество	глубина заложения от планированной отметки	

4) характер соединений элементов заземляющего устройства между собой и присоединения их к естественным заземляющим устройствам

\_\_\_\_\_ ;

5) выявленные дефекты: \_\_\_\_\_ ;

6) заключение: заземляющее устройство может быть засыпано землей на участках: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ .

Оформляется подписями представителей Заказчика, строительной организации, электромонтажной организации.

**ПРОТОКОЛ**  
испытания заземляющего устройства

\_\_\_\_\_ (объект)

*1. Характеристика электроустановки (заземляемого объекта)*

Номинальное напряжение РУ, кВ \_\_\_\_\_

	Режим нейтрали	
	По проекту	расчетный ток однофазного КЗ, кА
для остальной территории		
	время отключения КЗ, с	основной защитой
		резервной защитой
В период измерения	расчетный ток однофазного КЗ, кА	для рабочих мест
		для остальной территории
	время отключения КЗ, с	основной защитой
		резервной защитой

Расчетные формулы:

*2. Проверка состояния элементов заземляющих устройств*

Заземление выполнено по проекту \_\_\_\_\_

Чертежи № \_\_\_\_\_

Отклонения от проекта: \_\_\_\_\_

согласованы \_\_\_\_\_



Акт на скрытые работы см. \_\_\_\_\_

Осмотром мест подключения подлежащего заземлению электрооборудования, элементов наружной сети заземляющего устройства установлено, что

### 3. Измерение напряжения прикосновения

Сопротивления потенциального электрода:

Ом (среднее)

Ом (при искусственном увлажнении)

Расчетная точка по проекту	Измерено сопротивление, Ом	Измерительный ток, А	Напряжение прикосновения, В			Заключение
			измеренное	расчетное	допустимое	

Состояние грунта при измерении \_\_\_\_\_

(влажный, сухой, мерзлый)

Погода при измерении \_\_\_\_\_

(сухо, дождь, снег, температура воздуха)

Измерительные приборы \_\_\_\_\_

### 4. Измерение сопротивления заземляющего устройства

Зависимость измеренного сопротивления от положения потенциального электрода	Относительное расстояние до потенциального электрода	Сопротивление, Ом
	0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7	
0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9	Метеорологические условия	

Расчетный потенциал на заземляющем устройстве \_\_\_\_\_

Сопrotивление измерялось методом \_\_\_\_\_ прибором

Схема контура заземления, места подключения измерительных приборов при измерении и размещение вспомогательных электродов (указать размеры контура, расстояние А до токового электрода и до потенциальных электродов)

Примечание: \_\_\_\_\_

Заключение: \_\_\_\_\_

Испытание произвел \_\_\_\_\_  
(подпись, фамилия, дата)

_____	_____
(министерство и ведомство)	(город)
_____	_____
(трест)	(заказчик)
_____	« » 200 г.
(участок)	

**АКТ**

**осмотра и проверки состояния открыто проложенных  
заземляющих проводников**

1. Прокладка заземляющих проводников выполнена в соответствии с проектом \_\_\_\_\_, разработанным \_\_\_\_\_  
(название) (проектная организация)  
по чертежам \_\_\_\_\_  
(номера)

2. Обрывов заземляющих проводников \_\_\_\_\_  
(не обнаружено)

3. Визуальный осмотр мест сварки показал:  
\_\_\_\_\_

4. Визуальный осмотр болтовых соединений показал:  
\_\_\_\_\_ (указать наличие неудовлетворительных контактов,  
а также наличие антикоррозийной защиты и отличительной окраски)

5. Выявленные дефекты: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6. Заключение \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

(оформляется подписями проверяющего и производителя работ -- мастера)

Наименование организации \_\_\_\_\_

ИНН \_\_\_\_\_

ОГРН \_\_\_\_\_

Адрес \_\_\_\_\_

Номер свидетельства о регистрации ЭЛ, наименование выдавшей организации, дата выдачи и срок действия \_\_\_\_\_

Заказчик: \_\_\_\_\_

Объект: \_\_\_\_\_

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**измерения сопротивления заземляющего устройства**  
 «\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

*1. Общие данные*

Характер грунта \_\_\_\_\_

Состояние погоды в последние 3 дня \_\_\_\_\_

Состояние погоды в день измерений \_\_\_\_\_

Температура в день измерений \_\_\_\_\_

*2. Результаты измерений*

№ п/п	Наименование измерителя и место измерения	Измеренное сопротивление $R_{изм}$ (Ом)	Наиболее допустимое сопротивление $R_{д}$ (Ом)	Заключение о соответствии
1	2	3	4	5

**Перечень применяемого испытательного оборудования и средств измерений**

№ п/п	Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Диапазон измерений	Основная погрешность	Номер свидетельства	Дата последней поверки	Дата очередной поверки
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Схема измерения: \_\_\_\_\_

Нормативный документ, на соответствие требованиям которого проведены испытания: \_\_\_\_\_

Заключение: \_\_\_\_\_

Измерения проводили: \_\_\_\_\_

Должность подпись

Ф.И.О.

ИНН физического лица

Руководитель ЭЛ \_\_\_\_\_

подпись

Ф.И.О.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

м.п.

## Сроки контроля состояния заземляющих устройств

№ п/п	Содержание контроля	Сроки
<i>Электроустановки энергосистем</i>		
1	<p>Измерение сопротивления заземляющих устройств:</p> <p>а) электростанций, подстанций и линий электропередачи</p> <p>б) подстанций, воздушных распределительных сетей 35 кВ и ниже</p> <p>в) тросовых опор ВЛ 110 кВ и выше</p> <p>г) опор с разъединителями, защитными промежутками, трубчатыми и вентильными разрядниками в сетях 35 кВ и ниже</p> <p>д) опор с повторными заземлителями нулевых проводов в сетях до 1000 В</p> <p>е) железобетонных и металлических опор воздушных линий, проходящих в населенной местности (выборочно у 2 % опор)</p>	<p>После монтажа, переустройства и капитального ремонта заземляющих устройств</p> <p>Не реже 1 раза в 10 лет</p> <p>При обнаружении следов перекрытий или разрушений изоляторов электрической дугой</p> <p>Не реже 1 раза в 5 лет</p> <p>То же</p> <p>Не реже 1 раза в 10 лет</p>
2	Проверка наличия и состояния цепей между заземлителями и заземляемыми элементами, а также соединений естественных заземлителей с заземляющими устройствами	При измерении сопротивления заземляющего устройства
3	Выборочная проверка (со вскрытием грунта) состояния элементов заземлителя, находящихся в земле	Не реже 1 раза в 10 лет
<i>Электроустановки потребителей</i>		
4	Внешний осмотр заземляющего устройства	Одновременно с осмотром электрооборудования РУ, ТП, РП, а также цеховых и других электроустановок
5	<p>Измерение сопротивления заземляющих устройств:</p> <p>а) подстанций</p> <p>б) опор ВЛ выше 1000 В</p>	<p>1. После монтажа и капитального ремонта</p> <p>2. В первый год эксплуатации; в дальнейшем не реже 1 раза в 3 года</p> <p>1. После монтажа и капитального ремонта</p> <p>2. После первых 9 лет эксплуатации; в дальнейшем 1 раз в 6 лет</p>

№ п/п	Содержание контроля	Сроки
5	в) электроустановок сооружений	Не реже одного раза в год
6	Измерение сопротивления естественных и искусственных заземлителей и проверка надежности их соединения	После каждого ремонта заземлителей
7	Проверка наличия цепи между магистралью заземления и заземленным оборудованием	После ремонта или перестановки оборудования
8	Выборочная проверка (со вскрытием грунта) состояния находящихся в земле элементов заземлителя: а) подстанций  б) опор ВЛ выше 1000 В	Одновременно с измерением сопротивления заземлителя (см. п. 5, б) То же (см. п. 5, б)
9	Измерение удельного сопротивления грунта на участке размещения заземлителей опор ВЛ выше 1000 В	В первый год эксплуатации
10	Измерение полного сопротивления петли «фаза—нуль» в ЭУ напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью	1. При капитальных ремонтах и реконструкциях сети 2. В процессе эксплуатации 1 раз в 5 лет
11	Проверка состояния пробивных предохранителей в сети до 1000 В	1. При каждом ремонте оборудования 2. При предположении о срабатывании предохранителя

## Классификация взрывоопасных зон

№ п/п	Классы зон	Характеристика зон
1	В-1	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например, при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранения и переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.
2	В-1а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а образование таких смесей возможно только в результате аварий или неисправностей
3	В-1б	<p>Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а образование таких смесей возможно только в результате аварий или неисправностей. Эти зоны отличаются одной из следующих особенностей:</p> <p>1) горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005-76, например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок;</p> <p>2) помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения. Взрывоопасная зона условно принимается от отметки, равной 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей)</p> <p>Это положение не распространяется на электромашинные помещения с турбогенераторами с водородным охлаждением при условии обеспечения электромашинного помещения вытяжной вентиляцией с естественным побуждением; эти электромашинные помещения имеют нормальную среду</p>
4	В-1г	Пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, за исключением наружных аммиачных компрессорных установок; надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры); эстакада для слива и налива ЛВЖ; открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.
5	В-II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы
6	В-IIа	Зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, свойственные зонам класса В-II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Измерение величины сопротивления заземляющего устройства и сопротивления заземляющего проводника

### Приборы, инструмент и расходные материалы

1. Измеритель сопротивления заземления М-416
2. Омметр М-372
3. Заземлитель
4. Ударник
5. Опора
6. Провод ПРГ-0,75 мм<sup>2</sup> длиной 100 м
7. Напильник А240 № 3
8. Соль поваренная

### Технология выполнения работ

А. *Измерение сопротивления заземляющего устройства* выполняется летом и зимой, когда грунт обладает наибольшим удельным сопротивлением. Измерение может проводиться работником с группой по электробезопасности не ниже III. Измерения, выполняемые на ЭУ выше 1000 В, проводятся по наряду-допуску.

1. Выбрать места расположения вспомогательного заземлителя  $R_B$  и потенциального электрода (зонда)  $R_3$ . При наличии вблизи заземляющего устройства металлических проводников (кабель, трубопровод) вспомогательный заземлитель  $R_B$  и зонд  $R_3$  следует располагать вдали от них. Расстояния между заземляющим устройством, вспомогательным заземлителем и зондом приведены на рис. П.1–П.4.

2. С помощью ударника забить вспомогательный заземлитель и зонд в твердый грунт на глубину не менее 0,5 м. Сопротивление вспомогательного заземлителя и зонда должно быть не более 500 Ом при сопро-

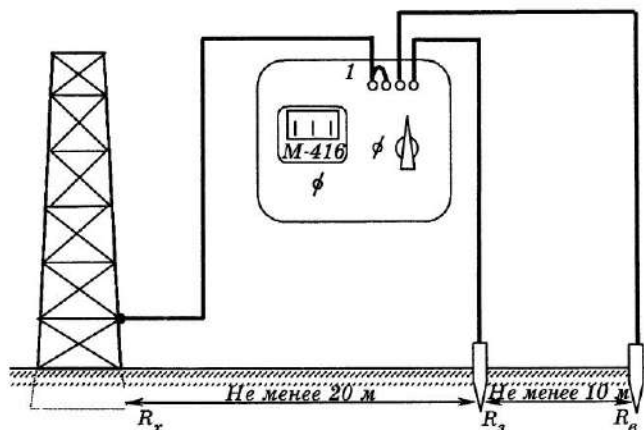


Рис. П.1. Подключение прибора по трехзажимной схеме



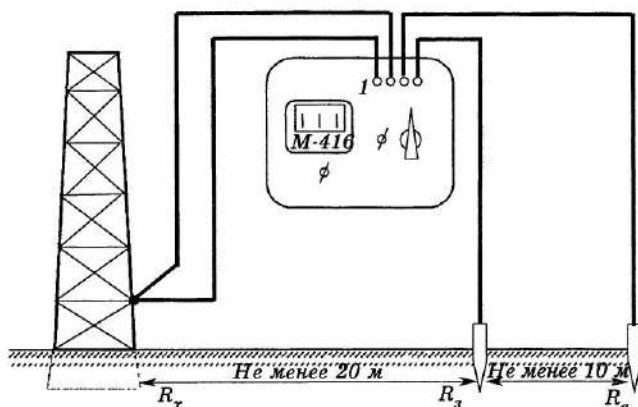


Рис. П.2. Подключение прибора по четырехзажимной схеме

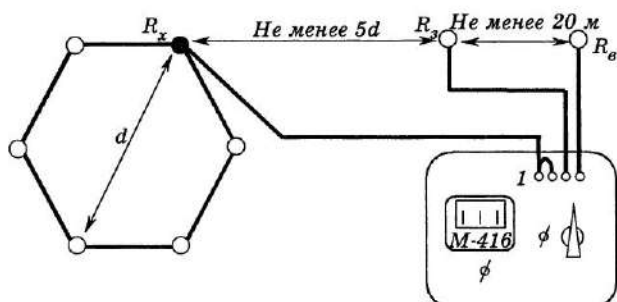


Рис. П.3. Подключение прибора по трехзажимной схеме к сложному (контурному) заземлителю

тивлении заземляющего устройства не более 10 Ом и не более 1000 Ом при сопротивлении заземляющего устройства не более 50 Ом.

Если в районе рационального расположения вспомогательного заземлителя и зонда нет грунта с малым сопротивлением, то место, куда забивают электроды, увлажнить раствором поваренной соли (4–5 стаканов соли на ведро воды).

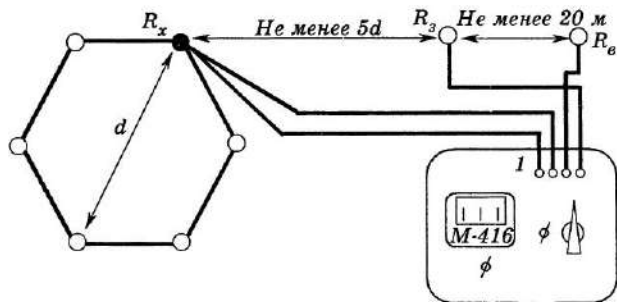


Рис. П.4. Подключение прибора по четырехзажимной схеме к сложному (контурному) заземлителю

3. Установить прибор на ровной поверхности в непосредственной близости от измеряемого заземляющего устройства. Открыть крышку.

4. Установить переключатель в положение «КОНТРОЛЬ 5 Ом», нажать кнопку и, вращая ручку «РЕОХОРД», добиться установления стрелки индикатора на нулевую отметку. На шкале реохорда при этом должно быть показание  $5 \pm 0,35$  Ом.

5. Собрать схему измерения. Измерения проводят по схемам рис. П.1–П.4. Выбор схемы измерения производится в зависимости от величины измеряемого сопротивления и требуемой точности измерения. В случае измерения по схемам, изображенным на рис. П.1–П.3, в результате измерения входит сопротивление провода, соединяющего зажим 1 с  $R_x$ . Поэтому такие схемы измерения используются, когда не требуется точное измерение, или при измерениях сравнительно больших (более 1 Ом) сопротивлений.

6. Установить переключатель В1 в положение « $\times 1$ ».

7. Нажать кнопку и, вращая ручку «РЕОХОРД», добиться максимального приближения стрелки индикатора к нулю.

8. Определить величину сопротивления заземляющего устройства.

Если измеряемое сопротивление окажется больше 10 Ом, переключатель установить в положение « $\times 5$ », « $\times 20$ » или « $\times 100$ » и повторить измерения. Сопротивление равно произведению показания шкалы реохорда на множитель установки переключателя В1.

9. Разобрать схему измерений. С помощью ударника и опоры извлечь вспомогательный заземлитель и зонд из грунта. Привести прибор в походное положение.

*Б. Измерение сопротивления заземляющего проводника от магистрали заземления до заземляемого объекта (потребителя).*

1. Установить омметр на ровной поверхности. Открыть крышку прибора.

2. Зачистить до металлического блеска места присоединения прибора на магистрали заземления и на заземленном объекте (на испытываемом объекте).

3. Привернуть трубку к магистрали заземления и соединить токоведущий зажим с одним из зажимов  $R_x$  прибора медным проводом, входящим в комплект.

4. Установить корректором стрелку прибора на нуль.

5. Нажать кнопку и рукояткой «УСТАНОВКА  $\infty$ » установить стрелку прибора на отметку  $\infty$ .

6. Соединить наконечник щупа со свободным зажимом  $R_x$  прибора.

7. Прижать острие щупа к заземленному (испытываемому) объекту и, не нажимая кнопки, убедиться в отсутствии на нем напряжения. При отсутствии напряжения стрелка прибора остается в покое. При наличии напряжения на испытываемом объекте прибор должен оставаться включенным не более 30 с.

***Внимание! При наличии напряжения на корпусе объекта нажимать кнопку запрещается.***

8. Нажать кнопку и произвести отсчет сопротивления. Величина сопротивления связи заземленного объекта и магистрали заземления не нормируется, но практикой установлено, что качественное подсоединение к магистрали заземления обеспечивает сопротивление не более 0,05 Ом.

9. Разобрать схему подключения прибора и привести прибор в походное положение.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Измерение величины сопротивления цепи фаза—нулевой защитный проводник и проверка целостности нулевого провода

### Приборы, инструмент и расходные материалы

1. Прибор М-417
2. Ключи гаечные, комплект

### Технология выполнения работ

Измерение величины сопротивления цепи «фаза—нуль» и проверка целостности нулевого провода проводится при вводе электроустановки в эксплуатацию и периодически в процессе эксплуатации не реже 1 раза в 5 лет для наиболее удаленных, а также наиболее мощных электроприемников, но не менее 10 % их общего числа, и после ремонта. Измерения выполняются расчетом в составе не менее двух человек.

1. Отключить питающее напряжение с испытываемого объекта. На привод коммутационного аппарата вывесить плакат «Не включать! Работают люди» и принять меры против ошибочной подачи напряжения.

2. Установить прибор на горизонтальную поверхность, открыть крышку и вынуть соединительные провода.

3. Ручку «КАЛИБРОВКА» поставить в левое крайнее положение.

4. Присоединить соединительные провода к зажимам прибора.

5. Один провод с помощью зажима присоединить к корпусу испытываемого объекта (электроприемника), обеспечив в месте соединения надежный контакт, а второй провод присоединить к одной из фаз сети на распределительном щите или непосредственно на щите объекта. Схема подключения приведена на рис. П.5.

6. Подать напряжение на измеряемый участок сети. При отсутствии обрыва нулевого провода на приборе загорится сигнальная лампа « $Z \neq \infty$ ». Если последняя не загорается, то это свидетельствует о наличии обрыва нулевого провода.

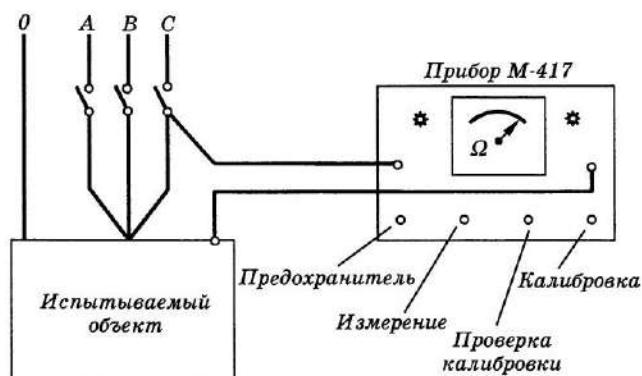


Рис. П.5 Схема подключения прибора М-417

7. Нажать кнопку «ПРОВЕРКА КАЛИБРОВКИ» и с помощью ручки «КАЛИБРОВКА» установить стрелку прибора на нуль.

8. Отпустить кнопку «ПРОВЕРКА КАЛИБРОВКИ» и нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ». Сопротивление цепи «фаза—нуль»  $R$  отсчитать по показанию стрелки шкалы прибора. Время измерения не более 4–7 с, с интервалом между измерениями не менее 0,5 мин.

Загорание сигнальной лампы « $Z > 2 \text{ Ом}$ » при нажатой кнопке «ИЗМЕРЕНИЕ» свидетельствует о сопротивлении цепи «фаза—нуль» измеряемого объекта больше 2 Ом. Повторные измерения производить только после проверки калибровки.

9. Отключить питающее напряжение с испытываемого объекта. На приводе коммутационного аппарата вывесить плакат «Не включать! Работают люди» и принять меры против ошибочной подачи напряжения на испытываемый объект.

10. Разобрать схему подключения прибора М-417 и подать напряжение на объект.

11. Вычислить ток однофазного короткого замыкания

$$I_{\text{одн. к. з}} = \frac{U_{\Phi}}{Z},$$

где  $U_{\Phi}$  — фазное напряжение сети, В;  $Z$  — сопротивление цепи «фаза—нуль», Ом.

Ток однофазного короткого замыкания  $I_{\text{одн. к. з}}$  должен превышать не менее чем в 3 раза номинальный ток ближайшей плавкой вставки или в 1,5 раза — ток отключения максимального расцепителя соответствующего автоматического выключателя.

Наименование организации

ИНН

ОРГН

Адрес

Номер свидетельства о регистрации ЭЛ, наименование выдавшей организации, дата выдачи и срок действия

Заказчик:

Объект:

## ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_

проверки автоматического отключения питания путем замера  
полного сопротивления цепи фаза—нулевой защитный проводник

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

№ п/п	Наименование присоединения	Автомат, предохранитель			$t_{\max}$ , с	$I_{\min}$ , А	Z, Ом	$I_{\text{расч}}$ , А	Заключение о соответствии
		Тип	Ном. ток плавкой вставки или ном. ток автомата, А	Уставка расцепителя $I_{\text{КЗ}}$ , тип диапазона					
1	2			3			4		5

## Перечень применяемого испытательного оборудования и средств измерений

№ п/п	Наименование прибора	Заводской номер	Диапазон измерений	Основная погрешность	Номер свидетельства	Дата последней поверки	Дата очередной поверки

$t_{\max}$  — наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения; условие обеспечения защитного автоматического отключения в пределах нормированного времени:  $I_{\text{расч}} > I_{\min}$ , где  $I_{\text{расч}} = 0,85 \cdot U/Z$  — расчетный ток к. з.; 0,85 — понижающий коэффициент, учитывающий снижение фазного напряжения в питающей сети, переходное сопротивление в точке к. з., погрешность прибора; Z — непосредственное показание прибора, Ом;  $I_{\min}$  — минимальный допустимый ток к. з., А; Значение  $I_{\min}$  к. з.

Виды защиты от однофазных замыканий	Значение $I_{\min}$ при $t_{\max}$	
	0,4 с	5 с
Плавкая вставка предохранителя	$I_{\max}$ по время-токовой характеристике	$I_{\max}$ по время-токовой характеристике
Автоматический выключатель, соответствующий ГОСТ Р 50030-99	$I_{\text{отс}} \cdot 1,2$	$I_{\max}$ по время-токовой характеристике с холодного состояния при $T = +5$ °С
Автоматический выключатель, соответствующий ГОСТ Р 50345-99 типа В, С, Д	$I_{\text{H}} \cdot 5; I_{\text{H}} \cdot 10; I_{\text{H}} \cdot 20$	$I_{\max}$ по время-токовой характеристике с холодного состояния при $T = +5$ °С

$I_{\max} = K_T \cdot I_{\text{ВТХ}}$ ; где  $K_T$  — температурный коэффициент, который рассчитывается из условия: при уменьшении температуры наружного воздуха на 2 °С, ток срабатывания теплового расцепителя увеличивается на 1 % (используется для приведения время-токовых характеристик, снятых при различных температурах, к температуре +5 °С). Для время-токовой характеристики, снятой при +40 °С,  $K_T = 1,18$ , при +20 °С,  $K_T = 1,08$ .

$I_{\text{ВТХ}}$  — ток срабатывания теплового расцепителя при температуре, отличной от +5 °С.

Нормативный документ, на соответствие требованиям которого проведены испытания: ПУЭ 1.7.79.

Заключение:

Измерения проводили:

Должность подпись

Ф.И.О.

ИНН физического лица

Руководитель ЭЛ

подпись

Ф.И.О.

м.п.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

## Наибольшие значения сопротивлений ЗУ электроустановок и воздушных линий электропередач

Т а б л и ц а П.1

Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземлителей  
опор воздушных линий электропередачи

Характеристика объекта	Удельное сопротивление грунта $\rho$ , Ом · м	Сопротивление, Ом
<i>Линии на напряжение выше 1000 В</i>		
Опоры, имеющие грозозащитный трос или другие устройства грозозащиты; металлические и железобетонные опоры ВЛ 35 кВ и такие же опоры ВЛ 3–20 кВ в населенной местности, заземлители оборудования на опорах линий 110 кВ и выше	До 100	10*
	От 100 до 500	15*
	От 500 до 1000	20*
	От 1000 до 5000	30*
	Более 5000	$6 \cdot 10^3 \rho^*$
Электрооборудование, установленное на опорах ВЛ 3–35 кВ	—	$250/I_p^{**}$ , но не более 10
Металлические и железобетонные опоры ВЛ 3–20 кВ в ненаселенной местности	До 100 Более 100	30 0,3 $\rho$
Трубчатые разрядники на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами, вентильные разрядники на кабельных вставках подходов к подстанциям с вращающимися машинами	—	5
Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами	—	3
Опоры с тросом на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами	—	10
<i>Линии на напряжение до 1000 В<sup>***</sup></i>		
Опора ВЛ с устройствами грозозащиты	—	30
Опоры с повторными заземлителями нулевого провода при напряжении источника питания:	До 100	15
	Более 100	0,15 $\rho$
	До 100	30
	Более 100	0,3 $\rho$
660/380 В	До 100	60
380/220 В	Более 100	0,6 $\rho$
220/127 В	До 100	60
	Более 100	0,6 $\rho$
* Для опор высотой более 40 м на участках ВЛ, защищенных тросом, сопротивление заземлителей должно быть в 2 раза меньше указанных в таблице.		
** $I_p$ — расчетный ток замыкания на землю, в качестве которого принимается: в сетях без компенсации емкостного тока замыкания на землю — ток замыкания на землю;		

в сетях с компенсацией емкостного тока замыкания на землю:

- для электроустановок, к которым присоединены компенсирующие аппараты, — ток, равный 125 % номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов;
- для электроустановок, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, — ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов.

\*\*\* При удельном эквивалентном сопротивлении грунта более 100 Ом · м допускается увеличение приведенных значений в 0,01 ρ раз, но не более десятикратного.

Т а б л и ц а П.2

**Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств электроустановок**

Характеристика объекта	Удельное сопротивление грунта ρ, Ом · м	Сопротивление, Ом
Электроустановки на напряжение 110 кВ и выше сетей с эффективным заземлением нейтрали, выполненные по нормам на сопротивление	До 500 Более 500	0,5 0,001 ρ
Электроустановки 3–35 кВ сетей с изолированной нейтралью	До 500 Более 500	$250/I_p^*$ , но не более 10 Ом $125/I_p^*$ где $I_p$ — расчетный ток замыкания на землю, А
Электроустановки сетей напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью напряжением: 660/380 380/220 220/127	До 100 Более 100 До 100 Более 100 До 100 Более 100	15** (0,15 ρ) 30** (0,3 ρ) 60** (0,6 ρ)
Электроустановки сетей напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью при мощности источника питания: более 100 кВА До 100 кВА	До 500 Более 500	$50/I_p^*$ , но не более 4 Ом $50/I_p^*$ , но не более 10 Ом

\*  $I_p$  — см. сноску к табл. П.1.

\*\* Сопротивление заземляющего устройства с учетом повторных заземлений нулевого провода должно быть не более 2, 4 и 8 Ом при линейных напряжениях соответственно 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока и напряжениях 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

1. ГОСТ Р 50571.3–94. Электроустановки зданий ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. — М.: Госстандарт России, 1994. — 16 с., ил.
2. ГОСТ Р 50571.10–96. Электроустановки зданий ч. 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства и защитные проводники. — М.: Госстандарт России, 1996. — 10 с.
3. ГОСТ Р 50571.2–94. Электроустановки зданий ч. 3. Основные характеристики. — М.: Госстандарт России, 1995. — 64 с., ил.
4. ГОСТ Р 50571.1–93. Электроустановки зданий. Основные положения. — М.: Госстандарт России, 1993. — 14 с., ил.
5. ГОСТ Р 50571.8–94. Электроустановки зданий ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Общие требования по применению мер защиты для обеспечения безопасности. Требования по применению мер защиты от поражения электрическим током. — М.: Госстандарт России, 1994. — 18 с.
6. Карякин Р. Н., Добрынин В. К. Входное сопротивление протяженного вертикального заземлителя в многослойной земле. — Электричество, 1975. — № 8.
7. ГОСТ Р 50571.22–2000. Электроустановки зданий ч. 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 707. Заземление оборудования обработки информации. — М.: Госстандарт России, 2000. — 8 с., ил.
8. ГОСТ Р 50571.18–2000. Электроустановки зданий ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от напряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ. — М.: Госстандарт России, 2000. — 20 с., ил.
9. ГОСТ Р 50571.21–2000. Электроустановки зданий ч. 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 548. Заземляющие устройства и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации. — М.: Госстандарт России, 2000. — 16 с., ил.
10. ГОСТ Р 50571.9–94. Электроустановки зданий ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков. — М.: Госстандарт России, 1994. — 6 с., ил.
11. ГОСТ 12.1.038–82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов. — М.: Госстандарт СССР, 1982. — 4 с.
12. ГОСТ 12.1.030–81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. — М.: Госстандарт России, 1981. — 10 с.
13. ГОСТ Р МЭК 61293–2000. Оборудование электротехническое. Маркировка с указанием параметров и характеристик источника питания. Требования безопасности. — М.: Госстандарт России, 2001. — 10 с.
14. Строительные нормы и правила. СНиП 2.03.11–85. Нормы проектирования. Защита строительных конструкций от коррозии. — М.: Стройиздат, 1986. — 106 с., ил.
15. Правила устройства электроустановок. (ПУЭ, 6 издание — перераб. и доп.). — М.: Энергоатомиздат, 2003. — 640 с.
16. Маньков В. Д. Безопасность жизнедеятельности. Часть III. Безопасность эксплуатации электроустановок. — СПб.: ВИКУ им. А. Ф. Можайского, 2000. — 355 с., ил.
17. Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ РМ-016–2001. РД 153-34.0-03.150-0.0 (с изменениями и дополнениями). — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. — 210 с., ил.
18. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. Учеб. пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 480 с., ил.
19. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности. — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 486 с., ил.
20. Biegelmeier G., Kiefer G., Krefter K. H. Schutz in electrischen Anlagen. Bd. I. Gefahren durch den electrischen Strom. Offenbach, VDE — Verlag GMBH. 1996.



21. IEC Technical Report 497-1. Effects of current on human beings and livestock. Part 1; General aspects. Third edition/1994-09.
22. IEC Report 479-2. Effects of current passing through the human body. Part 2. Special aspects/Chapter 6. Effects of unidirectional single impulse of short duration/1994-09.
23. Dalziel C.F. Threshold 60 — Cycle Fibrillating Currents. Pow. App. And Syst., Oct., 1960.
24. Киселев А. П. Пороговые значения безопасного труда промышленной частоты. Труды МИИТ. Вып. 171. — М.: Трансжелдориздат, 1963. — 268 с.
25. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. — М.: Наука, 1980. — 680 с.
26. Карякин Р. Н., Солицев В. И. Заземляющие устройства промышленных ЭУ: Справочник электромонтажника. — М.: Электроатомиздат, 1989. — 191 с., ил.
27. Карякин Р. Н. Заземляющие устройства ЭУ: Справочник. — М.: ЗАО «Энергосервис», 1998. — 374 с., ил.
28. ГОСТ Р 50571.9-94. Электроустановки зданий ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков. — М.: Госстандарт России, 1995. — 12 с.
29. ГОСТ Р 50571.22-2000. Электроустановки зданий ч. 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 707. Заземление оборудования обработки информации. — М.: Госстандарт России, 2001. — 10 с., ил.
30. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП). — СПб.: ДЕАН, 2003. — 304 с.
31. Рекомендации по геофизическим работам при инженерных изысканиях для строительства (электроразведка). ПНИИС Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1984. — 186 с.
32. Руководство по интерпретации кривых ВЭЗ МДС. ПНИИС Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1984. — 122 с.
33. Строительные нормы и правила. СНИП 2.03.11-85. Нормы проектирования. Защита строительных конструкций от коррозии. — М.: Стройиздат, 1986. — 286 с.
34. Гордон С. В. Монтаж заземляющих устройств. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 198 с., ил.
35. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 54 с., ил.
36. Кораблев В. П. Устройства электробезопасности. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 88 с., ил.
37. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 824 с., ил.
38. Средства защиты в машиностроении: Справочник/С. В. Белов, А. Ф. Коряков и др./Под ред. С. В. Белова. — М.: Машиностроение, 1989. — 368 с., ил.
39. Заграничный С. Ф., Золотаренко А. С., Маньков В. Д. и др. Справочник по правилам и мерам безопасности. Вып. 1. Защитное заземление и зануление электроустановок. — СПб.: ВИКУ им. А. Ф. Можайского, 2000. — 99 с., ил.
40. Маньков В. Д., Заграничный С. Ф. Действие электрического тока на тело человека: Учеб. пособие. — СПб.: АНО УМИТЦ, 2002. — 43 с., ил.
41. Маньков В. Д., Заграничный С. Ф. Опасность поражения человека электрическим током и порядок оказания первой помощи при несчастных случаях на производстве: Практическое руководство. — СПб.: НОУДПО УМИТЦ «Электро Сервис», 2003. — 80 с., ил.
42. Правила устройства электроустановок (ПУЭ, 7 издание — разделы 1, 2, 4, 6 и 7). — М.: НЦ ЭНАС, 2003. — 260 с.
43. СО 153-34. 122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. — СПб.: ЦОТНБСП, 2004. — 48 с.
44. Маньков В. Д., Заграничный С. Ф. Виды защит обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях). Справочное пособие. — СПб.: НОУДПО УМИТЦ «Электро Сервис», 2004. — 280 с., ил.