

Мухортова Е.И., Валишин Д.Е.

Электронное учебное пособие

«Монтаж устройств заземления и зануления»

по дисциплине

БЗ.В.8 «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации»

Направление 110800 Агроинженерия

Профиль подготовки Электрооборудование и электротехнологии

Квалификация выпускника Бакалавр

УФА 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Материалы, представленные в электронном учебном пособии, предполагается использовать в учебном процессе в рамках Основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению *110800 Агроинженерия*, утвержденной ректором Башкирского ГАУ 29.08.2011 г. Профиль подготовки – *Электрооборудование и электротехнологии*.

Поскольку настоящее электронное учебное пособие предназначено для самостоятельной работы студентов, в его структуру и содержание заложены следующие *основные принципы*:

- соответствие рабочей программе дисциплины БЗ.В.8 «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации»;
- последовательность и логичность изложения материала;
- обеспечение возможности перемещения внутри электронного модуля и выбора учебной стратегии при самостоятельной работе;
- обеспечение максимальной наглядности излагаемого материала, достигаемое наличием необходимых иллюстраций к представленной информации по технологии монтажа заземляющего устройства.

- сочетание информационных и прикладных компонентов обучения, достигаемое рассмотрением примера монтажа заземляющего устройства , составленного на основе представленной информации;
- возможность привлечения электронных справочных и иллюстрационных и материалов по теме по ссылкам на Интернет-ресурсы библиографического списка;
- закрепление полученной информации при помощи автоматизированного тестового самоконтроля знаний;
- реализация программного продукта современными и доступными программными средствами.

Методические указания по изучению материалов электронного учебного.

Глоссарий составлен в соответствии с терминологией нормативных источников по рассматриваемой теме и приводится в первом разделе электронного учебного пособия.

Состав авторского коллектива, осуществившего разработку материала:

Мухортова Е.И. – канд. техн. наук, доцент кафедры электрических машин и электрооборудования Башкирского ГАУ;

Валишин Д.Е. – ст. преп. кафедры электрических машин и электрооборудования.

Материалы электронного учебного пособия зарегистрированы в ОФАП.

Контактные электронные адреса:

elena.muhortova1@mail.ru;

denis.w@mail.ru.

1 БЛОК НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

1.1 Основные термины и определения

В учебном пособии используется терминология, принятая в соответствии с ПУЭ [10] и другими действующими нормативными документами.

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.

Проводящая часть - часть, которая может проводить электрический ток.

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

Открытая проводящая часть (ОПЧ) - доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

Сторонняя проводящая часть (СПЧ) - проводящая часть, не являющаяся частью электроустановки.

Прямое прикосновение - электрический контакт людей или животных с токоведущими частями, находящимися под напряжением.

Косвенное прикосновение - электрический контакт людей или животных с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции.

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 открытым проводящим частям, оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции.

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

Искусственный заземлитель - заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

Естественный заземлитель - сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

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

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

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

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

Термин земля, используемый в главе, следует понимать как земля в зоне растекания.

Замыкание на землю - случайный электрический контакт между токоведущими частями, находящимися под напряжением, и землей.

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

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

Напряжение шага - напряжение между двумя точками на поверхности земли, на расстоянии 1 м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека.

Сопротивление заземляющего устройства - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

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

Защитное заземление - заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

Рабочее заземление - заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности).

Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ - преднамеренное соединение открытых проводящих частей 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 электробезопасности.

Уравнивание потенциалов - электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок для достижения равенства их потенциалов.

Защитное уравнивание потенциалов - уравнивание потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

Выравнивание потенциалов - 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.

Защитный заземляющий проводник - защитный проводник, предназначенный для защитного заземления.

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

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

Совмещенные нулевой защитный и нулевой рабочий (PEN) проводники - проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающие функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

Главная заземляющая шина (ГЗШ) - шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки до 1 кВ и предназначенная для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

Защитное автоматическое отключение питания - автоматическое размыкание цепи одного или нескольких фазных проводников (и, если требуется, нулевого рабочего проводника), выполняемое в целях электробезопасности.

Основная изоляция - изоляция токоведущих частей, обеспечивающая в том числе защиту от прямого прикосновения.

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

Двойная изоляция - изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, состоящая из основной и дополнительной изоляций.

Усиленная изоляция - изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, равноценную двойной изоляции.

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

Разделительный трансформатор - трансформатор, первичная обмотка которого отделена от вторичных обмоток при помощи защитного электрического разделения цепей.

1.2 Общие нормативные требования

Поскольку для питания электроприемников наибольшее распространение получили сети с напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, в учебном пособии приводятся нормативные требования ПУЭ [10], касающиеся этих сетей.

1.2.1 Меры и требования защиты при косвенном прикосновении

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания (защитное зануление);
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

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

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

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребо-

ваться при более низких напряжениях, например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока или 12 В переменного и 30 В постоянного тока при наличии требований соответствующих глав ПУЭ [10].

Требования защиты при косвенном прикосновении распространяются на:

1) корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т.п.;

2) приводы электрических аппаратов;

3) каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемных или открывающихся частей, если на последних установлено электрооборудование напряжением выше 50 В переменного или 120 В постоянного тока (в случаях, предусмотренных соответствующими главами ПУЭ - выше 25 В переменного или 60 В постоянного тока);

4) металлические конструкции распределительных устройств, кабельные конструкции, кабельные муфты, оболочки и броню контрольных и силовых кабелей, оболочки проводов, рукава и трубы электропроводки, оболочки и опорные конструкции шинпроводов (токопроводов), лотки, короба, струны, тросы и полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с зануленной или заземленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование;

5) металлические оболочки и броню контрольных и силовых кабелей и проводов на напряжения, не превышающие указанные в п. [1.2.1](#), проложенные на общих металлических конструкциях, в том числе в общих трубах, коробах, лотках и т.п., с кабелями и проводами на более высокие напряжения;

6) металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;

7) электрооборудование, установленное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

При применении в качестве защитной меры автоматического отключения питания указанные открытые проводящие части должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания в системе TN и заземлены в системах IT и TT .

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

1) корпуса электрооборудования и аппаратов, установленных на металлических основаниях: конструкциях, распределительных устройствах, щитах, шкафах, станинах станков, машин и механизмов, присоединенных к нейтрали источника питания или заземленных, при обеспечении надежного электрического контакта этих корпусов с основаниями;

2) конструкции, перечисленные выше, при обеспечении надежного электрического контакта между этими конструкциями и установленным на них электрооборудованием, присоединенным к защитному проводнику;

3) съемные или открывающиеся части металлических каркасов камер распределительных устройств, шкафов, ограждений и т.п., если на съемных (открывающихся) частях не установлено электрооборудование или если напряжение установленного электрооборудования не превышает значений, указанных в [п.1.2.1](#);

4) арматуру изоляторов воздушных линий электропередачи и присоединяемые к ней крепежные детали;

5) открытые проводящие части электрооборудования с двойной изоляцией;

6) металлические скобы, закрепы, отрезки труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия и другие подобные детали электропроводок площадью до 100 см^2 , в том числе протяжные и ответвительные коробки скрытых электропроводок.

1.2.2 Защитное заземление

Для заземления электроустановок могут быть использованы искусственные и естественные заземлители. Если при использовании естественных заземлителей сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеет допустимое значение, а также обеспечиваются нормированные значения напряжения на заземляющем устройстве и допустимые плотности токов в естественных заземлителях, выполнение искусственных заземлителей в электроустановках до 1 кВ не обязательно. Использование естественных заземлителей в качестве элементов заземляющих устройств не должно приводить к их повреждению при протекании по ним токов короткого замыкания или к нарушению работы устройств, с которыми они связаны.

Для заземления в электроустановках разных назначений и напряжений, территориально сближенных, следует, как правило, применять одно общее заземляющее устройство.

Заземляющее устройство, используемое для заземления электроустановок одного или разных назначений и напряжений, должно удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к заземлению этих электроустановок: защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции, условиям режимов работы сетей, защиты электрооборудования от перенапряжения и т.д. в течение всего периода эксплуатации. В первую очередь должны быть соблюдены требования, предъявляемые к защитному заземлению.

Заземляющие устройства защитного заземления электроустановок зданий и сооружений и молниезащиты 2-й и 3-й категорий этих зданий и сооружений, как правило, должны быть общими.

Для объединения заземляющих устройств разных электроустановок в одно общее заземляющее устройство могут быть использованы естественные и искусственные заземляющие проводники. Их число должно быть не менее двух.

Требуемые значения напряжений прикосновения и сопротивления заземляющих устройств при стекании с них токов замыкания на землю и токов утечки

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

При определении сопротивления заземляющих устройств должны быть учтены искусственные и естественные заземлители.

При определении удельного сопротивления земли в качестве расчетного следует принимать его сезонное значение, соответствующее наиболее неблагоприятным условиям.

Заземляющие устройства должны быть механически прочными, термически и динамически стойкими к токам замыкания на землю.

1.2.3 Автоматическое отключение питания (защитное зануление)

Электроустановки напряжением до 1 кВ жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок должны, как правило, получать питание от источника с глухозаземленной нейтралью с применением системы *TN*.

Для защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

При применении защитного автоматического отключения питания должна быть выполнена основная система уравнивания потенциалов в соответствии с [требованиями](#) ПУЭ [10], а при необходимости также дополнительная система уравнивания потенциалов.

При применении системы *TN* рекомендуется выполнять повторное заземление *PE*- и *PEN*-проводников на вводе в электроустановки зданий, а также в других доступных местах. Для повторного заземления в первую очередь следует использовать естественные заземлители. Сопротивление заземлителя повторного заземления не нормируется.

Внутри больших и многоэтажных зданий аналогичную функцию выполняет уравнивание потенциалов посредством присоединения нулевого защитного проводника к главной заземляющей шине.

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 TN , и заземлены, если применены системы IT или TT . При этом характеристики защитных аппаратов и параметры защитных проводников должны быть согласованы, чтобы обеспечивалось нормированное время отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом в соответствии с номинальным фазным напряжением питающей сети.

Для автоматического отключения питания могут быть применены защитно-коммутационные аппараты, реагирующие на сверхтоки или на дифференциальный ток.

В системе TN время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в таблице 1.1 [10].

Таблица 1.1 Наибольшее допустимое время 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

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.

В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и др. щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

Допускаются значения времени отключения более указанных в таблице 1.1, 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:

$$50 Z_{\text{ц}}/U_0,$$

где $Z_{\text{ц}}$ - полное сопротивление цепи «фаза-нуль», 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 *PE* распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.

Допускается применение УЗО, реагирующих 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 *PE*-проводник электроприемника должен быть подключен к *PEN*-проводнику цепи, питающей электроприемник, до защитно-коммутационного аппарата.

1.2.4 Требования к заземляющим устройствам электроустановок напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью

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.

Во всех случаях должны быть приняты меры по обеспечению непрерывности цепи заземления и защите заземляющего проводника от механических повреждений.

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 ВЛ 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 [10].

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

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Защитное заземление: определение, принцип работы

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение ОПЧ электроустановки или электрооборудования с заземляющим устройством, выполненное в целях электробезопасности.

Принцип действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью в случае появления напряжения на корпусе электрооборудования состоит в следующем (рисунок 2.1).

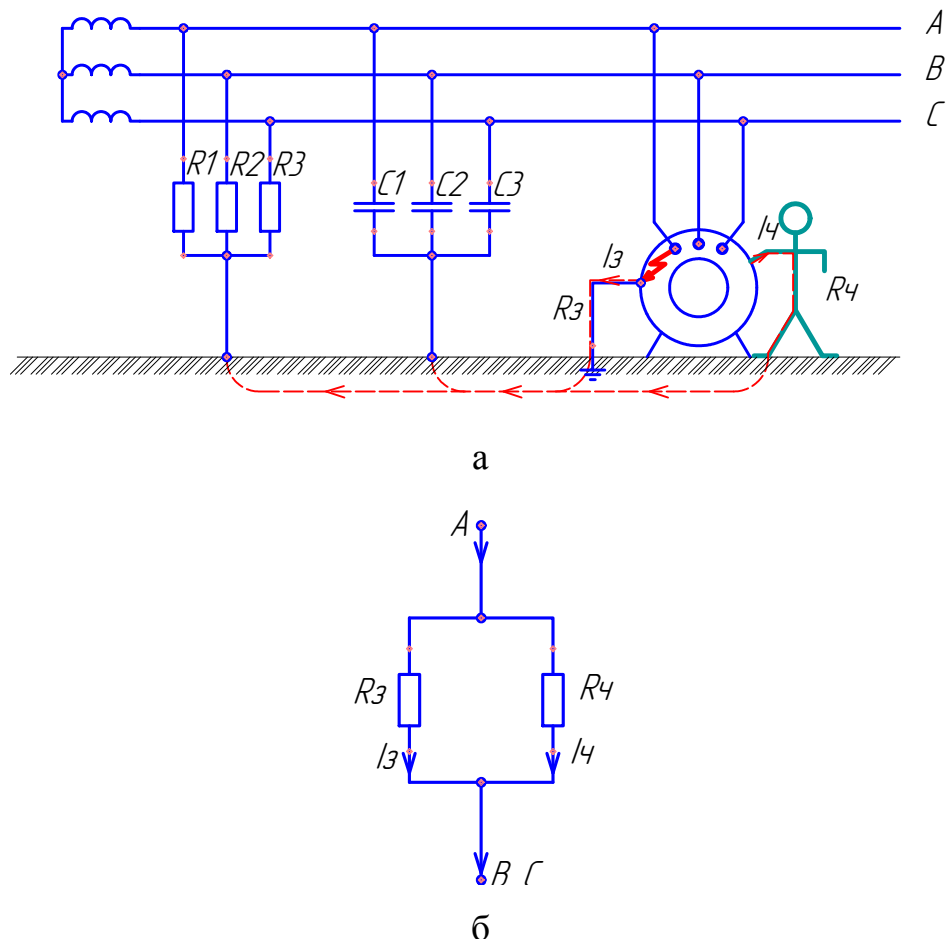


Рисунок 2.1 Защитное действие заземления в сетях с изолированной нейтралью: а – схема сети и прикосновения человека к корпусу; б – распределение тока при коротком замыкании

При прикосновении человека к корпусу электрооборудования, оказавшегося под напряжением, ток однофазного замыкания проходит по двум направлениям через параллельно включенные сопротивления: через тело человека сопротивлением $R_{ч}$ и сопротивление цепи заземляющего устройства $R_{з}$. Ток распределяется по параллельным ветвям обратно пропорционально их сопротивлениям. Уменьшая сопротивление цепи заземляющего устройства можно создать условия, при которых ток через тело человека будет безопасным. Поэтому величина сопротивления заземляющего устройства нормируется ПУЭ [10] и составляет не более 4 Ом в сетях с изолированной нейтралью источника питания.

В сетях с глухозаземленной нейтралью источника питания сопротивление заземляющего устройства зависит от величины линейного напряжения. В сетях с напряжением до 1000 В сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трёхфазного тока [10].

Заземлению подлежат металлические части электроустановок нормально не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции, т.е. должны быть заземлены корпуса электродвигателей, электроаппаратуры, трансформаторов, светильников, каркасы распределительных устройств, металлические оболочки кабелей, корпуса муфт и т.п. (см. раздел 1 пояснительной записки).

2.2 Защитное зануление: определение, принцип работы

Защитное зануление - преднамеренное электрическое соединение ОПЧ электроустановки или электрооборудования с нулевым защитным проводником, выполненное в целях электробезопасности.

В этом случае ток замыкания на землю не зависит от сопротивления заземляющего устройства нейтрали источника питания, а определяется сопротивлением фазного и нулевого провода (рисунок 2.2).

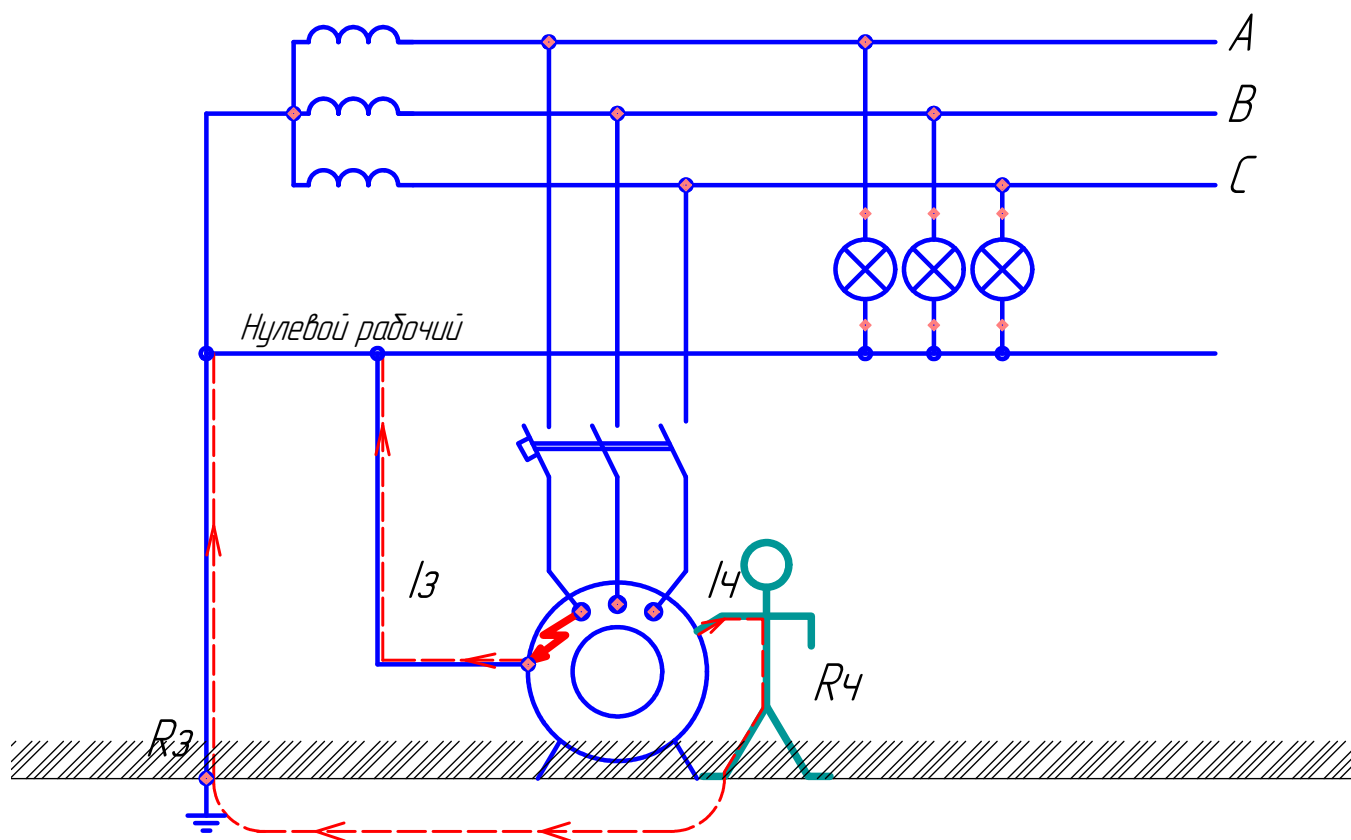


Рисунок 2.2 Схема зануления электрооборудования и цепь тока замыкания на корпус в сети с глухозаземленной нейтралью

При повреждении изоляции фазы и замыкании ее на корпус возникает ток короткого замыкания, способный обеспечить срабатывание максимальной токовой защиты и, следовательно, автоматическое отключение поврежденной электроустановки. Защитное зануление применяется в сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью [10].

Основное требование ПУЭ к устройству защитного зануления – обеспечить такой ток к.з., при котором возможно отключение аварийного участка. При повреждении изоляции и возникновении короткого замыкания на корпусах за-

нулевого оборудования возникают значительные потенциалы относительно земли, поэтому быстрое отключение аварийного электрооборудования – одно из основных требований к системе зануления в отношении электробезопасности.

ПУЭ рекомендуют многократно заземлять нулевой провод на воздушных линиях электропередачи. Это связано с тем, что в отличие от кабельных ЛЭП, на воздушных возможен обрыв нулевого провода.

Основные недостатки защитного зануления:

- при обрыве нулевого провода защита не отключает поврежденный участок;
- недостаточно быстрое срабатывание аппаратов защиты приводит к повышенной опасности на время отключения;
- при повреждении электрооборудования зануление способствует выносу потенциала по нулевому проводу на исправное оборудование, что приводит к расширению опасной зоны;
- при удаленных коротких замыканиях в сети токи к.з. могут оказаться недостаточными для срабатывания защиты и отключения аварийного участка.

Несмотря на указанные недостатки защитное зануление обеспечивает большую степень электробезопасности. Поэтому, согласно рекомендациям ПУЭ [10] в электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью или глухозаземленным выводом источника однофазного тока, а также с глухозаземленной средней точкой в трехпроводных сетях постоянного тока должно быть выполнено зануление электрооборудования. Защитное заземление электрооборудования может выполняться одновременно с его занулением. Применение в таких электроустановках заземления корпусов электроприемников без их зануления не допускается.

2.3 Автоматическое отключение питания при защитном занулении

Общие нормативные требования к автоматическому отключению питания приведены в разделе 1 пояснительной записки.

В электрических сетях до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью для автоматического отключения питания согласно ПУЭ [10] могут быть применены защитно-коммутационные аппараты, реагирующие на сверхтоки или на дифференциальный ток - автоматические выключатели, дифференциальные автоматические выключатели и устройства защитного отключения (УЗО) (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 Устройство защитного отключения (УЗО)

Применение УЗО является эффективной и очень перспективной мерой защиты. Основными характеристиками устройств защитного отключения являются: значение тока утечки, на которое реагирует устройство, называемое уставкой срабатывания, и быстродействие.

К УЗО предъявляются следующие требования [10, 16]:

- УЗО должно отключать защищаемый участок сети при появлении в нем синусоидального переменного или пульсирующего постоянного (в зависимости от модификации) тока утечки, равного отключающему дифференциальному току устройства;

- УЗО, функционально не зависящее от напряжения питания, не должно срабатывать при снятии и повторном включении напряжения сети;

- УЗО не должно производить автоматическое повторное включение;

- УЗО, функционально не зависящее от напряжения питания, не должно зависеть от наличия напряжения в контролируемой сети, должно сохранять работоспособность при обрыве нулевого или фазного проводов;

- УЗО должно быть устойчивым к нежелательному срабатыванию при бросках тока на землю, вызванных включением емкостной нагрузки;

- УЗО должно быть стойким к импульсам перенапряжений.

2.4 Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ. Главная заземляющая шина

При применении защитного автоматического отключения питания должна быть выполнена основная система уравнивания потенциалов в соответствии с требованиями ПУЭ [10], а при необходимости также дополнительная система уравнивания потенциалов.

Согласно ПУЭ [10] основная система уравнивания потенциалов должна соединять между собой следующие проводящие части:

- нулевой защитный *PE*- или *PEN*-проводник питающей линии в системе *TN*;

- заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах *IT* и *TT*;

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

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

- металлические части каркаса здания;

- металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования.

- заземляющее устройство системы молниезащиты 2-й и 3-й категорий;

- заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;

- металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ показана на рисунке 2.4

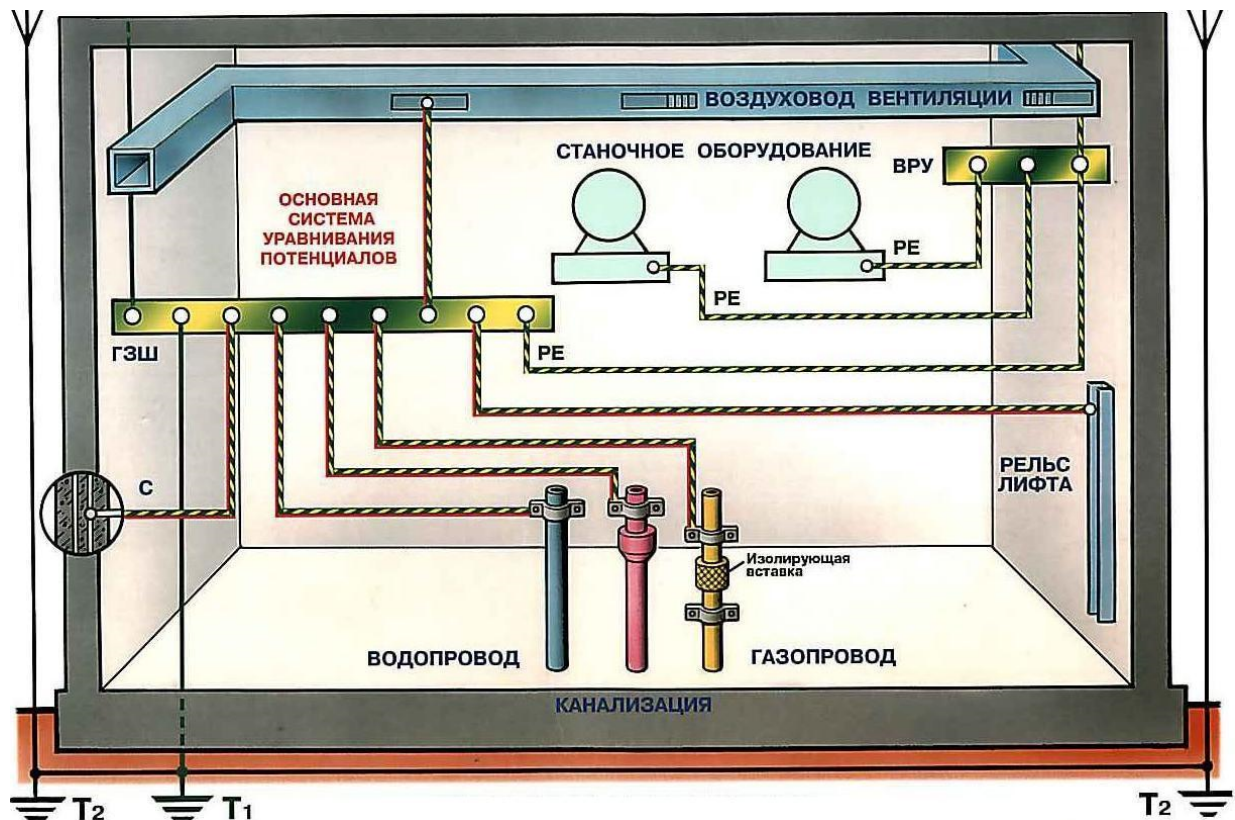


Рисунок 2.4 Система уравнивания потенциалов

Главная заземляющая шина (ГЗШ) - шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки до 1кВ и предназначенная для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

Главная заземляющая шина может быть выполнена внутри вводного устройства электроустановки напряжением до 1 кВ или отдельно от него [10].

Внутри вводного устройства в качестве главной заземляющей шины следует использовать шину PE.

При отдельной установке главная заземляющая шина должна быть расположена в доступном, удобном для обслуживания месте вблизи вводного устройства. Сечение отдельно установленной главной заземляющей шины должно быть не менее сечения *PE (PEN)*-проводника питающей линии.

Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Применение алюминиевых шин 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 (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 Главная заземляющая шина

2.5 Системы заземления электроустановок

Для систем заземления электроустановок напряжением до 1 кВ приняты следующие обозначения:

- *система TN* - система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземлённой нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;

- *система TN-C* - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении;

- *система TN-S* - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рисунок 2.6);

- *система TN-C-S* - система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рисунок 2.7);

- *система IT* - система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (рисунок 2.8);

- *система TT* - система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (рисунок 2.9).

Первая буква обозначения - состояние нейтрали источника питания относительно земли:

T - заземленная нейтраль;

I - изолированная нейтраль.

Вторая буква - состояние открытых проводящих частей относительно земли:

T - открытые проводящие части заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети;

N - открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Последующие (после N) буквы - совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников; S - нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены;

C - функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (PEN-проводник) [10].

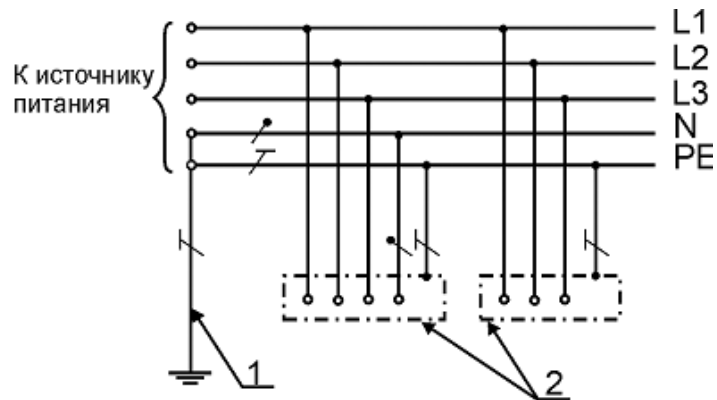


Рисунок 2.6 Система $TN-S$ переменного тока. Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены

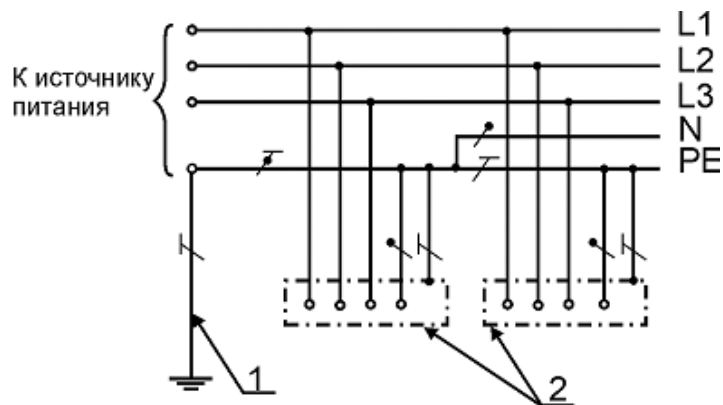


Рисунок 2.7 Система $TN-C-S$ переменного тока. Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике в части системы

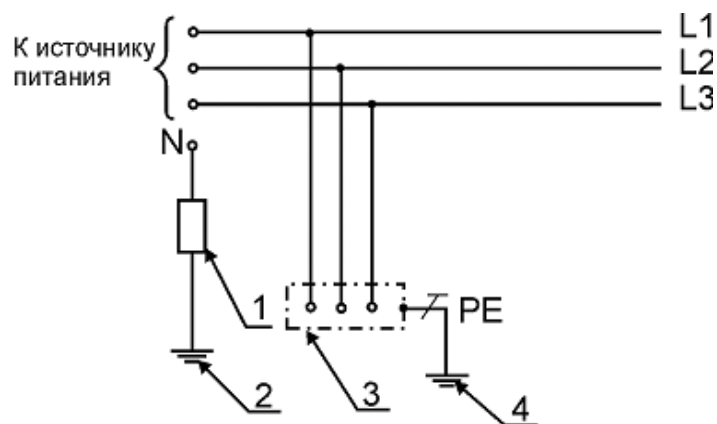


Рисунок 2.8 Система *IT* переменного тока. Открытые проводящие части электроустановки заземлены. Нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через большое сопротивление

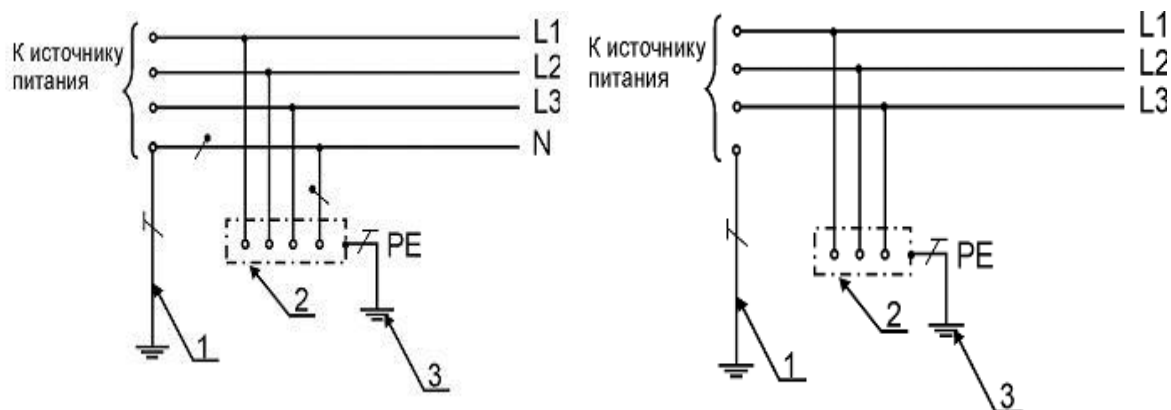


Рисунок 2.9 Система *TT* переменного (*а*) и постоянного (*б*) тока. Открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземления, электрически независимого от заземлителя нейтрали

3 МОНТАЖ УСТРОЙСТВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ

3.1 Монтаж заземляющих устройств

3.1.1 Естественные заземлители

В качестве естественных заземлителей рекомендуется использовать сооружения, указанные в таблице 3.1 [10].

Таблица 3.1 Естественные заземлители

Естественные заземлители	Пояснения к использованию
1	2
Железобетонные фундаменты зданий, в том числе имеющие защитные гидроизоляционные покрытия в неагрессивных и слабоагрессивных средах	Для соединения арматуры железобетонных колонн с арматурой фундамента необходимо использовать перемычку диаметром не менее 12 мм.

Железобетонные фундаменты технологических, кабельных, совмещенных эстакад в неагрессивных и слабоагрессивных грунтах	Металлическое соединение арматуры железобетонных опор и фундаментов являются обязательным.
Кабельные тоннели из сборного железобетона при условии установки в них закладных деталей, приваренных к арматуре тоннеля, и последующего соединения закладных деталей стальными перемычками	Допускается использовать в качестве дополнительных естественных заземлителей
Рельсы электрифицированных железных дорог на станциях и перегонах, а также рельсы подъездных путей тяговых подстанций переменного тока	Заземляющие проводники должны присоединяться к рельсам только механическим способом без применения сварки
Рельсы кранового пути при установке крана на открытом воздухе. Стыки рельсов должны быть надежно соединены сваркой, приваркой перемычек	Рельсы должны быть присоединены к дополнительному заземлителю, располагаемому вблизи крана
Обсадные трубы скважин	-
Заземлители опор воздушных линий электропередачи, соединенные с заземляющим устройством электроустановки при помощи грозозащитного троса линии	-
Металлические шунты гидротехнических сооружений, водоводы, затворы и т.п.	-
Заземлители повторных заземлений нулевых проводников воздушных линий напряжением до 1 кВ в случае использования не менее двух воздушных линий	-
Проложенные в земле металлические трубопроводы, кроме трубопроводов канализации и центрального отопления. Запрещается применять в качестве естественных заземлителей чугунные трубопроводы и временные трубопроводы строительных площадок	Если на трубопроводах, используемых в качестве протяженных заземлителей, установлены задвижки, водомеры или болтовые фланцевые соединения, то в этих местах следует смонтировать обходные перемычки из полосовой стали сечением не менее 100 мм ² . Перемычки приварива-

	ют непосредственно к трубам или хомутам, установленным на трубопроводе
Свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле. Оболочки кабелей могут служить естественными заземлителями при числе кабелей не менее двух	Алюминиевые оболочки кабелей не допускается использовать в качестве заземлителей

3.1.2 Искусственные заземлители

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 [17], в дополнение к естественным заземлителям необходимо сооружать искусственные вертикальные и горизонтальные заземлители. Искусственные заземлители могут быть выполнены из черной или оцинкованной стали или медными. Искусственные заземлители не должны иметь окраски.

Длина вертикальных электродов определяется проектом, но не должна быть менее 1 м; верхний конец вертикальных заземлителей должен быть заглублен, как правило, на 0,5 ... 0,7 м.

Горизонтальные заземлители используют для связи вертикальных заземлителей или в качестве самостоятельных заземлителей. Глубина прокладки горизонтальных заземлителей - не менее 0,5...0,7 м. Меньшая глубина прокладки допускается в местах их присоединений к оборудованию, при вводе в здания, при пересечении с подземными сооружениями и в зонах многолетнемерзлых и скальных грунтов.

Горизонтальные заземлители в местах пересечения с подземными сооружениями, железнодорожными путями и дорогами, а также в других местах возможных механических повреждений, следует защищать металлическими или асбоцементными трубами.

Прокладку заземлителей параллельно кабелям или трубопроводам следует выполнять на расстоянии не менее 0,3 м, а при пересечениях - не менее 0,1 м.

В случае опасности коррозии заземляющих устройств следует выполнить одно из следующих мероприятий: увеличить сечения заземлителей и заземляющих проводников с учетом расчетного срока их службы; применить заземлители и заземляющие проводники с гальваническим покрытием или медные.

Сечение заземлителей с учетом коррозионной активности грунта следует выбирать по таблице 3.2 [10].

Таблица 3.2 Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм	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	-

Примечание: * Диаметр каждой проволоки.


3.2 Монтаж заземляющих и нулевых защитных проводников

3.2.1 Заземляющие проводники

Наименьшие сечения заземляющих проводников, проложенных в земле, должны соответствовать приведенным в таблице 3.2. Прокладка в земле алюминиевых неизолированных проводников не допускается.

Сечения заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1 кВ должны соответствовать требованиям ПУЭ [10] к защитным проводникам (таблица 3.3).

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

У мест ввода заземляющих проводников в здания должен быть предусмотрен опознавательный знак .

Защитные проводники могут быть естественными и искусственными, изолированными и неизолированными. Для защитных проводников следует применять сталь, алюминий и в обоснованных случаях медь.

3.2.2 Защитные проводники (РЕ-проводники)

В качестве РЕ-проводников в электроустановках напряжением до 1 кВ могут использоваться [4, 10]:

- 1) Специально предусмотренные проводники:
 - жилы многожильных кабелей;
 - изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами;
 - стационарно проложенные изолированные или неизолированные проводники;
- 2) открытые проводящие части электроустановок:
 - алюминиевые оболочки кабелей;

- стальные трубы электропроводок;
- металлические оболочки и опорные конструкции шинопроводов и комплектных устройств заводского изготовления.

Металлические короба и лотки электропроводок можно использовать в качестве защитных проводников при условии, что конструкцией коробов и лотков предусмотрено такое использование, о чем имеется указание в документации изготовителя, а их расположение исключает возможность механического повреждения;

3) Некоторые сторонние проводящие части:

- металлические строительные конструкции зданий и сооружений (фермы, колонны и т.п.);
- арматура железобетонных строительных конструкций зданий при условии выполнения требований [10];
- металлические конструкции производственного назначения (подкрановые рельсы, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т.п.).

Использование открытых и сторонних проводящих частей в качестве *РЕ*-проводников допускается, если они отвечают требованиям ПУЭ [10] к проводимости и непрерывности электрической цепи.

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.

Наименьшие площади поперечного сечения защитных проводников должны соответствовать таблице 3.3 [4, 10].

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 приведенным.

Таблица 3.3 Наименьшие сечения защитных проводников

Сечение фазных проводников, мм ²	Наименьшее сечение защитных проводников, мм
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Неизолированные *PE*-проводники должны быть защищены от коррозии. В местах пересечения *PE*-проводников с кабелями, трубопроводами, железнодорожными путями, в местах их ввода в здания и в других местах, где возможны механические повреждения *PE*-проводников, эти проводники должны быть защищены.

3.2.3 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 мм² по меди или 16 мм² 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 и постоянного тока. В качестве нулевого защитного проводника в таких цепях должен быть предусмотрен отдельный третий проводник.

Специально предусмотренные *PEN*-проводники должны соответствовать требованиям [4, 10] к сечению защитных проводников (см. таблицу 3.3), а также

требованиям к нулевому рабочему проводнику. Изоляция *PEN*-проводников должна быть равноценна изоляции фазных проводников.

Когда нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены начиная с какой-либо точки электроустановки, не допускается объединять их за этой точкой по ходу распределения энергии. В месте разделения *PEN*-проводника на нулевой защитный и нулевой рабочий проводники необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины для проводников, соединенные между собой. *PEN*-проводник питающей линии должен быть подключен к зажиму или шине нулевого защитного *PE*-проводника.

Каждая часть электроустановки, подлежащей 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 электроустановки не допускается (рисунок 3.1).

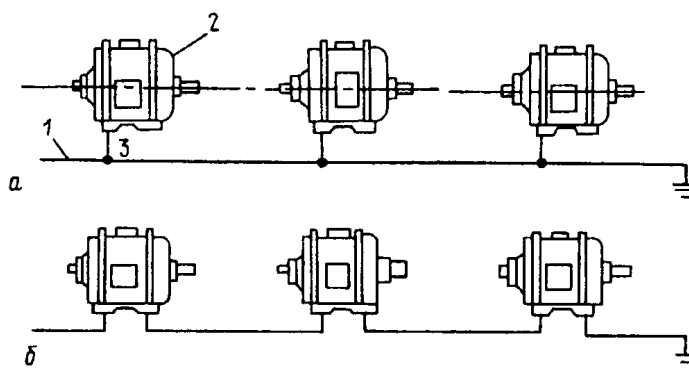


Рисунок 3.1 Присоединение частей электроустановки к сети заземления (зануления): а – правильное; б – неправильное; 1 - магистраль заземления; 2 – заземляемая часть электроустановки; 3 - ответвление к магистрали заземления (зануления)

Защитные проводники должны представлять собой непрерывную электрическую цепь на всем протяжении их использования.

В цепи защитных проводников не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей.

В цепи PEN-проводников допускается применение выключателей, которые одновременно с PEN-проводниками отключают все провода, находящиеся под напряжением. Однополюсные выключатели следует устанавливать в фазных проводниках, а не в PEN-проводнике.

3.2.4 Требования при монтаже заземляющих и нулевых защитных проводников

Заземляющие проводники следует прокладывать горизонтально или вертикально, допускается также прокладка их параллельно наклонным конструкциям зданий. Для крепления плоских заземляющих проводников к кирпичным и бетонным основаниям следует использовать строительно-монтажный пистолет.

В сухих помещениях полосы заземления можно прокладывать непосредственно по строительным основаниям, в сырых и особо сырых помещениях и в помещениях с химически активной средой полосы следует прокладывать на опорах. В качестве опор используются закладные изделия в железобетонных основаниях, держатели шин заземления К 188 У2, при этом расстояние от поверхности основания до заземляющих проводников должно быть не менее 10 мм [3].

Держатели крепятся к строительным основаниям приваркой, пристрелкой, с помощью дюбелей или шурупами.

Опоры крепления заземляющих проводников следует устанавливать с соблюдением расстояний, указанных в таблице 3.4

Таблица 3.4 Рекомендуемые расстояния между опорами креплений заземляющих проводников

Расположение опор	Расстояния, мм
На прямых участках (между креплениями)	600...1000
На поворотах (от вершин углов)	100
От мест ответвлений	100
От нижней поверхности съемных перекрытий каналов	50
От уровня пола помещения	400...600

В местах ввода в здания, перекрещивания с трубопроводами, железнодорожными путями и других, где возможны механические повреждения, защитные проводники должны иметь механическую защиту.

Проходы неизолированных проводников через стены и перекрытия внутри здания следует выполнять, как правило, с непосредственной заделкой мест прохода, в том числе, если проход выполняют в трубах. В этих местах защитные проводники не должны иметь соединений и ответвлений. Размеры проема должны быть минимальными, обеспечивающими свободный проход проводника.

При пересечении заземляющими проводниками дверных и стенных проемов, каналов и т.п. необходимо выполнять обходы с открытой прокладкой проводников [3].

Если открытая прокладка проводника невозможна, допускается обход заземляющего проводника выполнять в стальной трубе (рисунок 3.2).

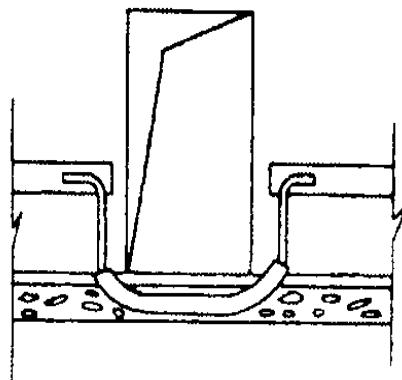


Рисунок 3.2 Обход заземляющим проводником дверных и других проемов снизу

Соединение заземляющих и нулевых защитных проводников между собой должно выполняться сваркой.

Места соединения стыков после сварки должны быть окрашены. В сухих помещениях для этого следует применять асфальтовый лак, масляные краски или нитроэмали.

В сырых помещениях или помещениях с едкими парами окраску следует производить красками, стойкими в отношении химических воздействий, например, поливинилхлоридными эмалями.

Допускается выполнять соединения защитных проводников теми же способами, что и фазных проводников.

Работу по монтажу искусственных заземляющих проводников необходимо производить в объеме, предусмотренном проектом, в следующей последовательности:

- разметить линии прокладки проводников, определить места проходов и обходов;
- просверлить или пробить отверстия проходов сквозь стены и перекрытия;
- установить опоры, проложить и закрепить предварительно окрашенные заземляющие проводники или закрепить проводники с помощью пристрелки (для сухих помещений);
- соединить проводники между собой сваркой;
- произвести окраску мест соединения проводников.

После монтажа заземляющих проводников должен быть составлен акт осмотра и проверки состояния открыто проложенных заземляющих проводников.

3.3 Монтаж наружных и внутренних контуров заземления

3.3.1 Монтаж наружного контура заземления

Наружный (внешний) контур заземления представляет собой систему заглубленных вертикально в грунт электродов, соединенных между собой системой горизонтальных электродов. Количество и материал электродов определяются проектом.

Монтаж наружного контура заземления включает следующие технологические операции [3, 19]:

1) Разметка и устройство траншеи

Расстояние от наружных стен объекта до центра траншеи должно быть не менее 2...2,5 м. Рытье траншеи обычно производят механизированным спосо-

бом. Траншею выполняют глубиной 0,8 м, ширина дна – не менее 500 мм.

2) Заглубление вертикальных электродов в грунт

Вертикальные электроды (заземлители) представляют собой стальные стержни диаметром 10...14 мм и длиной не менее 5 м, либо стальной уголок с толщиной полки не менее 4 мм и длиной не менее 3 м. Для уменьшения коррозии заземлителей обычно используют оцинкованные электроды.

При монтаже заземляющего устройства заглубление в грунт электродов вертикальных заземлителей осуществляют различными способами:

- ввертывание;
- забивка электродов заземлителей;
- вдавливание.

Все перечисленные способы реализуются с применением средств механизации, что позволяет значительно сократить время монтажа и повысить качество монтажных работ. Рассмотрим их более подробно.

Ввертывание электродов заземлителей осуществляют электрозаглубителями различных типов [19]. Наиболее распространены ручные переносные электрозаглубители, выпускаемые промышленностью, имеющие электросверлильную машину и редуктор, понижающий частоту вращения обычно ниже 100 об/мин и, соответственно, увеличивающий крутящий момент на ввертываемом электроде. При пользовании этих заглубителей к концу электрода приваривают наконечник-забурник, обеспечивающий разрыхление грунта и облегчающий погружение, а также направляющий электрод в нужном направлении. Выпускаемый промышленностью наконечник представляет собой заостренную на конце и изогнутую по винтовой линии стальную полосу шириной 16 мм.

При отсутствии стандартных наконечников заостряют конец электрода. Около заостренного конца приваривают спираль из проволоки диаметром 4...6 мм и длиной около 1 м, образующую наконечник в виде бурава. Либо приваривают разрезанную и изогнутую стальную шайбу. С помощью этих приспособлений можно даже вернуть электрод в промерзший грунт при небольшой глубине

промерзания. При изготовлении электродов со спиралью нужно учитывать направление вращения применяемого заглубителя, так как в некоторых конструкциях электрозаглубителей с редуктором вращение левое, и винтовой электрод должен соответствовать этому, иначе электрод при ввертывании будет тормозиться.

Технические данные ручных переносных электрозаглубителей различных типов (ПЗ, ПВЭ, УВЭГ) отечественного производства:

- диаметр ввертываемого электрода – 12...16 мм;
- глубина погружения – 5 м;
- масса – 13...15 кг;
- напряжение питания – переменное, 220 В;
- номинальная мощность электрозаглубителя – 400...600 Вт;
- частота вращения электрода – 80 об/мин;
- подача электрода – ручная;
- зажим для электрода – автоматический.

Чтобы облегчить ввертывание электродов в плотные грунты, конструируют и изготавливают различные направляющие рамы, на которых устанавливают серийные заглубители или более мощные электрозаглубители с приводным электродвигателем и редуктором. Если электроснабжение на месте монтажа заземлителей отсутствует, можно использовать привод от небольшого бензодвигателя. Такие двигатели внутреннего сгорания выпускаются промышленностью для мотопил: «Дружба», «Урал» и «Тайга». На базе двигателя «Дружба» отечественными производителями выпускаются приспособления для ввертывания электродов заземления серии ПЗД. В отличие от электрозаглубителей бензомоторный механизм тяжелее и мощнее (обычно 4...5 л. с. или 3...4 кВт), что позволяет заглублять электроды большего диаметра, а если применить составные электроды – то и большей длины.

Забивку электродов заземлителей [19] в грунт производят машинами специального назначения, или приспособливают для этого серийные электрические

и пневматические молотки, электротрамбовки, бензоперфораторы, легкие копры, вибраторы и другие механизмы ударного и виброударного действия, а также и ручные приспособления для монтажа единичных заземлителей в удаленных местах. При забивке можно применять стальные электроды любого профиля – из углового проката, круглого или квадратного сечения. Однако наименьший расход металла (при одинаковой проводимости) и наибольшая устойчивость к грунтовой коррозии (в случае равного расхода металла) достигаются при использовании стержневых электродов круглого сечения.

При забивке в обычные грунты на глубину до 6 м рационально и экономично применять стержневые электроды диаметром 12...14 мм. При требуемой глубине до 10 м, а также при забивке коротких электродов в особо плотные грунты необходимы более прочные электроды диаметром от 16 до 20 мм. С помощью ударных механизмов трудно забить электроды глубже, чем на 10...12 м. Для этого рациональнее применить механизмы ударно-вибрационного действия – вибраторы, с помощью которых электроды легко погрузить даже в промерзший грунт, теряющий свою прочность под воздействием вибрации. Вибраторами можно погрузить электроды значительно глубже, чем при ввертывании и вдавливании.

Если при проектировании грунт не зондировали и электрические характеристики грунта неизвестны, то во избежание лишней работы монтаж глубинных заземлителей рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- подготовить отрезки электрода, их длину принять соответственно конструкции
- забить нижний отрезок электрода;
- измерить сопротивление растеканию забитого отрезка;
- приварить следующий отрезок электрода;
- забить второй отрезок и снова выполнить измерение;
- работу продолжать до достижения нужной проводимости.

Механические вибраторы часто устанавливают на трактор, на том же тракторе устанавливают и сварочный генератор для сварки отрезков электрода.

В других случаях используют электровибратор, подвешенный к крановой стреле, смонтированной на автомобиле. Для выполнения сварочных работ в кузове машины установлен сварочный трансформатор, а для электропитания трансформатора, привода стрелы и вибратора установлен электрогенератор. Кнопки управления установки смонтированы на стенке автомашины в защитном кожухе. Стрела грузоподъемностью 0,5 т вынесена на крышу фургона. Подъем вибратора занимает 2 мин, а погружение отрезка электрода длиной 3 м – около 5 мин.

Контур заземления монтируется с помощью такой установки звеном из двух рабочих, из которых один является шофером, а другой имеет совмещенную профессию электрослесаря и сварщика. Оба они обучены способам осмотра, измерения и проверки качества заземлителя. Звено монтирует электроды, сваривает их в контур, проверяет его и оформляет протокол измерения и акт осмотра заземлителя.

Забивку заземлителей можно также производить при помощи электромолок и пневмомолотков, серийно выпускаемых заводами. В мастерской заранее изготавливают отрезки стержневых электродов длиной по 2,5 м и к одному концу каждого отрезка приваривают муфту, изготовленную из трубы соответствующего диаметра и длиной 100 мм, прорезанную с любой стороны на толщину стенки вдоль. Прорезь нужна для продольного сварного шва.

При заготовке электродов их вставляют в муфту на 50 мм, приваривают поперечным швом торец муфты к электроду по его окружности и продольным швом длиной 50 мм вдоль прорези в муфте. Вторая половина длины муфты остается свободной для удобства соединения отрезков и забивки. Электромолоток с вставленным в него бойком, входящим своим концом в верхнюю половину муфты, надежно в ней удерживается и, вибрируя под действием собственной массы при включении источника энергии, забивает электрод.

В процессе забивки удерживать электромолоток руками не нужно, что значительно облегчает работу. Но для установки электромолотка массой до 21 кг на вертикально поставленный на грунте электрод необходимы прочные, устойчивые переносные козлы с ограждением рабочей площадки.

После того, как электрод погрузится до своего верхнего конца, молоток отключают, снимают с электрода и в верхнюю половину муфты вставляют нижний конец следующего отрезка электрода, приваривают его поперечным и продольным швами к забитому электроду и продолжают погружение, установив электромолоток в муфту, имеющуюся на верхнем конце второго отрезка. Соединение электродов муфтами надежно и создает удобство в работе. Однако муфты создают дополнительное сопротивление (увеличивают реакцию грунта), немного замедляют погружение и уменьшают наибольшую возможную глубину погружения при данной мощности механизма, что особенно заметно в плотном грунте. Сварка электродов встык не рекомендуется из-за малой прочности, а сварка внахлест или с накладками замедляет погружение еще больше, чем муфта.

Для электробезопасности молоток должен иметь двойную изоляцию, либо (при обычной изоляции) он должен быть заземлен отдельной жилой шлангового кабеля, по остальным жилам которого подается электроэнергия от генератора или от внешней сети. Дополнительной мерой безопасности, как и для работы с любым электроинструментом, может быть применение резиновых перчаток или устройств защитного отключения.

Если вблизи имеется компрессор, то вместо электромолотка рациональнее применить легкий пневмомолоток, но и тогда нужно иметь прочные, устойчивые козлы, так как пневмомолоток в обычно применяемых приспособлениях приходится во время работы удерживать руками, чтобы он не соскочил с электрода вследствие отдачи. Одно из таких приспособлений представляет собой специальную насадку-переходник, верхним концом закрепляемую в пневмомолотке и

имеющую в нижнем конце полый цилиндр, в который вставляется конец электрода.

Электроинструменты и механизмы с электрическим приводом получают питание от устанавливаемых на автомобилях и тракторах электрогенераторов или от перевозимых в кузовах автомобилей небольших (мощностью 2 кВт) серийно выпускаемых промышленностью бензоэлектрических агрегатов.

При вдавливании электродов заземлителей [19] При грунт не только не разрыхляется, но даже уплотняется. Поэтому этот способ монтажа обеспечивает, так же как и способ забивки, наилучшую проводимость заземлителя вследствие хорошего контакта электрода с грунтом и возможность немедленной сдачи в эксплуатацию после монтажа и измерения сопротивления.

Например, заземлители можно вдавливать простыми приспособлениями, устанавливаемыми на тяговой скобе прицепного устройства любого трактора, или на штанге бурильной машины и т. д.

Стержневой электрод диаметром 12 мм и более (диаметр выбирают в зависимости от плотности грунта и необходимой глубины вдавливания) вставляют сверху между зажимными плашками, нажимая на них концом электрода. От усилия нажатия, преодолевающего сопротивление пружин, плашки опускаются книзу и одновременно расходятся в стороны до тех пор, пока электрод не пройдет между ними.

Электрод вдавливается в грунт вертикально опусканием прицепного устройства трактора вместе с зажимом и электродом под воздействием гидросистемы трактора. При ходе вниз плашки зажима автоматически зажимают электрод и вдавливают его на 20...25 см за один ход прицепного устройства, опускаемого гидроцилиндром. Затем с помощью того же гидроцилиндра прицепное устройство поднимают вверх. В это время электрод удерживается в неподвижном состоянии силой сцепления с грунтом, а зажимные плашки раздвигаются и скользят по электроду. В той же последовательности повторяют работу до полного погружения электрода на заданную глубину. Ввиду большого давления на

грунт, развиваемого мощным механизмом, подготавливать (заострять) нижний конец электрода, как это делается при применении маломощных ручных приспособлений, не требуется.

Для вдавливания электродов в грунт можно использовать бурильно-крановые машины любого типа. Такой машиной можно быстро и просто заглубить заземлитель. Для этого электрод небольшой длины (до 1,5 м) устанавливают вертикально и ударом кувалды закрепляют в грунте, вгоняя на небольшую глубину. Это необходимо для того, чтобы исключить небезопасную работу по удерживанию электрода руками в начале вдавливания. Затем рабочий отходит от места вдавливания электрода на безопасное расстояние и подгоняет буровую машину так, чтобы головка бура оказалась над электродом.

Включают вертикальную подачу шнека, и головка бура, не вращаясь, за несколько секунд погружает электрод на полную глубину. К верхнему концу погруженного электрода приваривают следующий отрезок длиной до 1,3 м и продолжают вдавливание в грунт. Никакого переустройства машины и дополнительных приспособлений при этом не требуется, и после монтажа заземлителей машина сразу же может выполнять свою основную работу. Но этот способ имеет существенный недостаток, заключающийся в необходимости сваривать электрод нужной длины из нескольких коротких отрезков, предельная длина которых ограничивается наибольшим габаритом головки бура над поверхностью земли. Способ вдавливания более производительен, чем способ ввертывания, но иногда при ввертывании легче преодолеть препятствие (особо плотный грунт), встретившееся при погружении электрода.

Рассмотренными выше способами электроды заглубляют вертикально в дно траншеи так, чтобы их верхние концы выступали на 150...200 мм.

3) Соединение вертикальных электродов между собой

Осуществляется горизонтальными заземлителями, которые прокладывают на уровне верхних концов вертикальных заземлителей. В качестве горизонтальных заземлителей применяют электроды, выполненные из полосовой стали с

размерами сечения не менее 40x4 мм, или стержневые электроды диаметром 10...12 мм. Соединение горизонтальных электродов с вертикальными осуществляется сваркой – приваркой с двух сторон. Более предпочтительно использование горизонтальных заземлителей из полосовой стали, поскольку они позволяют получить большую длину сварного шва при монтаже, т. е. обеспечивают большую надежность мест соединения контура заземления.

Пример расположения вертикального и горизонтального заземлителей в траншее при монтаже показан на рисунке 3.3.

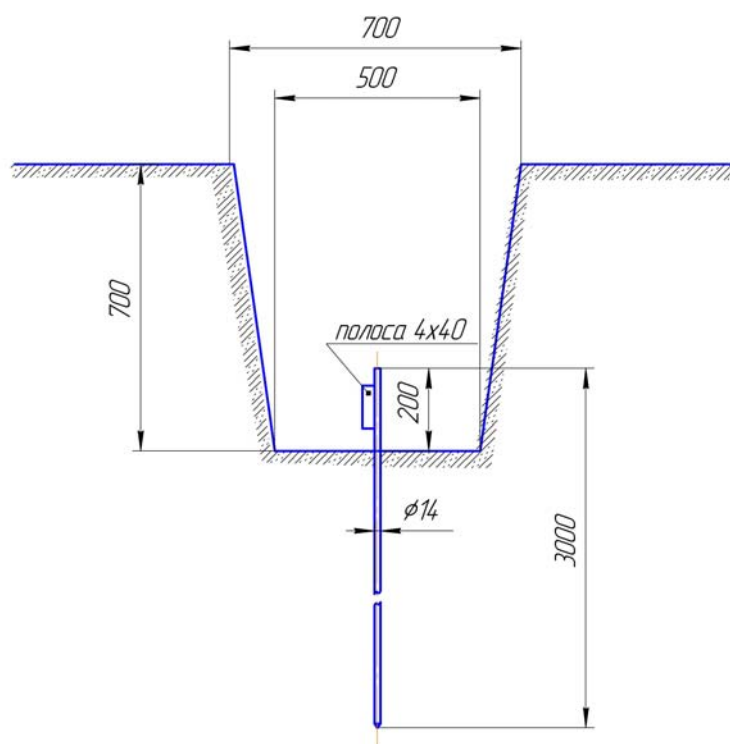


Рисунок 3.3 Расположение вертикального и горизонтального заземлителей в траншее при монтаже

4) Проверка качества сварных соединений

Качество сварных соединений проверяется осмотром, а прочность – ударом молотка массой 1 кг. После проверки все сварные соединения обрабатывают битумным лаком для предотвращения коррозии.

5) Контроль величины сопротивления заземляющего устройства и составление акта скрытых работ.

Измерение сопротивления ЗУ производят специальным прибором – измерителем сопротивления заземления, например, прибором М416 или Ф4103 - М1 или другими аналогичными. Если величина сопротивления ЗУ соответствует нормативному значению, то составляют акт скрытых работ по установленной форме.

6) Присоединение внутреннего заземляющего контура к внешнему заземляющему контуру.

Присоединение осуществляется сваркой внахлест.

7) Засыпка траншеи

Засыпку выполняют землей без камней и строительного мусора слоями по 200...300 мм с трамбовкой каждого слоя.

3.3.2 Монтаж внутреннего контура заземления

Внутренний контур заземления выполняется внутри производственных помещений объекта. Монтаж контура производят стальной полосой сечением не менее $30 \times 4 \text{ мм}^2$, проложенной по периметру помещения объекта на отметке до 40 мм от уровня пола.

Внутренний контур заземления здания представляет собой стальную полосу сечением $4 \times 40 \text{ мм}^2$, закрепленную по периметру помещения на высоте 40 см от уровня пола и окрашенную в черный цвет. Внутренний контур заземления соединяют с металлоконструкциями здания (при их наличии) сваркой внахлест - например, с металлическим каркасом здания.

Стальная полоса внутреннего контура заземления предназначена для присоединения к ней корпусов или других металлических частей заземляемого электрооборудования [3, 19].

Все присоединения заземляющих проводников к заземляемым конструкциям выполняют сваркой, а к корпусам аппаратов - сваркой или болтами. Места

присоединения зачищаются и покрываются токопроводящей смазкой для защиты от коррозии.

Внутренний контур заземления окрашивается в черный цвет по всей длине.

Стальная полоса внутреннего контура заземления выводится через дверной проем наружу и соединяется с наружным контуром заземления сваркой внахлест.

Монтаж наружных контуров заземления электроустановок зданий и сооружений сводится к монтажу искусственных заземлителей, описанному в разделе 3. Например, наружный контур заземления может представлять собой заземляющее устройство (ЗУ), выполненное из трех вертикальных заземлителей, вертикально погруженных в грунт и соединенных между собой горизонтальными заземлителями в форме равностороннего треугольника.

Все соединения в наружном и внутреннем контурах заземления выполняются сваркой внахлест. Соединение внутреннего и наружного контуров заземления также выполнено сваркой внахлест.

Длина сварного шва в местах присоединения составляет две ширины стальной полосы, т.е. не менее 80 мм. Прочность сварных швов после монтажа проверяется ударами молота. Для защиты от коррозии сварные швы ЗУ покрыты битумным лаком.

После монтажа выполняют проверку ЗУ: проверку цепи и качества контактных соединений внутреннего контура заземления; измерение сопротивления ЗУ на соответствие требуемым нормам.

В качестве примера на чертеже графической части ЭА54.7331.00 ЭО1.1 показан план расположения системы заземления 2КТПНУ 10/0,4 кВ.

Внутренний контур заземления выполняется внутри модулей электротехнических блоков устройства высокого напряжения (УВН), распределительного устройства низкого напряжения (РУНН) и трансформаторного отсека. Монтаж

контура производят стальной полосой 40x4 мм, проложенной по стенам блоков на отметке 145 мм от уровня пола [9] .

При заземлении электрооборудования КТПН 10/0,4 кВ к внутреннему контуру заземления присоединяют:

- нейтрали трансформаторов на стороне НН – медным проводником сечением не менее 50 мм² или стальной полосой 4x40 мм²;
- корпуса трансформаторов – медным проводником сечением не менее 50 мм²;
- металлические нетоковедущие части УВН и РУНН – гибкими медными проводниками сечением не менее 50 мм²;
- металлические нетоковедущие части щитового оборудования - гибкими медными проводниками сечением 16 мм².

Внутренний контур заземления имеет два вывода к внешнему контуру заземления.

4 РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

4.1 Разработка алгоритма расчета заземляющего устройства для отдельно стоящего объекта, не имеющего естественного заземлителя

Расчет заземляющего устройства (ЗУ) сводится к определению сопротивления заземлителя и основных параметров заземляющих устройств: размеров и количества заземлителей, сечения и длины магистрали, а также их взаимного расположения. Для отдельно стоящих объектов, не имеющих естественных заземлителей, ЗУ обычно выполняют в виде замкнутого контура, состоящего из вертикальных и горизонтальных стержневых заземлителей.

Порядок расчета ЗУ в соответствии с рекомендациями [1]:

4.1.1 В соответствии с ПУЭ [10] устанавливают допустимое сопротивление заземляющего устройства $R_{з\text{у}}$. В четырехпроводных сетях напряжением 380/220 В с заземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства к которому присоединяют нейтраль генератора или трансформатора, должно быть не более 4 Ом.

4.1.2 Определяют расчетное сопротивление грунта ρ_p для горизонтальных и вертикальных электродов.

Для этого необходимо знать величину удельного электросопротивления грунта $\rho_{уд}$. Его измеряют в месте проектируемого ЗУ. Измеренное значение $\rho_{уд}$ зависит главным образом от влажности, структуры грунта и содержания солей в нем. В различное время года влажность одного и того же грунта различна, изменяется и $\rho_{уд}$. При инженерных расчетах пользуются не измеренными, а рекомендуемыми значениями $\rho_{уд}$, приведенными в таблице 4.1.

Для определения расчетного значения сопротивления грунта ρ_p применяют коэффициент сезона k_c который учитывает высыхание фунта летом и промерзание его зимой для различных климатических зон.

Таблица 4.1 Рекомендуемые значения удельного сопротивления

Вид грунта	$\rho_{уд}$, Ом·м
Каменистый грунт, гранитные скалы, гнейсы	700... 10 ⁶
Известняк, ракушечник, мергель, крупнозернистый с валунами песок	100...1000
Песок	400... 1000
Лесс	250
Почва, пахотная земля	200
Супесь влажная, мергель	150
Суглинок полутвердый	100
Мел, глина полутвердая	160
Сланцы графитовые, мергель глинистый	50
Суглинок пластичный	30
Торф, глина пластичная	20
Вода равниной реки	50
Подземные водоносные слои	5...50
Морская вода	1

В таблице 4.2 приведены характеристики климатических зон, а в таблице 4.3 - значения коэффициентов сезона для этих зон.

Таблица 4.2 Характерные признаки климатических зон

Климатические зоны	Средняя многолетняя низшая температура, °С	Средняя многолетняя высшая температура, °С	Средняя продолжительность замерзания вод, дней
1	-20...-15	+16...+18	170...190
2	-14...-10	+18...+22	150
3	-10...0	+22...+24	100
4	0...+5	+24...+26	0

Таблица 4.3 Значения коэффициентов сезона

Тип заземлителя	Длина, l м	Коэффициент сезона k_c для климатических зон			
		1	2	3	4
Вертикальный	2...3	1,65	1,45	1,3	1,1
	5...7	1,35	1,25	1,15	1,2

Горизонтальный	До 10	5,5	3,5	2,5	1,5
	10...50	4,5	3,0	2,0	1,4

Расчетное значение сопротивления грунта ρ_p :

- для вертикального стержневого заземлителя

$$\rho_{pв} = K_{св} \cdot \rho_{уд}, \text{ Ом}\cdot\text{м}; \quad (4.1)$$

- для горизонтального заземлителя

$$\rho_{pг} = K_{сг} \cdot \rho_{уд}, \text{ Ом}\cdot\text{м}. \quad (4.2)$$

4.1.3 Определяют сопротивление растеканию тока одного вертикального электрода $R_в$ и горизонтального электрода $R_г$.

В качестве вертикальных электродов может быть использована круглая сталь:

- с расположением верхнего конца у поверхности земли для расчета сопротивления растеканию применяют формулу:

$$R_в = \frac{\rho_{пв}}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{d}, \text{ Ом}; \quad (4.3)$$

- с расположением верхнего конца ниже уровня земли

$$R_в = \frac{\rho_{пв}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right), \text{ Ом}; \quad (4.4)$$

где d - диаметр заземлителя, м;

l - длина заземлителя, м;

t - расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, м.

Если в качестве горизонтального электрода используют полосовую сталь, то для расчета применяют формулу:

$$R_г = \frac{\rho_{пг}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt}, \text{ Ом}, \quad (4.5)$$

где b - ширина полосы; если заземлитель круглый диаметром d , то $b=2d$.

При использовании полосового заземлителя

$$R_г \approx 0,25 \frac{\rho_{пг}}{\sqrt{ab}}, \text{ Ом}, \quad (4.6)$$

где a и b - размеры сечения полосы.

Если применяют кольцевой заземлитель (трубу), то

$$R_z = \frac{\rho_{pg}}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D^2}{bt}, \text{ Ом}, \quad (4.7)$$

где b - ширина полосы; если заземлитель круглый диаметром d , то $b=2d$.

Контур заземления располагают по периметру территории объекта на расстоянии $c = 2$ м от его стен (рисунок 4.1). Тогда длина соединительной полосы равна периметру контура заземления.

$$\ell_z = 2 \cdot (L + 2 \cdot c) + 2 \cdot (B + 2 \cdot c), \quad (4.8)$$

где L – длина объекта, м;

B – ширина объекта, м.

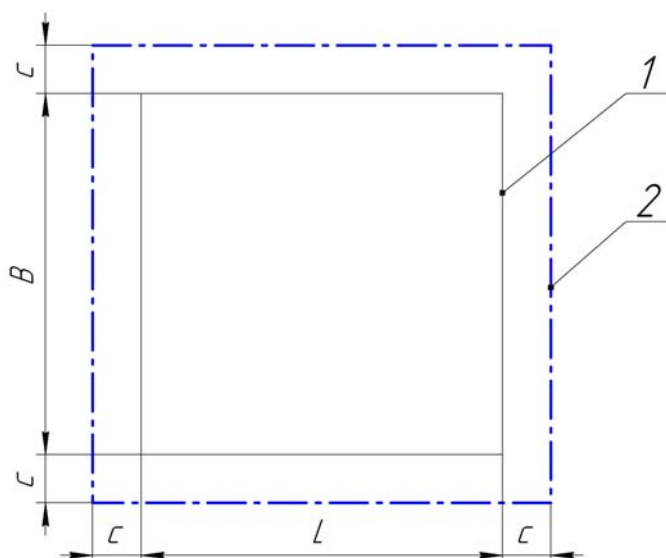


Рисунок 4.1 Расположение наружного контура заземления: 1 – отдельно стоящий объект; 2 – наружный контур заземления

4.1.4 Определяют расчетные сопротивления растеканию вертикальных и горизонтальных заземлителей – $R_{вр}$ и $R_{гр}$.

Обычно заземляющее устройство представляет собой контур из нескольких вертикальных стержневых заземлителей и соединяющей их полосы. В этом слу-

чае поля растекания токов заземлителей могут влиять друг на друга. Это взаимное влияние потенциальных полей ухудшает использование заземлителей. При этом, чем ближе расположены заземлители друг к другу, тем хуже их использование. Это явление учитывают с помощью коэффициента использования заземлителей K_u .

Значения коэффициента использования в зависимости от ориентировочного числа вертикальных заземлителей приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 Значения коэффициента использования

Число вертикальных заземлителей, N	4	8	12	16	20	24
Коэффициент использования, K_u	0,81	0,72	0,67	0,64	0,61	0,59

Расчетное сопротивление растеканию:

- вертикальных заземлителей

$$R_{ep} = \frac{R_e}{N \cdot K_u}, \text{ Ом}, \quad (4.9)$$

где N - предварительно принятое число вертикальных заземлителей;

- горизонтальных заземлителей

$$R_{ep} = \frac{R_z}{K_u}, \text{ Ом}. \quad (4.10)$$

4.1.5 Определяют сопротивление заземляющего устройства, R_{zy}

$$R_{zy} = \frac{R_{ep} \cdot R_{ep}}{R_{ep} + R_{ep}}, \text{ Ом}. \quad (4.11)$$

Полученное значение R_{zy} сравнивают с требуемым по нормам сопротивлением заземляющего устройства $R_{zy \text{ доп}}$. Если полученное значение не удовлетворяет требованиям, тогда принимают большее количество вертикальных электродов или используют в качестве заземлителей стержни большего диаметра d или большей длины l .

На основе приведенного порядка расчета разработан алгоритм расчета заземляющего устройства для отдельно стоящего объекта, не имеющего естественного заземлителя, типа КТП, ГРП и т.д. Схема алгоритма приведена на чертеже графической части ЭА54.7331.01 Р1.

4.2 Расчет заземляющего устройства КТПНУ 10/0,4 кВ с использованием разработанного алгоритма

По разработанному в подразде 4.1 алгоритму произведем расчет заземляющего устройства 2КТПНУ 10/0,4 кВ, выпускаемой производственно-коммерческой фирмой «АВТОМАТИКА» г. Тула [9].

Общий вид, компоновка и габариты КТПНУ приведены на рисунке 4.2.

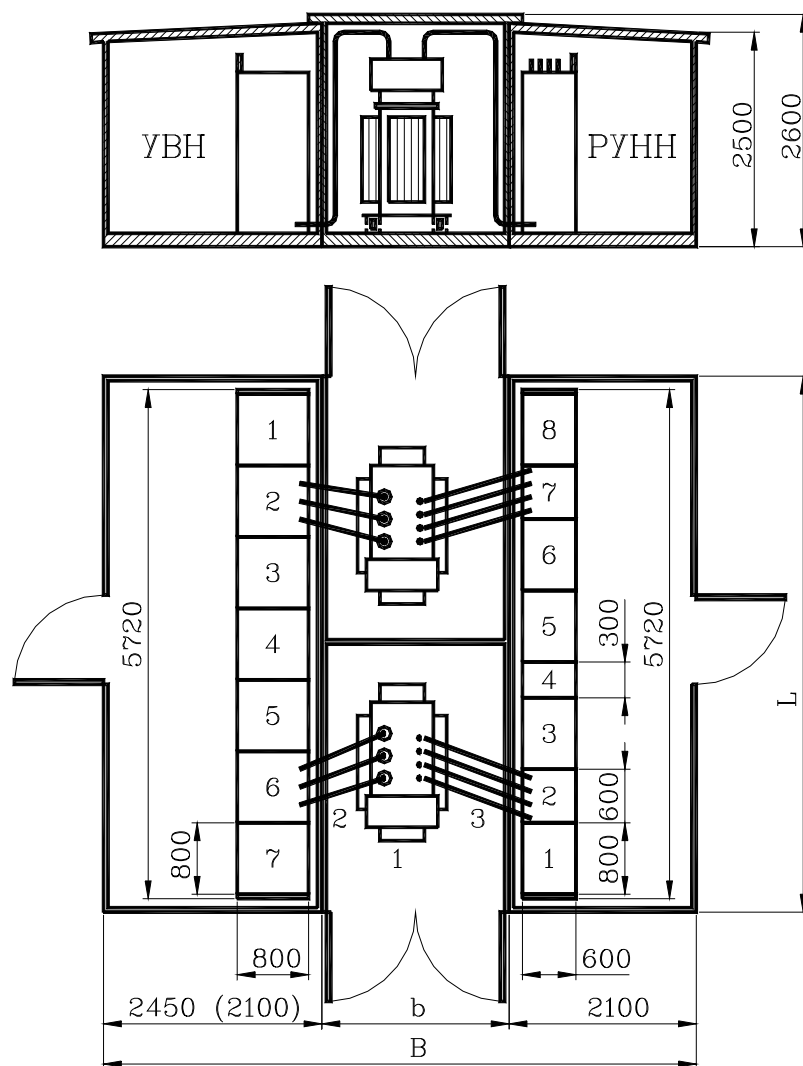


Рисунок 4.2 Общий вид, габариты и компоновка КТПНУ 10/0,4 кВ

На рисунке 4.2 указаны размеры КТПНУ 10/0,4 кВ, мм:

- мощностью до 400 кВ·А: $L=6000$, $V=6650(6300)$, $b=2100$;

- мощностью 630, 1000 кВ·А: $L=6500$, $V=6950(6600)$, $b=2400$.

4.2.1 В соответствии с ПУЭ [10] в четырехпроводных сетях напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединяют нейтраль трансформатора или генератора, должно быть не более 4 Ом:

$$R_{зудол} \leq 4 \text{ Ом.} \quad (4.12)$$

4.2.2 Для определения расчетного сопротивления грунта необходимо определить величину удельного сопротивления грунта по таблице 4.1 Грунт в

месте сооружения КТП - суглинок, $\rho_{уд}=100$ Ом·м. Используя таблицы 4.2 и 4.3, принимаем климатическую зону - 2, $\kappa_{св} = 1,25$ и $\kappa_{с2} = 3,0$.

- для вертикального электрода

$$\rho_{pв} = 1,25 \cdot 100 = 125, \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

- для горизонтального электрода

$$\rho_{pг} = 3,0 \cdot 100 = 300, \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

4.2.3 В качестве вертикальных заземлителей по рекомендациям [1] и с учетом нормативных данных таблицы 3.2 принимаем стальные стержни диаметром $d=16$ мм и длиной $l_e = 5$ м, которые заглубляют в грунт методом ввертывания. Верхние концы электродов располагают в траншее на глубине $h = 0,5$ м от поверхности земли. При этом расстояние от поверхности земли до середины вертикальных заземлителей составляет:

$$t = \frac{l_e}{2} + h \quad \text{м}; \quad (4.13)$$

$$t = 5/2 + 0,5 = 3 \text{ м}.$$

К ним приваривают горизонтальные электроды стержневого типа из той же стали, что и вертикальные электроды, диаметром $d=12$ мм.

Расстояние от поверхности земли до середины горизонтальных электродов составляет:

$$t = h + 0,1 \text{ м}; \quad (4.13)$$

$$t = 0,5 + 0,1 = 0,6 \text{ м}.$$

Расположение заземлителей в грунте и контур заземления КТПН показаны на чертеже ЭА54.7331.00 ЭО1.1.

Контур заземления расположен по периметру здания подстанции на расстоянии $c = 2$ м от его стен. Согласно рисунку 4.2 периметр здания КТПНУ составляет $6 \times 6,3$ м.

Тогда длина соединительной полосы согласно (4.8) составляет:

$$l_3 = 2 \cdot (6 + 4) + 2 \cdot (6,3 + 4) = 40,6 \text{ м}.$$

Сопротивление растеканию тока вертикального R_e и горизонтального электродов R_z по формулам (4.4) и (4.5)

$$R_{ep} = \frac{125}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,016} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3 + 1}{4 \cdot 3 - 1} \right) = 25,95 \text{ Ом,}$$

$$R_z = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 40,6} \ln \frac{2 \cdot 40,6^2}{2 \cdot 0,012 \cdot 0,6} = 14,56 \text{ Ом.}$$

4.2.4 Примем число вертикальных заземлителей $N = 8$. Тогда коэффициент использования $K_u = 0,72$.

Расчетное сопротивление растеканию

- вертикальных заземлителей по (4.9)

$$R_{ep} = \frac{25,95}{8 \cdot 0,72} = 4,51 \text{ Ом;}$$

- горизонтальных заземлителей по (4.10)

$$R_{ep} = \frac{14,56}{0,72} = 20,22 \text{ Ом.}$$

4.2.5 Определим сопротивление заземляющего устройства согласно (4.11)

$$R_{zy} = \frac{4,51 \cdot 20,22}{4,51 + 20,22} = 3,68 \text{ Ом;}$$

$$3,68 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом.}$$

Полученное значение обеспечивает требуемое по нормам ПУЭ [10] сопротивление заземляющего устройства $R_{zy \text{ доп}} \leq 4 \text{ Ом}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бургсдорф В. В. Заземляющие устройства электроустановок [Текст] / В. В. Бургсдорф, А. И. Якобс. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.
2. Водяников В. Т. Экономическая оценка энергетики АПК [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Т. Водяников. – М. : ИКФ «ЭКМОС», 2002. – 304 с.
3. Гордон С. В. Монтаж заземляющих устройств [Текст] / С. В. Гордон. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 186 с.
4. Заземляющие устройства и защитные проводники [Текст] : ГОСТ Р 50571.10-96 / Электроустановки зданий. – Часть 5. – Выбор и монтаж электрооборудования. – Введ. 1997.01.01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1997. – 9 с.
5. Зотов Б. И. Безопасность жизнедеятельности на производстве [Текст] / Б. И. Зотов, В. И. Курдюмов. – М.: Колос, 2000. – 424 с.
6. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок [Текст] : ПОТ РМ–016–2001 : РД 153.34.0–03.150–00. – Введ. 2001–01–07. – СПб. : Издательство ДЕАН, 2003. – 208 с.
7. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации [Электронный ресурс] : рабочая программа дисциплины для подготовки бакалавров по направлению 110800 «Агроинженерия» / Е. И. Мухортова. – Официальный сайт БашГАУ. – Режим доступа <http://www.bsau.ru/>. - 12.03.2013.
8. Общие требования по применению мер защиты от поражения электрическим током [Текст] : ГОСТ Р 50571.8-94 / Электроустановки зданий. – Часть 4. – Требования по обеспечению безопасности. – Введ. 1995.01.07. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1995. – 3 с.
9. Подстанция трансформаторная комплектная наружной установки типа «СЭНДВИЧ» 2КТПНУ-250...1000/6(10)/0,4-02-У1 [Электронный ресурс] :

техническая информация / ПКФ АВТОМАТИКА. – Режим доступа <http://www.tulaavtomatika.ru>. - 12.04.2013.

10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Текст] / 7-е издание, дополн. с исправл. – Ч. : ООО «Центр безопасности труда», 2004. – 848 с.

11. Сибикин Ю. Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий [Текст] : учебник для нач. проф. образования / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 240 с.

12. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере [Электронный ресурс] : ТОИ Р-45-084-01 / Введ. 2001-01-06. – Информационный портал "ОХРАНА ТРУДА В РОССИИ". – Режим доступа http://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/168/2971/ – 04.04.2013.

13. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током [Текст] : ГОСТ Р 50571.3-94 : Электроустановки зданий. Часть 4. – Введ. 1995.01.01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1995. – 15 с.

14. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: кодекс №197-ФЗ от 30.12.2008. – Собрание законодательства РФ, 2008. – 28 с.

15. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление [Текст] : ГОСТ 12.1.030-81: ССБТ. – Введ. 1982.07.01. – Переиздан с изм. 1996.01.01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1996. – 18 с.

16. Устройства защитного отключения. Классификация, общие технические требования: ГОСТ 12.4.155-85 : ССБТ [Электронный ресурс] / Введ. 1986.01.01. – Бесплатная библиотека стандартов и нормативов. – Режим доступа <http://www.docload.ru/Basesdoc/4/4254/index.htm>. – 12.03.2013.

17. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов : ГОСТ 12.1.038-82: ССБТ [Электронный ресурс] / Введ. 1983.07.01. – Бесплатная библиотека стандартов и нормативов. – Режим доступа <http://www.docload.ru/>. – 12.03.2013.

18. Электроустановки [Текст] : сборник нормативных документов. – М. : ЭНАС, 2008. – 688 с.

19. Энергетика: оборудование, документация [Электронный ресурс] : статьи. – Режим доступа <http://forca.ru/spravka/bezopasnost.html>. – 20.04.2013.