



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Т.В. Свиридова
О.Б. Боброва

ЗАЩИТА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума*

Магнитогорск
2016

УДК 658:614.825 (076.5)
ББК 31.29н

Рецензенты:

директор,
ООО «Уральский центр Техносферной Безопасности»
Э.И. Соколова

кандидат технических наук,
доцент кафедры физической химии и химической технологии,
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»
М.В. Шубина

Свиридова Т.В., Боброва О.Б.

Защита от поражения электрическим током [Электронный ресурс] : практикум / Татьяна Валерьевна Свиридова , Ольга Борисовна Боброва ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (0,9 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Практикум составлен в соответствии с типовой программой дисциплин «Безопасность жизнедеятельности» и «Электробезопасность». Содержит теоретический материал, справочные данные, примеры и варианты решения задач.

Практикум предназначен для студентов всех специальностей всех форм обучения для дисциплины «Безопасность жизнедеятельности», а также для студентов всех форм обучения по направлению «Техносферная безопасность».

УДК 658:614.825 (076.5)
ББК 31.29н

© Свиридова Т.В., Боброва О.Б., 2016
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова», 2016

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ	4
2. ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ДОВРАЧЕБНОЙ ПОМОЩИ ЧЕЛОВЕКУ, ПОРАЖЕННОМУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ	5
3. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОРАЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ	10
3.1. Общие сведения.....	10
3.2. Двухфазное прикосновение к токоведущим частям	11
3.3. Однофазное прикосновение к сети с заземленной нейтралью (система TN-C по ПУЭ-7).....	12
3.4. Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью (система IT по ПУЭ-7).....	14
3.5. Выбор схемы сети и режима нейтрали.....	16
4. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ	18
5. РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ.....	21
6. РАСЧЕТ КОНТУРНОГО ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ОДНОСЛОЙНОЙ ЗЕМЛЕ	22
7. ПРИМЕР РАСЧЕТА УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ.....	23
8. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ	25
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	29
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	30
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	31

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях человек сталкивается с большим количеством электрических приборов и техники. Поэтому, может быть только один способ эффективной профилактики поражений электрическим током – прививание сознательного отношения к мерам электробезопасности, в основе которого – понимание сути физических процессов и мер, помогающих избежать поражающего действия электрического тока [1].

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Все помещения делятся по степени опасности поражения людей электрическим током на 3 класса [1].

1. Помещения без повышенной опасности – это сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и с изолирующими (например, деревянными) полами. Т.е. те, в которых отсутствуют условия, свойственные помещениям с повышенной опасностью и особо опасными.

2. Помещения с повышенной опасностью – характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырость – когда относительная влажность воздуха длительное время превышает 75% (сырые помещения);
- высокая температура – температура воздуха длительное время (свыше суток) превышает + 35 °С (жаркие помещения – помещения с сушилками, обжигательными печами, котельные);
- токопроводящая пыль – по условиям производства в помещениях выделяется токопроводящая технологическая пыль (угольная, металлическая), в таком количестве, что она оседает на проводах, проникает внутрь машин и аппаратов;
- токопроводящие полы – металлические, земляные, железобетонные, кирпичные, и т.д.;
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п. с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

3. Помещения особо опасные – характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особая сырость, когда относительная влажность воздуха близка к 100% (стены, пол и предметы в помещении покрыты влагой);
- химически активная или органическая среда, т.е. помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, жидкости, газы, образующие отложения или плесень, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования;
- одновременное наличие двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Выберите правильный ответ:

1. Как классифицируются помещения по опасности поражения электрическим током?

- А. Безопасные и опасные;
- Б. Без повышенной опасности, с повышенной опасностью;

В. Без повышенной опасности, с повышенной опасностью, особо опасные;

Г. Без повышенной опасности, с повышенной опасностью, опасные.

2. Помещение, в котором эксплуатируется электроустановка напряжением до 1 кВ характеризуется следующими параметрами:

А. температура окружающего воздуха - 20 °С;

Б. относительная влажность воздуха - 50%;

В. пол помещения - нетокопроводящий;

Г. проводящая пыль- отсутствует;

Д. электроустановки расположены на расстоянии 1 м от радиаторов центрального отопления.

3. К какому классу по опасности поражения электрическим током относится данное помещение?

А. Без повышенной опасности;

Б. С повышенной опасностью;

В. Особоопасное.

4. Помещение, в котором эксплуатируются электроустановки напряжением до 1 кВ характеризуется следующими параметрами:

температура окружающего воздуха - 20 °С;

относительная влажность воздуха - 50%;

пол помещения - железобетонный;

технологический процесс связан с наличием химически агрессивной среды.

5. К какому классу относится данное помещение по опасности поражения электрическим током?

А. Без повышенной опасности;

Б. С повышенной опасностью;

В. Особоопасное.

6. Помещение, в котором эксплуатируются электроустановки напряжением до 1 кВ характеризуется следующими параметрами:

А. температура окружающего воздуха - 20 °С;

Б. относительная влажность воздуха - 80%;

В. пол помещения железобетонный;

Г. проводящая пыль отсутствует.

7. К какому типу по опасности поражения электрическим током относится данное помещение?

А. С повышенной опасностью;

Б. Особоопасное;

В. Без повышенной опасности.

2. ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ДОВРАЧЕБНОЙ ПОМОЩИ ЧЕЛОВЕКУ, ПОРАЖЕННОМУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Первая помощь пострадавшему от электрического тока оказывается в два этапа: освобождение пострадавшего от действия тока и оказание ему первой доврачебной медицинской помощи.

Освобождение пострадавшего от действия тока.

Если человек, пораженный током, соприкасается с токоведущими частями, необходимо быстро освободить его от действия тока, принимая одновременно меры предосторожности, чтобы самому не оказаться в контакте с токоведущими частями или с телом пострадавшего, а также под напряжением шага.

Лучше всего отключить установку, а если это невозможно, надо (в установках до 1000 В) перерубить провода топором с деревянной рукояткой либо перекусить их инструментом с изолированными рукоятками. Для отключения линии можно вызвать ее короткое замыкание, набросив голый провод.

Пострадавшего можно оттянуть от токоведущей части, взявшись за его одежду, если она сухая и отстает от тела. При этом нельзя касаться тела пострадавшего, его обуви, сырой одежды и т.п.

При необходимости прикоснуться к телу пострадавшего оказывающий помощь должен изолировать свои руки, надев диэлектрические перчатки. При отсутствии диэлектрических перчаток надо обмотать руки шарфом, надеть на руки шапку и т.п.

Вместо изоляции рук можно изолировать себя от земли, надев на ноги резиновые галоши, либо встав на резиновый коврик, доску и т.п.

Если пострадавший очень сильно сжимает руками провода, надо надеть диэлектрические перчатки и разжать его руки, отгибая каждый палец в отдельности.

Если пострадавший находится на высоте, отключение установки может вызвать его падение. В этом случае необходимо принять меры, обеспечивающие безопасность при возможном падении пострадавшего.

Определение состояния пострадавшего. Для определения состояния пострадавшего необходимо уложить его на спину и проверить наличие сознания; при отсутствии сознания проверить наличие дыхания и пульса. Наличие дыхания у пострадавшего определяется на глаз по подъему и опусканию грудной клетки. Проверка пульса осуществляется на лучевой артерии примерно у основания большого пальца руки. Если на лучевой артерии пульс не обнаруживается, следует проверить его на сонной артерии на шее с правой и левой сторон выступа щитовидного хряща - адамова яблока. Об отсутствии кровообращения в организме можно судить так же и по состоянию глазного зрачка, который расширяется через минуту после остановки сердца. Проверка состояния пострадавшего должна производиться быстро в течение не более 15-20 секунд.

Оказание первой доврачебной медицинской помощи.

Первая доврачебная медицинская помощь пострадавшему оказывается немедленно, после освобождения его от действия тока, здесь же, на месте происшествия.

Если пострадавший в сознании, но до этого продолжительное время находился под током (I степень электрического удара), то необходимо уложить его на подстилку, немедленно вызвать врача, а до его прибытия обеспечить полный покой, ведя непрерывный контроль дыхания и пульса. Если вызвать врача быстро невозможно, надо срочно доставить его в лечебное учреждение, так как отрицательное воздействие электрического тока может проявиться не сразу, а спустя минуты, часы и даже дни.

Если пострадавший в бессознательном состоянии, но с сохранившимся устойчивым дыханием и пульсом (II степень электрического удара), надо его уложить на подстилку, расстегнуть одежду, обеспечить приток свежего воздуха, поднести к носу смоченную в нашатырном спирте вату, обрызгать лицо холодной водой, растереть и согреть тело. Немедленно вызвать врача.

Если пострадавший без сознания, плохо дышит – редко, судорожно, с всхлипыванием, неритмично, а сердце нормально работает (III степень электрического удара), необходимо делать искусственное дыхание.

При отсутствии признаков жизни – дыхания и пульса (болевыми раздражения не вызывают никакой реакции), когда наступило состояние клинической смерти (IV степень электрического удара), надо немедленно приступить к оживлению, т.е. к искусственному дыханию и закрытому массажу сердца.

СЛЕДУЕТ ПОМНИТЬ! Никогда не отказывать в помощи пострадавшему, у которого остановилось дыхание и сердцебиение. Констатировать смерть имеет право только врач.

Назначение искусственного дыхания – насыщение крови пострадавшего кислородом, удаление из нее углекислого газа, восстановление самостоятельного дыхания за счет механического раздражения нервных окончаний легких поступающим воздухом.

Способы искусственного дыхания – аппаратные и ручные. Ручные способы можно применять немедленно по возникновении нарушений дыхания, в тоже время они значительно менее эффективны и более трудоемки, чем аппаратные.

Можно делать искусственное дыхание способами "изо рта в рот" или "изо рта в нос", при этом оказывающий помощь вдвухает воздух из своих легких в легкие пострадавшего через его рот или нос.

Подготовка пострадавшего к искусственному дыханию.

Уложить на спину, на ровную горизонтальную поверхность. Освободить от стесняющей дыхание одежды – расстегнуть ворот, ремень, развязать галстук и т.п.

Максимально запрокинуть голову пострадавшего, для чего положить одну свою руку ему под шею, а другую – на лоб, нажать на лоб, придерживая шею, при этом откроется рот и язык освободит гортань.

Быстро очистить рот от слизи, крови, инородных тел, удалить их пальцем, обернутым носовым платком или марлей, вынуть съемные зубные протезы.

Выполнение искусственного дыхания

По окончании подготовительных операций зажмите ноздри пострадавшего щекой или пальцами, сделайте 2-3 глубоких вдоха. Глубоко вдохните и, охватив губами его рот, сделайте с силой вдвухание. Если открыть рот пострадавшему не удалось, можно проводить дыхание "изо рта в нос", т.е. вдвухать ему воздух через нос, закрывая рот пострадавшего.

Контроль за поступлением воздуха осуществляется на глаз по расширению грудной клетки при каждом вдвухании, и ее опускании. При появлении у пострадавшего слабых вдохов следует искусственное дыхание по времени совместить с его дыханием.

Искусственное дыхание необходимо проводить до начала оказания помощи врачом или до восстановления глубокого ритмичного дыхания.

Закрытый (непрямой) массаж сердца.

Назначение – искусственное поддержание кровообращения в организме пострадавшего и восстановление нормальных естественных сокращений сердца. Кровообращение доставляет кислород по всем органам и тканям организма. Следовательно, одновременно с массажем сердца должно производиться искусственное дыхание.

Подготовка к массажу сердца является одновременно и подготовкой к искусственному дыханию, так как она производится совместно. Ноги пострадавшего рекомендуется приподнять на 0,5 м для эффективности массажа.

При выполнении массажа сердца встаньте сбоку, займите такое положение, при котором возможен более или менее значительный наклон над ним. Нажатие производится на нижнюю треть грудины. Грудина - это кость передней части скелета, соединяющая ребра. Наложите на нее ладонь одной руки, а ладонь другой - на тыльную поверхность первой. Надавливание на грудину следует проводить основанием ладони, а не всей ладонью, высоко приподняв пальцы рук, чтобы они не касались грудной клетки пострадавшего. Надавливать быстрым толчком изо всех сил, чтобы сместить нижнюю часть грудины вниз; надавливание на грудину производите с частотой один раз в секунду, чтобы создать достаточный кровоток.

С большой осторожностью следует делать массаж людям пожилого возраста из-за опасности перелома ребер и грудины. Помните, что массаж сердца и искусственное дыхание производятся попеременно.

Контроль за правильностью закрытого массажа сердца осуществляется по прощупыванию пульса на сонной артерии пострадавшего, а также по сужению зрачков, появлению у пострадавшего самостоятельного дыхания, уменьшению "синюшности" кожи и видимых слизистых оболочек.

Длительное отсутствие пульса при появлении других признаков оживления служит признаком фибрилляции сердца. В этом случае необходимо продолжать оказание помощи до прибытия врача для доставки в лечебное учреждение. О восстановлении работы сердца судят по появлению у пострадавшего собственного регулярного пульса.

Последовательность срочных мер по оказанию доврачебной помощи пострадавшему.

Подготовить пострадавшего к искусственному дыханию. Сделать первые 2 вдувания как можно быстрее, делая три глубоких вдоха перед каждым вдуванием (1 вдувание за 5 секунд). Проверить наличие пульса.

Если появился пульс и слабые вдохи, продолжить вдувания в такт дыханию пострадавшего, осуществляя контроль за дыханием и пульсом.

Если пульс не появился, немедленно начать сердечно-легочную реанимацию. Если человек оказывает помощь один, то он должен делать на 2 быстрых вдувания 30 надавливаний на грудину. Если помощь оказывают двое – 1 вдувание и 5 надавливаний поочередно, осуществляя контроль за реакцией пострадавшего.

Реанимацию нельзя прекращать до появления пульса и самостоятельного дыхания или до начала появления врача "скорой" помощи [7].

Выберите правильный ответ:

1. Какую помощь следует оказывать при поражении человека электрическим током, если человек находится в состоянии клинической смерти?

А. Освободить пострадавшего от воздействия тока, ослабить стесняющую одежду, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца, вызвать врача;

Б. Сделать искусственное дыхание и доставить в медпункт;

В. Освободить пострадавшего от воздействия тока, сделать искусственное дыхание или дать понюхать нашатырный спирт;

Г. Освободить пострадавшего от воздействия тока, ослабить стесняющую одежду, вызвать врача.

2. Если пораженному электрическим током оказывает помощь один человек, при выполнении искусственного дыхания и наружного массажа сердца необходимо делать:

А. 5 вдуваний, 5 нажатий на грудину;

Б. 2 вдувания, 5 нажатий на грудину;

- В. 2 вдувания, 30 нажатий на грудину;
 - Г. 10 вдуваний, 5 нажатий на грудину;
 - Д. 30 вдуваний, 2 нажатий на грудину.
3. С какого момента определяется состояние клинической смерти при поражении электрическим током?
- А. С момента прекращения сердечной деятельности или дыхания;
 - Б. После гибели клеток коры головного мозга;
 - В. После потери сознания.
4. Где удобнее определить наличие пульса у пострадавшего?
- А. у виска;
 - Б. на запястьях рук;
 - В. на сонной артерии.
5. Нужно ли продолжать массаж сердца и искусственное дыхание после появления признаков жизни у пораженного электрическим током?
- А. Не нужно;
 - Б. Нужен массаж сердца еще 5-10 минут, искусственное дыхание не нужно;
 - В. Нужно искусственное дыхание еще 5-10 минут, массаж сердца не нужен;
 - Г. Массаж прекратить, искусственное дыхание продолжать до появления у пострадавшего полноценного самостоятельного дыхания;
 - Д. Массаж и искусственное дыхание продолжать до начала оказания помощи врачом "Скорой".
6. Наиболее эффективным является искусственное дыхание методом:
- А. Разведение рук пострадавшего в стороны и вверх;
 - Б. Вдувание воздуха методом "рот в рот" или "рот в нос";
 - В. Ритмичное сдавливание грудной клетки снаружи.
7. Когда нужно делать наружный массаж сердца при поражении электрическим током?
- А. При отсутствии пульса;
 - Б. При потере сознания;
 - В. При применении искусственного дыхания методом "рот в рот";
 - Г. После освобождения пострадавшего от действия тока;
 - Д. При применении любого метода искусственного дыхания.
8. С каким соотношением делается искусственное дыхание и непрямой массаж сердца взрослому человеку, если в оказании помощи участвуют 2 человека?
- А. 2 вдувания, 30 нажатий на грудину;
 - Б. 1 вдувание, 5 нажатий на грудину;
 - В. 2 вдувания, 45 нажатий на грудину.
9. Пострадавший находится в состоянии клинической смерти, помощника у Вас нет, какова последовательность оказания помощи?
- А. Сначала искусственное дыхание до восстановления дыхания, затем массаж сердца до прибытия врача;
 - Б. Массаж сердца до восстановления пульса, затем искусственное дыхание до восстановления дыхания или прибытия врача;
 - В. Два глубоких вдувания в рот пострадавшего, затем 15 надавливаний на грудину и т.д.;

Г. 2 - 3 минуты искусственного дыхания, затем 4 - 6 минут массаж сердца и т.д.

10. При выполнении наружного массажа сердца при поражении человека электрическим током нужно:

А. Плавно нажимать и отпускать грудину;

Б. Толчками нажимать и отпускать грудину;

В. После каждого плавного нажатия удерживать грудину в нижнем положении 0,5 сек;

Г. После каждого нажатия толчком удерживать грудину в нижнем положении 2,5 сек.

3. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОРАЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

3.1. Общие сведения

Все электроустановки по условиям электробезопасности подразделяются на:

- электроустановки напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью;

- электроустановки напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью;

- электроустановки напряжением выше 1000 В в сетях с эффективно заземленной нейтралью (с большими токами замыкания на землю);

- электроустановки напряжением выше 1000 В в сетях с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю).

В данном пособии нами рассмотрен анализ условий поражения в сетях напряжением до 1000 В.

Нейтраль – это общая точка трансформатора или генератора.

Изолированная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы с большим сопротивлением.

Глухозаземленная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

По седьмому изданию Правил устройства электроустановок (ПУЭ-7):

Первая буква – состояние нейтрали источника питания относительно земли:

Т – заземленная нейтраль;

І – изолированная нейтраль.

Вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли:

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

Н – открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

РЕ – защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

PEN – совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

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 (рис. 1);

Система TN – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной 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 (рис. 2) [5].

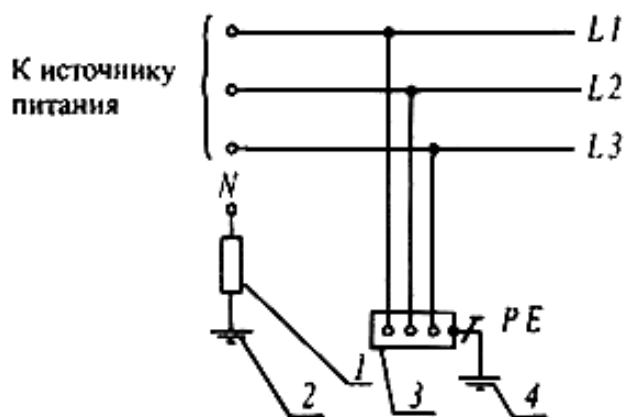


Рис. 1. Система IT переменного тока

- 1 – сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеется);
- 2 – заземлитель; 3 – открытые проводящие части;
- 4 – заземляющее устройство электроустановки

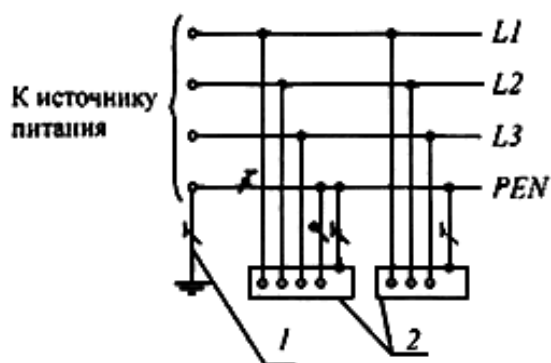


Рис. 2. Система TN-C переменного тока

нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике:

- 1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;
- 2 – открытые проводящие части

3.2. Двухфазное прикосновение к токоведущим частям

Приведем пример двухфазного прикосновения человека в сети с изолированной нейтралью.

Двухфазное прикосновение (рис. 3) более опасно однофазного, т.к. тело человека оказывается под линейным напряжением и через человека пойдет больший ток:

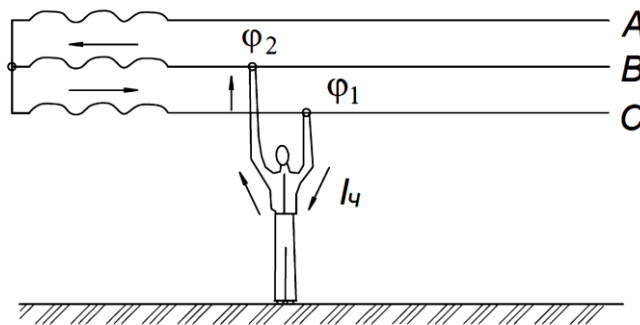


Рис. 3. Двухфазное прикосновение к токоведущим частям

$$U_{\text{пр}} = \varphi_1 - \varphi_2 = U_{\text{л}}$$

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}}} = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA}.$$

При двухфазном прикосновении ток, проходящий через человека, практически не зависит от режима нейтрали сети, следовательно, двухфазное прикосновение является одинаково опасным как в сети с изолированной, так и с заземленной нейтралью (при условии, что линейные напряжения этих сетей одинаковы).

При двухфазном прикосновении опасность поражения не уменьшится и в том случае, если человек будет надежно изолирован от земли, т.е. если он будет в резиновой обуви или будет стоять на изолирующем (деревянном) полу.

Однофазное прикосновение происходит во много раз чаще, чем двухфазное прикосновение, но является менее опасным, т.к. напряжение, под которым оказывается человек, не превышает фазного, т.е. меньше линейного в $\sqrt{3}$ раза. Соответственно меньше оказывается и ток, проходящий через человека. Кроме того, на этот ток большое влияние оказывают режим нейтрали источника тока, сопротивление изоляции проводов сети относительно земли, сопротивление пола (основания), на котором стоит человек, сопротивление его обуви и некоторые другие факторы.

3.3. Однофазное прикосновение к сети с заземленной нейтралью (система TN-C по ПУЭ-7)

А) нормальный режим работы

В сети с заземленной нейтралью цепь тока, проходящего через человека, включает в себя (рис. 4), кроме сопротивления тела человека, еще и сопротивление его обуви, сопротивление пола (основания), на котором стоит человек, а также сопротивление заземления нейтрали источника тока (трансформатора или генератора). Причем все эти сопротивления включены последовательно, следовательно, можно записать уравнение:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_{\text{з}}},$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение сети, В;

$R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви человека, Ом; $R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом; $R_{\text{з}}$ – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

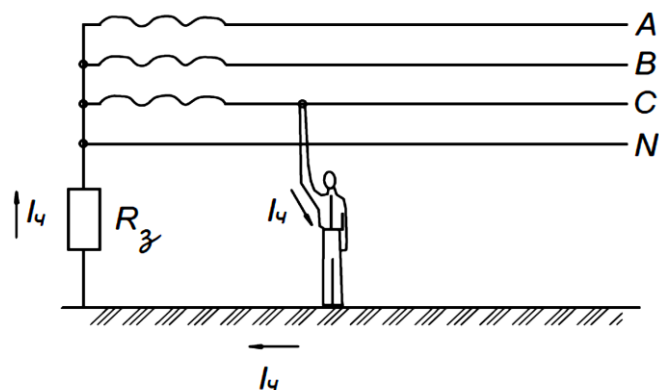


Рис. 4. Однофазное прикосновение к сети с заземленной нейтралью в нормальном режиме работы оборудования

Проводимость изоляции и емкостная проводимость фаз относительно земли малы по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, следовательно для определения тока, протекающего через человека ими можно пренебречь.

Рассмотрим наиболее неблагоприятный случай, когда $R_{об} = 0$ (у человека токопроводящая обувь) и $R_{п} = 0$ (человек стоит на сырой земле). Сопротивление заземления во много раз меньше сопротивления тела человека, то им можно пренебречь, следовательно уравнение примет вид (сеть с фазным напряжением 220 В):

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч}} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ A} = 220 \text{ mA},$$

таким образом, ток 220 мА является смертельно опасным током для человека.

В случае если человек в резиновой обуви и стоит на изолирующем основании (деревянный пол), принимаем $R_{об} = 45000 \text{ Ом}$ и $R_{п} = 100000 \text{ Ом}$, получаем:

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч} + R_{об} + R_{п}} = \frac{220}{1000 + 45000 + 100000} = 0,0015 \text{ A} = 1,5 \text{ mA},$$

таким образом, ток 1,5 мА не является опасным током для человека.

Б) замыкание фазы на землю через малое сопротивление

Рассмотрим аварийный период, когда один из фазных проводов сети (В), замкнут на землю через относительно малое активное сопротивление $R_{к}$, а человек прикасается к исправному фазному проводу (рис. 5).

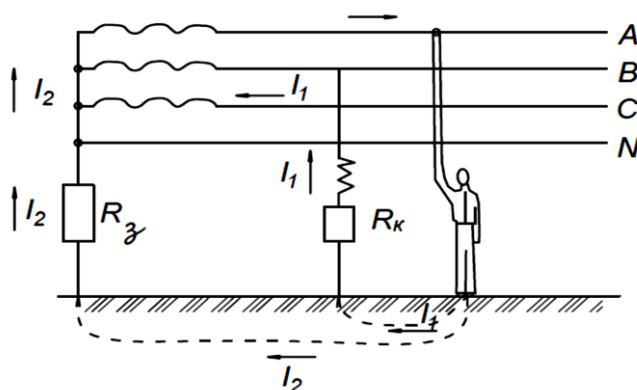


Рис. 5. Прикосновение к неисправному проводу в сети с заземленной нейтралью при аварийном режиме работы

В этом случае образуются два контура, т.е. ток, протекающий через человека, будет равен $I_{ч} = I_1 + I_2$,

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{к}}} + \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{з}}}$$

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} \frac{R_{\text{к}} + \sqrt{3 \cdot R_{\text{з}}}}{R_{\text{к}} \cdot R_{\text{з}} + R_{\text{ч}}(R_{\text{к}} + R_{\text{з}})}.$$

Анализ формулы:

1. $R_{\text{к}} \rightarrow 0$ получаем $I_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}}}.$
2. $R_{\text{з}} \rightarrow 0$ получаем $I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}}.$

Вывод: на практике $R_{\text{к}}$ и $R_{\text{з}}$ всегда больше нуля, следовательно напряжение под которым оказывается человек прикоснувшийся в аварийный период к исправленному фазному проводу сети с заземленной нейтралью всегда меньше линейного, но больше фазного – режим для человека опасный.

3.4. Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью (система IT по ПУЭ-7)

В идеальной сети сопротивление изоляции стремится к бесконечности и замкнутого контура по которому мог бы протекать ток нет. Это – идеальная сеть; но изоляция токоведущих частей выполняется из реальных диэлектриков, электрическое сопротивление имеет конечное значение вследствие старения изоляции, влажности и т.п. Удельное электрическое сопротивление изоляции снижается, поэтому на каждом отдельном участке длины провода изоляция имеет конечное активное сопротивление, кроме того каждый участок провода обладает емкостью относительно земли (рис.7), для упрощения будем считать эти распределенные проводимость и емкость сосредоточенными.

А) нормальный режим работы

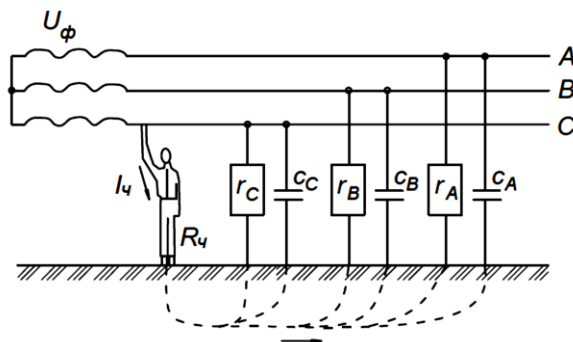


Рис. 6. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы оборудования

$C_{\text{C}}, C_{\text{B}}, C_{\text{A}}$ – емкость фаз относительно земли, Ф

$r_{\text{C}}, r_{\text{B}}, r_{\text{A}}$ – сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли, Ом

Примем $C_{\text{C}} = C_{\text{B}} = C_{\text{A}} = C$ и $r_{\text{C}} = r_{\text{B}} = r_{\text{A}} = R_{\text{из}}$

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} \cdot \sqrt{1 + \frac{R_{\text{из}} \cdot (R_{\text{из}} + 6R_{\text{ч}})}{9R_{\text{из}}^2 \cdot (1 + 2\pi f^2 \cdot R_{\text{из}}^2 \cdot C^2)}}$$

Анализ формулы:

1. Воздушные линии малой напряженности $C \rightarrow 0$

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + \frac{R_{\text{из}}}{3}} = \frac{220}{1000 + \frac{90000}{3}} = 7 \text{ мА}.$$

Ток 7 мА значительно меньше тока в сети с заземленной нейтралью (220 мА). Можно сделать вывод, что в сети с изолированной нейтралью условия безопасности находятся в прямой зависимости от сопротивления изоляции проводов относительно земли: чем лучше изоляция, тем меньше ток, проходящий через человека.

В случае если человек в резиновой обуви и стоит на изолирующем основании (деревянный пол), принимаем $R_{\text{об}} = 45000 \text{ Ом}$ и $R_{\text{п}} = 100000 \text{ Ом}$, получаем:

Пример: $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$; $R_{\text{из}} = 90 \text{ кОм}$; $R_{\text{ч}} = 1000 \text{ Ом}$.

$$I_{\text{ч}} = \frac{220}{1000 + 45000 + 100000 + 30000} = 0,00125 \text{ А} = 1.25 \text{ мА}.$$

Таким образом, при прочих равных условиях прикосновение человека к одной фазе сети с изолированной нейтралью менее опасно, чем в сети с заземленной нейтралью.

2. Кабельные сети; емкость довольно велика; $R_{\text{из}} \rightarrow \infty$

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{\sqrt{R_{\text{ч}}^2 + \left(\frac{X_{\text{с}}}{3}\right)^2}},$$

где $X_{\text{с}} = \frac{1}{2\pi f C}$

Пример: $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$; $R_{\text{ч}} = 1 \text{ кОм}$; $C = 0,1 \text{ мкФ}$; $I_{\text{ч}} = 20 \text{ мА}$.

Вывод: анализ показывает, что в сетях с изолированной нейтралью опасность для человека прикоснуться к проводу в период нормальной работы сети зависит от сопротивления проводов относительно земли. С увеличением сопротивления и уменьшением емкости опасность уменьшается. Поддерживая сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли на достаточно высоком уровне можно в сети с изолированной нейтралью с малой емкостью приблизить однофазное прикосновение к безопасным условиям.

Б) замыкание одной фазы на землю

Рассмотрим аварийный режим работы сети (рис. 7), когда один из фазных проводов, например, провод А, замкнулся на землю через относительно малое активное сопротивление ($R_{\text{к}}$). Опасность поражения током человека, в этом случае, значительно возрастает при прикосновении к исправному фазному проводу.

Проводимостью фаз С и В относительно земли пренебрегаем (очень малы по сравнению с $R_{\text{к}}$).

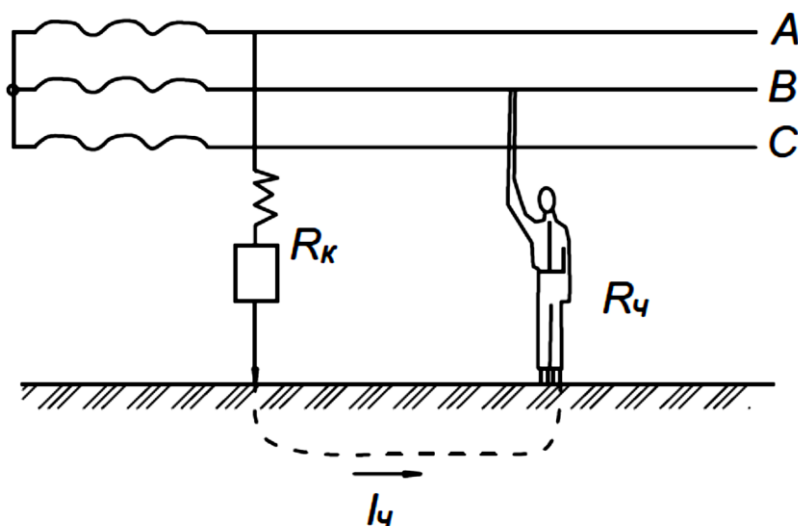


Рис. 7. Однофазное прикосновение к исправному проводу в сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме работы

$$I_q = \frac{U_\phi \cdot \sqrt{3}}{R_q + R_k}.$$

$$U_{пр} = I_q \cdot R_q = U_\phi \frac{R_q}{R_q + R_k}.$$

На практике R_k всегда намного меньше R_q , следовательно, человек оказывается практически под линейным напряжением.

В действительности R_k больше нуля следовательно, напряжение под которым окажется человек прикоснувшись в аварийный период к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью будет значительно выше фазного и незначительно ниже линейного напряжения сети.

В аварийном режиме работе сети с изолированной нейтралью становятся более опасной, т.к. напряжение неповрежденной фазы относительно земли может возрасти до линейного, а в сети с заземленной нейтралью человек попадает под напряжение, которое больше фазного, но меньше линейного.

3.5. Выбор схемы сети и режима нейтрали

Поскольку опасность прикосновения к фазе в разных электрических сетях различна, необходимо при выборе схемы сети и режима ее нейтрали оценивать сеть и по условиям безопасности.

Выбор схемы сети, а следовательно, и режима нейтрали источника тока производят, исходя из технологических требований и из условий безопасности.

При напряжении до 1000 В широкое распространение получили обе схемы трехфазных сетей: трехпроводная с изолированной нейтралью и четырехпроводная с заземленной нейтралью.

По технологическим требованиям предпочтение отдается четырехпроводной сети, т.к. она позволяет использовать два рабочих напряжения – линейное и фазное.

По условиям безопасности выбор одной из двух производится с учетом выводов (нормальный режим работы – сеть с изолированной нейтралью; аварийный – сеть с заземленной нейтралью). Поэтому сети с изолированной нейтралью целесообразно применять в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень изоляции проводов и когда емкость сети относительно земли незначительна. Таковыми являются мало разветвленные сети, не подверженные

воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором квалифицированного персонала. Например, сети электротехнических лабораторий, небольших предприятий.

Сети с заземленной нейтралью применяют там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (из-за высокой влажности, агрессивной среды и др.), когда нельзя быстро устранить повреждение изоляции или когда емкостные токи сети, из-за значительной разветвленности достигают больших значений, опасных для человека. Примером таких сетей могут служить городские и поселковые распределительные сети, сети крупных предприятий.

При напряжении выше 1000 В и до 35 кВ сети по технологическим причинам имеют изолированную нейтраль, а выше 35 кВ – заземленную. Такие сети имеют большую емкость проводов относительно земли, для человека является одинаково опасным прикосновение к проводу сети как с изолированной, так и с заземленной нейтралью. Поэтому режим нейтрали сети выше 1000 В по условиям безопасности не выбирается [6].

Задача 1

Сопоставить опасность прикосновения человека к одной из фаз трехфазной сети:

а) трехфазная четырехпроводная сеть 380/220 В с глухозаземленной нейтралью;

б) трехфазная сеть 380 В с изолированной нейтралью. Сопротивление заземления нулевой точки трансформатора $R_3 = 4$ Ом, сопротивление человека $R_{чел} = 1000$ Ом, сопротивление пола $R_п = 50000$ Ом, сопротивление обуви $R_{об} = 50000$ Ом

Исходные данные для расчета представлены в табл. 1 и 2.

Указания к решению:

В сети с глухозаземленной нейтралью ток через человека $I_ч$ определяют зависимостью:

$$I_ч = \frac{U_\phi}{R_ч + R_{об} + R_п + R_3}.$$

В сети с изолированной нейтралью ток через человека $I_ч$ определяют зависимостью:

$$I_ч = \frac{U_\phi}{R_ч + \frac{R_{из}}{3}},$$

где $R_{из}$ - сопротивление изоляции фазного провода относительно земли, Ом. Принимаем $R_{из} = 50000$ Ом.

Таблица 1

Данные для расчета опасности прикосновения человека к фазе трехфазной сети

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сопротивление заземления нулевой точки трансформатора R_3 , Ом	4									
Сопротивление человека $R_ч$, Ом	1000	2000	3000	4000	1000	2000	3000	4000	3000	1000

Окончание таблицы 1

Сопротивление пола $R_{п}, \text{ Ом}$	100000	200000	50000	150000	170000
Сопротивление обуви $R_{об}, \text{ Ом}$	100000	200000	50000	150000	170000

Таблица 2

Данные для расчета опасности прикосновения человека к фазе трехфазной сети

Исходные данные	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Сопротивление заземления нулевой точки трансформатора $R_3, \text{ Ом}$	4									
Сопротивление человека $R_ч, \text{ Ом}$	1000	6000	1000	6000	1000	6000	1000	6000	1000	6000
Сопротивление пола $R_{п}, \text{ Ом}$	170000		50000		200000		180000		100000	
Сопротивление обуви $R_{об}, \text{ Ом}$	170000		50000		200000		180000		100000	

4. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус (повреждения изоляции) или по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т.п.).

Принцип действия защитного заземления – снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус или другими причинами. Достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования относительно земли (уменьшение сопротивления заземлителя), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек (применение группового заземлителя).

Эквивалентом земли может быть вода реки или моря, каменный уголь в карьерном залегании и т. п.

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Область применения защитного заземления:

сети до 1000 В переменного тока трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью (система IT);

сети выше 1000 В переменного и постоянного тока с любым режимом нейтрали.

Приведем пример случая сети до 1000 В с изолированной нейтралью (рис. 8).

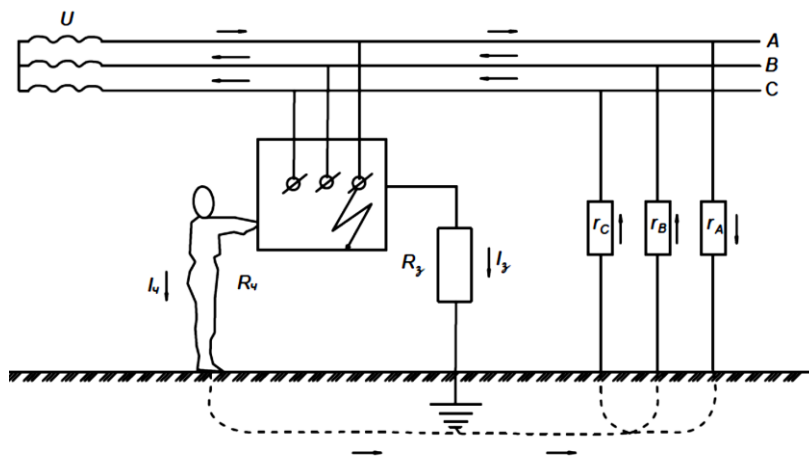


Рис. 8. Схема сети с изолированной нейтралью и защитным заземлением электроустановки

Если корпус электрооборудования не заземлен, и он оказался в контакте с фазой, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае ток может достигать опасных значений:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + \frac{R_{\text{из}}}{3}}.$$

Если же корпус заземлен, то ток, проходящий через человека определяется по формуле:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{пр}}}{R_{\text{ч}}} = \frac{I_3 \cdot R_3}{R_{\text{ч}}}.$$

Уменьшая значение сопротивления заземлителя растеканию тока R_3 , можно уменьшить напряжение корпуса электроустановки относительно земли, в результате чего уменьшаются напряжение прикосновения и ток через тело человека.

Заземление будет эффективным лишь в том случае, если ток замыкания на землю I_3 практически не увеличивается с уменьшением сопротивления заземлителя. Такое условие выполняется в сетях с изолированной нейтралью (типа IT) напряжением до 1 кВ, так как в них ток замыкания на землю в основном определяется сопротивлением изоляции проводов относительно земли, которое значительно больше сопротивления заземлителя.

Уменьшая значение сопротивления заземлителя растеканию тока R_3 , можно уменьшить напряжение корпуса электроустановки относительно земли, в результате чего уменьшаются напряжение прикосновения и ток через тело человека.

Заземление будет эффективным лишь в том случае, если ток замыкания на землю I_3 практически не увеличивается с уменьшением сопротивления заземлителя. Такое условие выполняется в сетях с изолированной нейтралью (типа IT) напряжением до 1 кВ, так как в них ток замыкания на землю в основном определяется сопротивлением изоляции проводов относительно земли, которое значительно больше сопротивления заземлителя.

Главное условие эффективной работы заземления – малое сопротивление заземлителя и заземляющего устройства.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников (рис. 9).

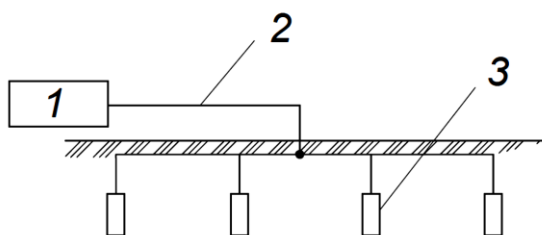


Рис. 9. Схема заземляющего устройства:

- 1 – заземляемое оборудование, 2 – заземляющий проводник,
3 – заземлитель, 2+3 – заземляющее устройство

Заземлитель – проводник (электрод) или совокупность металлических соединенных между собой проводников, находящихся в соприкосновении с землей.

Заземляющий проводник – проводник соединяющий заземляемые части с заземлителем.

Различают заземлители искусственные предназначенные исключительно для целей заземления и естественные – находящиеся в земле металлические предметы.

В качестве естественных заземлителей рекомендуется использовать:

проложенные в земле металлические трубопроводы, за исключением трубопроводов горючих или взрывоопасных жидкостей, газов или смесей;

металлические или железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей;

металлические конструкции гидротехнических сооружений (водопроводы и т.д.);

свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле;

рельсовые пути магистральных неэлектрифицированных железных дорог и подъездные пути при наличии преднамеренного устройства перемычек между рельсами и т.д.

Для заземления электрических установок в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, и поэтому использование их для заземления дает весьма ощутимую экономию металла.

Недостатком естественных заземлителей является доступность их неэлектротехническому персоналу и возможность нарушения непрерывности соединения протяженных заземлителей (при ремонтных работах).

Искусственные заземлители – стальные трубы, уголки, полосы, стержни, забитые вертикально и связанные между собой горизонтально. Их изготавливают из стали, их нельзя окрашивать.

Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяют полосовую сталь сечением не менее 4×12 мм и сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Согласно ПУЭ в качестве заземляющих проводников рекомендуется использовать: специально предусмотренные для этой цели проводники; металлические конструкции зданий (фермы, колонны); арматуру железобетонных строительных конструкций и фундаментов; металлические конструкции производственного назначения; стальные трубы электрических проводов; металлические короба и лотки электрических проводов; металлические трубопроводы (кроме канализации и центрального отопления)

В процессе эксплуатации не исключена возможность повышения сопротивления растеканию тока заземлителя сверх расчетного и нарушение целостности заземляющей проводки.

Повышение сопротивления заземлителя может быть следствием сезонных колебаний сопротивления грунта, не учтенных проектом, высыхания почвы под воздействием находящихся вблизи заземлителя горячих поверхностей - трубопроводов пара, горячей воды и т.д., ухудшения состояния контактов между отдельными элементами заземлителя при прохождении больших токов, или в результате коррозии.

Нарушение целостности сети заземления (обрывы проводов, ослабление болтовых соединений, нарушение контактов и т.д.) может быть результатом случайных механических воздействий, а также термического или динамического действия аварийных токов, ошибочных операций при ремонтных работах.

Во всех случаях заземляющие устройства теряют как правило способность обеспечивать безопасность людей при замыканиях на корпус, поскольку при этом возможно значительное увеличение потенциала заземлителя, а следовательно, и напряжений прикосновения и шага.

Правила предписывают производить измерение сопротивления заземляющего устройства: после монтажа; через год после включения в эксплуатацию; в последующем при комплексном ремонте электрической установки, но не реже, чем через 10 лет на электростанции, 3 года - на подстанции потребителей, через один год - в цеховых электроустановках потребителей.

Каждое отдельное заземляющее устройство должно иметь паспорт, содержащий схему устройства, основные технические и расчетные данные, сведения о произведенных ремонтах и внесенных изменениях.

5. РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Цель расчета – определить число и длину вертикальных электродов, длину горизонтальных электродов (соединительных шин) и разместить заземляющее устройство на плане электроустановки. При этом должно обеспечиваться:

1. Сопротивление заземляющего устройства не больше допустимого (предписанного ПУЭ).
2. Напряжение прикосновения и напряжение шага не превышает допустимое.

Порядок расчета

В зависимости от напряжения установки, режима нейтрали и мощности установки определяется расчетный ток замыкания на землю и норма на сопротивление заземляющего устройства.

1. Расчетный ток замыкания на землю

Током замыкания на землю называется ток, стекающий в землю через место замыкания (ПУЭ).

Для упрощения в качестве расчетного может быть принят ток плавления предохранителей или ток срабатывания релейной защиты от однофазных замыканий на землю или междуфазных замыканий, если в последнем случае защита обеспечивает отключение замыканий на землю. При этом ток замыкания на землю должен быть не менее полуторократного тока срабатывания релейной защиты или трехкратного номинального тока предохранителей.

2. Требуемое сопротивление заземляющего устройства

1. $U > 1000$ В, нейтраль эффективно заземлена.

Сопротивление заземляющего устройства должно составлять:

$R_{\Sigma} \leq 0,5 \text{ Ом}$ (включая сопротивление естественных заземлителей).

2. $U > 1000 \text{ В}$, изолированная нейтраль.

При использовании заземляющего устройства одновременно для электроустановок $U < 1000 \text{ В}$, $R_{\Sigma} = 125/I$, где I – расчетный ток замыкания на землю.

При использовании заземляющего устройства только для электроустановок $U > 1000 \text{ В}$ $R_{\Sigma} = 250/I$, но не более 10 Ом .

3. $U < 1000 \text{ В}$, глухозаземленная нейтраль.

Сопротивление рабочего заземления нейтрали:

При $U_n = 660 \text{ В}$ $R_{\Sigma н} \leq 2 \text{ Ом}$,

$U_n = 380 \text{ В}$ $R_{\Sigma н} \leq 4 \text{ Ом}$,

$U_n = 220 \text{ В}$ $R_{\Sigma н} \leq 8 \text{ Ом}$.

4. $U < 1000 \text{ В}$, изолированная нейтраль.

Сопротивление защитного заземляющего устройства $R_{\Sigma} \leq 4 \text{ Ом}$.

При мощности питающих генераторов и трансформаторов $\leq 100 \text{ кВА}$ сопротивление защитного заземляющего устройства не должно превышать 10 Ом .

6. РАСЧЕТ КОНТУРНОГО ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ОДНОСЛОЙНОЙ ЗЕМЛЕ

Для расчета заземляющего устройства необходимы следующие сведения:

- Характеристика электроустановки (напряжение, режим нейтрали, мощность).
- План установки с указанием основных размеров.
- Форма и размеры электродов (которые есть в наличии, или которые хотят использовать при сооружении устройства защитного заземления).
- Данные о грунте.
- Данные о естественных заземлителях (их сопротивление – определяется путем замера или расчета).

I. Определяется требуемое сопротивление заземляющего устройства ($R_{\Sigma н}$)

II. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта с учетом климатического коэффициента ($r_{\text{расч}}$):

$$r_{\text{расч}} = r_{\text{изм}} \cdot Y,$$

где $r_{\text{изм}}$ – удельное сопротивление грунта, полученное путем измерения или из справочной литературы,

Y – климатический коэффициент (или коэффициент сезонности). Учитывает возможное повышение сопротивления земли в течение года. В значительной степени зависит от характеристики климатической зоны, в которой сооружается заземляющее устройство.

III. Определяется путем замеров или рассчитывается сопротивление естественных заземлителей (R_e).

IV. Определяется необходимое сопротивление искусственного заземлителя ($R_{\text{и.тр}}$)

При расчете исходим из того, что искусственные и естественные заземлители соединены параллельно и общее их сопротивление не должно превышать нормативное значение $R_{\Sigma н}$ (ПУЭ):

$$R_{и.тр} = \frac{R_e \cdot R_{зун}}{R_e - R_{зун}}.$$

V. Выбирается тип заземлителей, из которого будет выполняться заземляющее устройство.

VI. По готовым формулам определяется сопротивление одиночного вертикального заземлителя ($R_{в.од.}$), с учетом расчетного удельного сопротивления грунта.

VII. Предварительно разместив заземлители на плане, определяют число вертикальных заземлителей и расстояние между ними

По этим данным определяют коэффициенты использования вертикальных стержней (η_v) и горизонтальной полосы (η_g) (по соответствующим таблицам).

VIII. Определяется сопротивление горизонтальной соединительной полосы (R_p) (по готовым формулам).

Сначала – расчетное значение, а затем – фактическое с учетом коэффициента использования полосы η_g .

IX. Определяется требуемое общее сопротивление всех вертикальных стержней ($R_{ст. тр}$) с учетом того, что они соединены параллельно:

$$R_{ст.тр} = \frac{R_p \cdot R_{и.тр}}{R_p - R_{и.тр}}.$$

X. Учитывая коэффициент использования вертикальных стержней, окончательно определяем их количество (n):

$$n = \frac{R_{в.од}}{R_{ст.тр} \cdot \eta_v}.$$

XI. Производится проверочный расчет сопротивления полученного заземляющего устройства.

7. ПРИМЕР РАСЧЕТА УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Выполнить расчет заземляющего устройства механического участка (здание в плане 30х20 м). Напряжение питания электро-оборудования 380 В. Сеть с изолированной нейтралью. Суммарная мощность установленного оборудования 70 кВА. Грунт – глина, измеренное удельное сопротивление грунта 700 Ом*м, измерения проводились при сухом грунте.

Заземляющее устройство выполнить: вертикальные стержни – трубы диаметром 0,1 м, длиной 2 м; соединительная полоса – стальная шина сечением 40х4 мм. Глубина, на которой расположить заземляющее устройство – 0,8 м. Имеются естественные заземлители с сопротивлением растеканию тока в земле 20 Ом.

I. Поскольку напряжение питания электрооборудования не превышает 1000 В, и суммарная мощность установленного оборудования до 100 кВА, то величина сопротивления заземляющего устройства не должна превышать 10 Ом, т.е. $R_{зун} \leq 10 \text{ Ом}$.

II. Расчетное удельное сопротивление грунта:

$$r_{расч} = r_{изм} \cdot Y = 700 \cdot 1,2 = 840 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

III. Сопротивление естественных заземлителей $R_e = 20 \text{ Ом}$.

IV. Необходимое сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_{и.тр} = \frac{R_e \cdot R_{зун}}{R_e - R_{зун}} = \frac{20 \cdot 10}{20 - 10} = 20 \text{ Ом}.$$

V. Тип заземлителей задан условием задачи.

VI. Сопротивление одиночного вертикального заземлителя. Формула для расчета берется из справочных данных для выбранного типа заземлителя (прил. 1).

$$R_{в.од} = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \left(\ln \frac{2\ell}{d} + 0,5 \ln \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right)$$

$$R_{в.од} = \frac{840}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{0,1} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 1,8 + 2}{4 \cdot 1,8 - 2} \right) = 264,5 \text{ Ом}$$

VII. Заземляющее устройство выполним следующим образом: полоса прокладывается по всему периметру здания (отступив на 1 м от фундамента), а стержни забиваются по всему периметру через 3 м. Тогда вдоль периметра здания помещается $108/3=36$ вертикальных стержней. На рис. 10 приведено размещение заземляющего устройства вокруг защищаемого объекта.

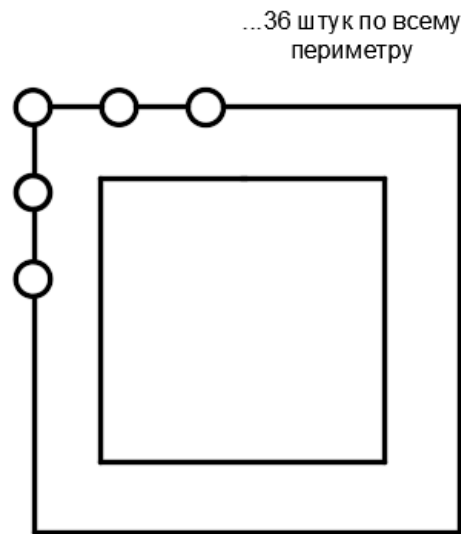


Рис. 10. Размещение заземляющего устройства вокруг защищаемого объекта

Отношение расстояния между стержнями к их длине = 1,5; число стержней – 36, по соответствующим таблицам находим коэффициент использования вертикальных стержней $\eta_v = 0,52$ и горизонтальной полосы $\eta_r = 0,27$ (прил. 2 и 3).

VIII. Определяем сопротивление соединительной полосы:

А) Длина полосы по периметру участка $\ell_n = 32 \cdot 2 + 22 \cdot 2 = 108$ м.

Б) Расчетное сопротивление полосы (справочные данные, прил. 1):

$$R_{п.расч} = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot \ell_n} \ln \frac{\ell_n^2}{d \cdot t_o}$$

$$R_{п.расч} = \frac{840}{2 \cdot 3,14 \cdot 108} \ln \frac{108^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 16,74 \text{ Ом},$$

где $d=0,5b$; b – ширина полосы = 0,04 м.

В) Фактическое сопротивление полосы с учетом коэффициента использования

$$R_{п.факт} = \frac{R_{п.расч}}{\eta_r} = \frac{16,74}{0,27} = 62 \text{ Ом}.$$

IX. Требуемое сопротивление растеканию тока вертикальных стержней, соединенных параллельно:

$$R_{ст.тр} = \frac{R_{п} \cdot R_{и.тр}}{R_{п} - R_{и.тр}} = \frac{62 \cdot 20}{62 - 20} = 29,52 \text{ Ом}.$$

Х. Учитывая коэффициент использования вертикальных заземлителей, окончательно определяем их число:

$$n = \frac{R_{в.од}}{R_{ст.тр} \cdot \eta_v} = \frac{264,5}{29,52 \cdot 0,52} = 17,23 \text{ шт.}$$

Получили, что достаточно забить 17-18 вертикальных стержней – значительно меньше, чем предполагалось первоначально. Решаем забить 18 стержней по всему периметру здания.

Расстояние между стержнями $108/18 = 6 \text{ м.}$

XI. Проверочный расчет.

А) Так как изменилось расстояние между стержнями и их количество, то изменились коэффициенты использования стержней и полосы. Согласно новых данных коэффициент использования вертикальных стержней $\eta_v = 0,72$ и горизонтальной полосы $\eta_r = 0,47$.

Б) Фактическое сопротивление горизонтальной полосы заземляющего устройства

$$R_{п.факт} = \frac{R_{п.расч}}{\eta_r} = \frac{16,74}{0,47} = 35,62 \text{ Ом.}$$

В) Фактическое сопротивление всех вертикальных стержней, соединенных параллельно

$$R_{в.факт} = \frac{R_{в.од}}{n \cdot \eta_v} = \frac{264,5}{18 \cdot 0,72} = 20,41 \text{ Ом.}$$

Г) Сопротивление всего искусственного заземлителя фактическое:

$$R_{и.факт} = \frac{R_{в.факт} \cdot R_{п.факт}}{R_{в.факт} + R_{п.факт}} = \frac{20,41 \cdot 35,62}{20,41 + 35,62} = 12,98 \text{ Ом.}$$

Д) Фактическое сопротивление всего спроектированного заземляющего устройства:

$$R_{зу.факт} = \frac{R_e \cdot R_{и.факт}}{R_e + R_{и.факт}} = \frac{20 \cdot 12,98}{20 + 12,98} = 7,87 \text{ Ом.}$$

$R_{зу.факт}(=7,87 \text{ Ом}) < R_{зун} (=10 \text{ Ом})$, следовательно, задание выполнено.

8. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

В соответствии со своим вариантом выполнить расчет защитного заземляющего устройства для производственного здания, в котором установлено электрооборудование напряжением до 1000 В.

Задания для выполнения расчета защитного заземления приведены в табл. 3. Номер задания соответствует номеру студента в журнале преподавателя.

Таблица 3

Варианты заданий для выполнения расчета защитного заземления

№ варианта	Установленная мощность питающего трансформатора	Размеры объекта, м	Удельное сопротивление грунта, Ом*м	Климатический коэффициент, γ	Сопротивление естественных заземлителей, Ом	Искусственные заземлители	Сечение соединительной полосы, мм
1	Больше 100 кВА	20x20	$4 \cdot 10^2$	2,4	10	Трубчатый, D=0,2 м, L=2м, Глубина 0,8м	40x4
2	Больше 100 кВА	30x10	$2 \cdot 10^2$	2	8	Стержневой. D=0,15м L=3м, Глубина 0,8м	50x4
3	Больше 100 кВА	40x40	$2 \cdot 10^2$	2,4	9	Стержневой, D=0,1м, L=2м. Глубина 0,6м	40x5
4	Больше 100 кВА	40x10	$3 \cdot 10^2$	1,3	12	Уголок, 40x40x4 мм L=2м, Глубина 0,8м	50x5
5	Больше 100 кВА	50x10	$6 \cdot 10^2$	1,6	14	Уголок 40x40x4 мм L=3м, Глубина 0,7м	40x5
7	Больше 100 кВА	60x20	$3 \cdot 10^2$	1,5	14	Трубчатый D=0,1м, L=2,5м, Глубина 0,5м	40x4
10	Больше 100 кВА	30x20	$2 \cdot 10^2$	1,4	нет	Стержневой D=0,1м. L= 2,5м, Глубина 0,8м	50x4
12	меньше 100 кВА	30x10	$5 \cdot 10^2$	1,3	18	Уголок 50x50x4 мм L=2,5м, Глубина 0,6м	60x4

Продолжение таблицы 3

13	меньше 100 кВА	20x1 0	$3 \cdot 10^2$	2	25	Стержнево й D=0,1м L= 2м, Глубина 0,6м	50x4
14	меньше 100 кВА	60x2 0	$4 \cdot 10^2$	1,5	30	Уголок, 60x60x4 мм L=1,5 м, Глубина 0,8м	80x4
15	меньше 100 кВА	30x2 0	$5 \cdot 10^2$	1,3	нет	Стержнево й D=0,2м, L= 3 м, Глубина 0,8м	40x4
16	Больше 100 кВА	20x2 0	$5 \cdot 10^2$	1,3	15	Уголок 50x50x5 мм, L=2,5 м, глубина 0,8 м	60x4
17	Меньше 100 кВА	20x8	$4 \cdot 10^2$	1,4	18	Уголок 40x40x4 мм, L=2,5 м, глубина 0,8 м	80x4
18	Больше 100 кВА	40x4 0	$2 \cdot 10^2$	1,4	20	Трубчатый D=0,15 м, L=3м, глубина 0,7м	60x4
19	Больше 100 кВА	50x2 0	$6 \cdot 10^2$	2,4	Нет	Трубчатый D=0,2 м, L=3м, глубина 0,7м	40x4
20	Меньше 100 кВА	20x3 0	$3 \cdot 10^2$	2	Нет	Стержнево й D=0,1м, L=2м, глубина 0,6м	50x4
21	Больше 100 кВА	40x2 0	$4 \cdot 10^2$	1,5	20	Уголок 60x60x5 мм, L=1,5 м, глубина 0,8 м	80x4

Окончание таблицы 3

22	Больше 100 кВА	30x2 0	$5 \cdot 10^2$	1,3	Нет	Стержнево й D=0,2м, L=3м, глубина 0,8м	40x4
23	Меньше 100 кВА	10x5 0	$3 \cdot 10^2$	2	40	Трубчатый, D=0,2 м, L= 2м, Глубина 0,8м	40x4
24	Больше 100 кВА	30x3 0	$2 \cdot 10^2$	1,5	20	Стержнево й. D=0,15м L=3м, Глубина 0,8м	50x4
25	Меньше 100 кВА	20x8	$4 \cdot 10^2$	1,3	18	Трубчатый, D=0,2м, L= 1,5м, Глубина 0,6м	60x4
26	Больше 100 кВА	40x2 0	$2,5 \cdot 10^2$	1,5	30	Уголок 40x40x4 мм L=3м, Глубина 0,7м	40x5
27	меньше 100 кВА	20x8	$4 \cdot 10^2$	1,4	19	Уголок, 40x40x4 мм L=2м, Глубина 0,8м	80x4
28	меньше 100 кВА	40x4 0	$2 \cdot 10^2$	1,4	22	Трубчатый D=0,15 м, L=3м, Глубина 0,7м	60x4
29	меньше 100 кВА	50x1 0	$6 \cdot 10^2$	2,4	нет	Трубчатый D=0,2 м, L=3м, Глубина 0,7м	40x4

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие технические мероприятия используются для защиты от поражения электрическим током в аварийном режиме?
2. Что такое защитное заземление?
3. Как устроено и работает заземление?
4. Какие виды заземляющих устройств применяют?
5. Какова цель расчета защитного заземления?
6. Какие способы существуют для расчета заземляющего устройства?
7. Основное требование, предъявляемое к устройствам защитного заземления?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс]: – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 158 с. – Режим доступа: [http// portal.magtu.ru](http://portal.magtu.ru), электронная библиотечная система «ИНФРА-М». – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-16-004448-4.
2. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс]: – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 130 с. – Режим доступа: [http// portal.magtu.ru](http://portal.magtu.ru), электронная библиотечная система «ИНФРА-М». – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-16-010440-9.
3. Боброва, О.Б. Электробезопасность [Текст]: учебное пособие / О.Б. Боброва, Т.В. Свиридова; МГТУ, [каф. ПЭиБЖД]. – Магнитогорск, 2016. – 66 с.
4. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок в вопросах и ответах [Электронный ресурс]: пособие для изучения и подготовки к проверке знаний / под ред. В.В. Красник. – М.: ЭНАС, 2012. – 120 с. – Режим доступа: [http// portal.magtu.ru](http://portal.magtu.ru), электронная библиотечная система «Лань». – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-4248-0027-6.
5. Правила устройства электроустановок в вопросах и ответах. Разделы 1, 6, 7 [Электронный ресурс]: пособие для изучения и подготовки к проверке знаний / под ред. В.В. Красник. – М.: ЭНАС, 2012. –160 с. – Режим доступа: [http// portal.magtu.ru](http://portal.magtu.ru), электронная библиотечная система «Лань». – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-4248-0045-0.
6. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей в вопросах и ответах [Электронный ресурс]: пособие для изучения и подготовки к проверке знаний / под ред. В.В. Красник. – М.: ЭНАС, 2012. – 136 с. – Режим доступа: [http// portal.magtu.ru](http://portal.magtu.ru), электронная библиотечная система «Лань». – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-4248-0054-2.
7. Безопасность жизнедеятельности в энергетике [Текст]: учебник / В.Г. Еремин, В.В. Сафронов, А.Г. Схиртладзе, Г.А. Харламов. – М.: Академия, 2010. – 399 с. – (Высшее проф. образование: Энергетика).
8. Электробезопасность. Теория и практика [Текст]: учебное пособие / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков, А. Ф. Монахов; под ред. В.Т. Медведева. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 270с.
9. Привалов, Е.Е. Электробезопасность. [Электронный ресурс] учебное пособие в 3-х ч. – Ставрополь, 2013. – 132 с. - Режим доступа: [http// portal.magtu.ru](http://portal.magtu.ru), электронная библиотечная система «ИНФРА-М». – Загл. с экрана.

ПРИЛОЖЕНИЯ

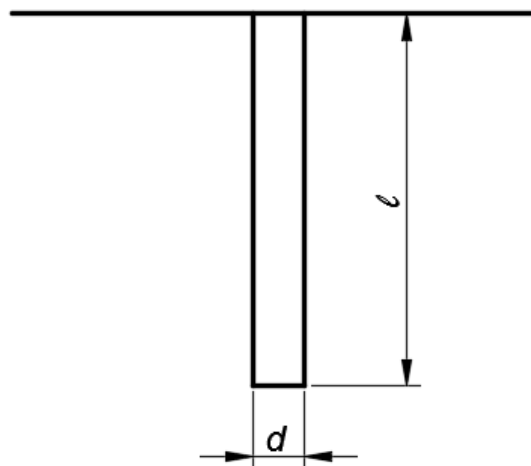
Приложение А

Формулы для расчета сопротивления одиночного заземлителя

вертикального

1. Стержневой поверхности земли

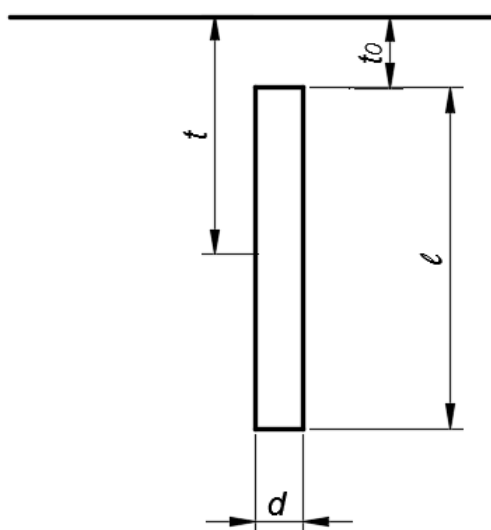
круглого сечения (трубчатый) или уголкового



$$R = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \ln \frac{4\ell}{d}.$$

Для уголка с шириной полки b – диаметр рассчитывается $d = 0,95b$

2. Стержневой круглого сечения (трубчатый) или уголкового в земле



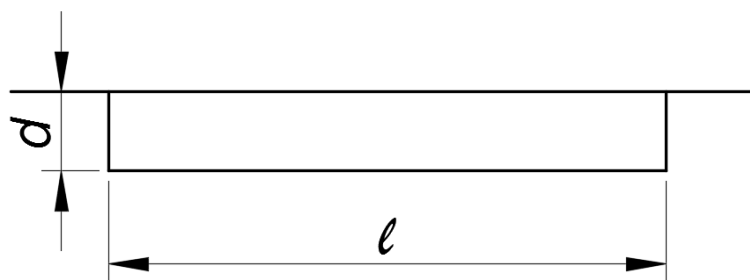
$$R = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \left(\ln \frac{2\ell}{d} + 0,5 \ln \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right).$$

Для уголка с шириной полки b – диаметр рассчитывается $d = 0,95b$

t_0 – глубина залегания заземляющего устройства

$t = t_0 + 0,5\ell$

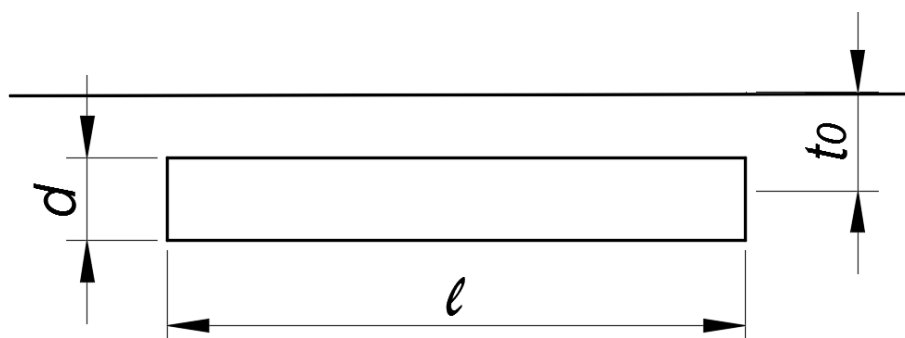
3. Протяженный на поверхности земли (стержень, труба, полоса)



$$R = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \ln \frac{4\ell^2}{d^2}.$$

Для уголка с шириной полки b – диаметр рассчитывается $d = 0,5b$

4. Протяженный в земле



$$R = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \ln \frac{\ell^2}{d \cdot t_0}.$$

Для уголка с шириной полки b – диаметр рассчитывается $d = 0,5b$

Приложение Б

Коэффициенты использования η_v вертикальных электродов группового заземлителя (труб, уголков и т.п.)

Отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине	Число заземлителей n							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Электроды размещены в ряд								
1	0,85	0,73	0,65	0,59	0,48	-	-	-
2	0,91	0,83	0,77	0,74	0,67	-	-	-
3	0,94	0,89	0,85	0,81	0,76	-	-	-
Электроды размещены по контуру								
1	-	0,69	0,61	0,56	0,47	0,41	0,39	0,36
2	-	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52
3	-	0,85	0,80	0,76	0,71	0,66	0,64	0,62

Приложение В

Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя

Отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине	Число заземлителей n							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Электроды размещены в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Электроды размещены по контуру								
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Учебное текстовое электронное издание

**Свиридова Татьяна Валерьевна
Боброва Ольга Борисовна**

ЗАЩИТА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Практикум

0,9 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2016 год

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Кафедра промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности
Центр электронных образовательных ресурсов и дистанционных
образовательных технологий
e-mail: ceor_dot@mail.ru